

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME VE GRI
ESASLI TAGUCHİ YÖNTEMLERİ İLE BİR SMED
YAKLAŞIMI ÖNERİSİ VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner EKİNCİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Semra BORAN

Eylül 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME VE GRİ
ESASLI TAGUCHİ YÖNTEMLERİ İLE BİR SMED
YAKLAŞIMI ÖNERİSİ VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner EKİNCİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19.09.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Kasım BAYNAL
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Semra BORAN
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
Tülay KORKUSUZ POLAT
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Caner EKİNCİOĞLU

19.09.2016

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimin boyunca bana yol gösteren ve tez çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu katkı ve yönlendirmeler ile büyük destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Semra BORAN'a teşekkür ederim. Ayrıca bu güne gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, hep yanımda olan çok kıymetli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| TEŞEKKÜR..... | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| TABLOLAR LİSTESİ..... | vii |
| ÖZET | viii |
| SUMMARY | viii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| YÖNTEMLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... | 4 |
| 2.1. Yalın Üretim | 4 |
| 2.1.1. Yalın üretimin hedefleri..... | 6 |
| 2.2. SMED - Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi | 6 |
| 2.2.1. SMED'in sağladığı yararlar | 7 |
| 2.2.2. Faaliyet işlemlerinin temel adımları | 9 |
| 2.2.3. SMED uygulamasının aşamaları | 11 |
| 2.2.4. İç ve dış ayar süreçlerinin birbirinden ayrılması | 11 |
| 2.2.5. İç faaliyetlerin dış faaliyetlere dönüştürülmesi | 12 |
| 2.2.6. İç ve dış faaliyet sürelerinin incelenerek kısaltılması..... | 13 |
| 2.2.7 SMED yönteminde kullanılan yardımcı teknikler | 15 |
| 2.3. Ergonomi | 17 |
| 2.3.1. Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri | 18 |
| 2.4. Sue Rodgers Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemi..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1. Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi uygulama adımları | 21 |
| 2.5 Gri Esaslı Taguchi Yöntemi | 24 |
| 2.5.1. Gri teori ve gri ilişkisel analiz..... | 24 |
| 2.5.2. Taguchi deney tasarımı yöntemi | 26 |
| 2.5.3. Taguchi deney tasarımı yönteminin uygulama adımları | 29 |
| 2.5.4. Gri esaslı taguchi yöntemi uygulama adımları | 30 |
| 2.6. Literatür Araştırması..... | 35 |
| 2.6.1. SMED yöntemi ile yapılmış çalışmalar..... | 35 |
| 2.6.2. Gri esaslı taguchi yöntemi ile yapılmış çalışmalar | 39 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| ÇALIŞMADA AMAÇLANAN MODEL..... | 40 |
| | |
| BÖLÜM 4. | |
| GELİŞTİRİLEN YENİ SMED YAKLAŞIMININ UYGULAMASI..... | 43 |
| 4.1. İşletmenin Tanıtımı..... | 43 |
| 4.1.1. Çalışmanın yapıldığı CNC hattının tanıtılması | 43 |
| 4.2. Çalışmanın Yapılacağı İş Parçasının Belirlenmesi..... | 44 |
| 4.3. SMED Metodunun Uygulanması | 46 |
| 4.3.1. İç ve dış faaliyetlerin belirlenmesi | 47 |
| 4.3.2. İç faaliyetlerin dış faaliyetlere dönüştürülmesi ve bazı iç faaliyetlerin iyileştirilmesi..... | 48 |
| 4.3.3. Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yönteminin uygulanması | 48 |
| 4.4. Gri Esaslı Taguchi Metodu Uygulaması ve Analizi | 57 |
| 4.5. Yeni SMED Yaklaşımı Uygulaması Sonuçları | 65 |
| | |
| BÖLÜM 5. | |
| SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 66 |
| | |
| KAYNAKLAR | 70 |

| | |
|----------------|----|
| EKLER | 74 |
| ÖZGEÇMİŞ | 78 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-------|--|
| ACGIH | : El Aktivitesi Düzeyi |
| AHP | : Analitik Hiyerarşi Proses |
| CNC | : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol |
| CI | : Güven Aralığı |
| ÇKKVT | : Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri |
| F | : Frekans |
| GİA | : Gri İlişkisel Analiz |
| MAC | : El ile Taşıma Değerlendirme Çizelgeleri |
| NIOHS | : Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü |
| OWAS | : Ovako Çalışma Duruşlarının Analiz Sistemi |
| P | : Katkı Yüzdesi |
| REBA | : Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme |
| RPE | : Hissedilen Çaba Derecesi |
| RULA | : Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi |
| SMED | : Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi |
| SOFI | : İsveç Mesleki Yorgunluk Envanteri |
| TPM | : Toplam Üretken Bakım |
| TZÜ | : Tam Zamanında Üretim |
| 5S | : Sınıflandırma (Seiri), Düzenleme (Seiton), Temizleme (Seiso), Standartlaştırma (Seiketsu), Disiplin Sağlama (Shitsuke) |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 4.1. Uygulamanın yapıldığı mazak 800 tezgahı..... | 44 |
| Şekil 4.2. Mazak 800 tezgahının içi ve sol difüzör | 44 |
| Şekil 4.3. Mevcut durum kurulum süreleri | 45 |
| Şekil 4.4. Uygulamada yer alan 9925 no'lu parçalar | 45 |
| Şekil 4.5. Birden fazla majör kas grubu için harcanan efor örneği | 50 |
| Şekil 4.6. Bilekler-eller-parmaklar için harcanan efor örneği | 51 |
| Şekil 4.7. Balık kılçığı diyagramı | 55 |

TABLolar LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1. SMED uygulamayan işletmelerde kurulum işlemlerinin toplam kurulum zamanı içindeki oranları | 9 |
| Tablo 2.2. Gözlemsel değerlendirme araçları | 19 |
| Tablo 2.3. Sue Rodgers proses kartı | 21 |
| Tablo 2.4. Değerlendirme kriterleri baremi | 22 |
| Tablo 2.5. Harcanan efor..... | 23 |
| Tablo 2.6. Risk skalası | 23 |
| Tablo 2.7. Veri giriş bölümü | 23 |
| Tablo 4.1. 9925'nolu parçanın proses bileşenleri | 46 |
| Tablo 4.2. Klasik SMED tablosu örneği | 47 |
| Tablo 4.3. Sue Rodgers proses değerlendirme kartı | 49 |
| Tablo 4.4. Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü proses bileşeni..... | 50 |
| Tablo 4.5. Önerilen bütünleşik SMED tablosu | 52 |
| Tablo 4.6. Belirlenen faktörler ve seviyeleri..... | 58 |
| Tablo 4.7. L8 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney düzeneği..... | 58 |
| Tablo 4.8. L8 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney düzeneği | 58 |
| Tablo 4.9. L8 ortogonal dizinine göre yapılan deneyler ve sonuçları..... | 59 |
| Tablo 4.10. Sekizinci deney sonucundaki risk seviyesi tablosu | 60 |
| Tablo 4.11. Gri ilişkisel analiz sonuçları | 61 |
| Tablo 4.12. GİA derecesine göre hesaplanmış S/G oranına göre yapılan varyans analizi tablosu..... | 62 |
| Tablo 4.13. Doğrulama deneyi için yapılan tekrarlara ait sonuçlar | 64 |
| Tablo 4.14. Yeni SMED yaklaşımı uygulamasının kademeli sonuçları | 65 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi, Ergonomik Risk Değerlendirme, Gri Esaslı Taguchi Yöntemi

Bu çalışmada, atölye içerisindeki duruşların tespit edilip en fazla duruş süresine neden olan kurulum işlemi üzerinde çalışma yaparak üretim verimliliğini ve çalışanların ergonomik olarak verimliliğini artırarak daha etkin bir süre kısaltması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmada iki yenilik söz konusudur. İlk olarak Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED) yöntemine göre süre azaltma yapıldıktan sonra, ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden Sue Rodgers yöntemi esas alınarak yeni SMED yaklaşımı geliştirilmiştir. Kurulum proses bileşenlerinde sürenin kısaltılması için makine ile ilgili iyileştirmeler yapılırken ergonomik risk değerlendirmesi de yapılarak işin insan vücudundaki temel organlarda oluşturduğu risk değerlendirilmesi yapılacaktır. Risk, yorulma ve yaralanma ile ilgili olacaktır. Önerilen risk azaltma faaliyetleri ile yorulmanın azalması sağlanacak böylece hem işlem süresi uzamayacak hem de yaralanmalardan dolayı yavaşlama veya iş yapamama durumları ortadan kalkacağı için daha etkin süre iyileşmesi elde edilecektir. Riskin azaltılmasının beraberinde işin yapılış süresini de azaltacağı öngörülmektedir. Ancak bazı proses bileşenlerinde geleneksel SMED uygulamaları ile etkin bir iyileşme elde edilememesi söz konusu olabilmektedir. Bu gibi durumlarda bazı iyileştirme yöntemlerinden yararlanmak gerekir. Çalışmadaki ikinci yenilik ise iyileştirmenin gerçekleştirilemediği veya çok az iyileştirme beklenen bir proses bileşeninde süre ve ergonomik riski aynı anda azaltarak iyileşme elde etmek amacıyla deney tasarımı uygulamasıdır. İyileştirilmesi gereken süre ve risk gibi iki değer olduğundan bunun için çok yanıtlı Taguchi yöntemlerinden Gri esaslı Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada geleneksel SMED uygulaması ile süresi kısaltılamayan ve risk seviyesi yüksek olan ortak bir proses bileşeninde Gri esaslı Taguchi yöntemi ile daha etkin sonuç elde edilebileceği gösterilmektedir. Geliştirilen modelin uygulanması ile ilk durumda 196 dakika olan kurulum işlem süresi son durumda 73,5 dakikaya ulaşmış ve %62,5 değerinde bir iyileştirme elde edilmiştir.

A SMED APPROACH PROPOSAL WITH ERGONOMIC RISK ASSESSMENT AND GREY-BASED TAGUCHI METHOD - AN APPLICATION

SUMMARY

Keywords: Single Minute Exchange of Dies, Ergonomic Risk Assessment, Grey Based Taguchi Method.

In this study, the posture detected in the workshop to a maximum downtime caused by increasing the efficiency of production efficiency and ergonomically employees working on making the setup process is intended to more effectively shortening time. In this research, there are two innovations. The first single minutes exchange of dies (smed) time reduction is made according to the method, after the method of ergonomic risk assessment methods on the basis of the new smed approach was developed by Sue Rodgers. The shortening of the duration of steps in the installation process while making improvements to the machine for ergonomic risk assessment will be done to essential organs in the human body and the risk of work will be evaluated. Risk will be related to fatigue and injury. Being tired with the activities proposed risk mitigation will decrease, thus, will lengthen the processing time and also a slowdown because of injuries or inability to work will be obtained more effective situations will be eliminated because the time to heal. With the reduction of the risk it is envisaged that the work will reduce the time of construction. However, some improvement can be attained with an effective SMED process steps in traditional applications. In such cases, the method should take advantage of some improvement. The second innovation in the study could not be performed to improve the time and very little improvement to be expected by reducing ergonomic risk in the process components at the same time the application of experimental design in order to achieve the improvement. Improving takes time and risk, such as grey taguchi method for multiple answers, because this two is the value-based Taguchi method was used. This study shows, more effective results can be obtained with the traditional SMED applications with time can not be shortened and the high level of risk based on a common process step grey with Taguchi method. At the same time the high level of risk on employees with ergonomic risk level and component of the process to reduce the time available by appropriate factors to identify those factors experimental setup process step of forming the current setup time has been shown to be reduced. With the implementation of the developed model, in the first case, 196 minutes the installation processing time reached 73,5 minutes and the final state is obtained an improvement value of 62,5%.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde işletmelerin artan rekabet koşullarına ayak uydurabilmelerinin sürekli büyüme, gelişme ve iyileştirme projeleriyle mümkün olabileceği işletmelerin de farkında olduğu bir durumdur. Bu nedenle işletmeler, firma içindeki istenmeyen durumları veya iyileştirme çalışması yapabileceği durumları tespit edip üzerinde çalışma yapma ihtiyacı duymaktadır. İşletmeler arası rekabet üstünlüğü ise hızlı çevrim süresi, verimli olabilme ve çalışan memnuniyeti ile sağlanabilmektedir.

Dünyada üretim sorunlarını gidermek, iyileştirmek ve rakiplerin önüne geçebilmek için geliştirilmiş yöntemler vardır. Bazıları sadece o dönemin şartlarına uygun yöntemler olup, ekonominin ve teknolojinin değişimi ile ortadan kalkarlar. Bazı yöntemler ise, yöntem olmanın da üzerinde, bir felsefe halini alarak, işletme var olduğu sürece yaşayan sistemlere dönüşmektedir. Yalın üretim de bunlardan biridir.

Yalın üretim tekniklerinden biri olan SMED üretim süreçlerindeki kayıpları azaltmak için kullanılan bir tekniktir. Buradaki kayıpların başında zaman gelse de yapılan işin riski ve maliyeti zamandan sonra önemli kayıplar arasında gelmektedir. SMED tekniği üretilen son parçadan üretilecek olan yeni parçaya geçmedeki hızı ve verimliliği artmasını sağlar.

Belirli yöntemlerle mevcut sistemlerin iyileştirmesinin yanı sıra işletme içindeki çalışan memnuniyeti ve çalışan verimliliği de son zamanlarda işletmelerin önemsendiği ve üzerinde çalışmalar başlatıldığı konulardan biridir. Gelişmemiş ergonomik sisteme sahip işyerlerinde çalışmalar, çalışanları çeşitli risklere maruz bıraktığından, işletmelerde mesleki kas ve iskelet sistemi hastalıkları yaygın olarak rastlanan bir sağlık sorunu haline gelmiştir. Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları iş verimliliğinde azalmaların, iş günü kayıplarının, yorulmaların ve sakatlanmaların başlıca sebeplerinin başında gelmektedir. İşletmelerde ergonomik tehlikeleri göz

önünde bulundurarak kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının ortaya çıkmasını önleyebilmenin en önemli yolu ise bu tehlikelerin belirlenmesini sağlayan ergonomik risk değerlendirmesi yapmaktan geçer.

Yapılan çalışmada, parça kurulum işleminde üretim verimliliğini ve çalışanların ergonomik olarak verimliliğini artırarak daha etkin bir süre kısaltması amaçlanmaktadır. Çalışmada, SMED yöntemine göre süre azaltma yapıldıktan sonra, ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden Sue Rodgers yöntemi esas alınarak yeni SMED yaklaşımı geliştirilmiştir. Bazı durumlarda, proses bileşenlerinde geleneksel SMED uygulamaları ile etkin bir iyileşme elde edilememesi söz konusu olabilmektedir. Bu gibi durumlarda bir takım iyileştirme yöntemlerinden yararlanmak gerekir. Burada, iyileştirmenin gerçekleştirilemediği veya çok az iyileştirme beklenen bir proses bileşeninde süre ve ergonomik riski aynı anda azaltarak iyileşme elde etmek amacıyla deney tasarımı uygulanmıştır. İyileştirilmesi gereken süre ve risk gibi iki değer olduğundan bunun için çok yanıtlı Taguchi yöntemlerinden Gri esaslı Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde giriş ve tez bölümleri hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı kısaca anlatılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise tez kapsamında kullanılan ana yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Yalın üretim sistemi tanıtılmış ve yalın üretim sisteminin yararları anlatılmıştır. Tezin ana konularından biri olan SMED yöntemi tanıtılmıştır. SMED içerisinde kullanılan ve önemli bir yer kaplayan terimler tanıtılmış aynı zamanda SMED uygulama adımları anlatılmıştır. Ergonomi kavramı anlatılmıştır. Kavramın tanıtılmasından sonra ergonominin sağladığı yararlar ve amaçları anlatılmıştır. Aynı zamanda tezin diğer önemli bir konusu olan risk değerlendirme yöntemlerinden kısaca bahsedilmiş ve uygulamada kullanılan Sue Rodgers Ergonomik Risk Değerlendirme tekniği detaylı olarak anlatılmıştır. Gri esaslı Taguchi metodunda kullanılan, farklı iki veya daha fazla faktör arasındaki etkileşimin değerini hesaplayıp tek bir değer elde etmeye yarayan Gri İlişkisel Analiz yöntemi ve bu yöntemin uygulama adımları ile birlikte Taguchi tekniği anlatılmıştır. Tezin uygulamasında bu iki yöntemin birleşimi olan Gri esaslı Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde aynı zamanda literatür

taramasına yer verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde çalışmada amaçlanan modele, çalışmanın amacına ve önemine yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde tezde anlatılan uygulamanın yapıldığı işletme tanıtılmıştır. İşletme içerisinde çalışma yapılacak konuya yeni yaklaşımlar geliştirerek mevcut yöntemlerle problemin çözümü sağlanmıştır. Tezin son bölümünde ise uygulama sonucunda elde edilen veriler ve değerlendirmeler üzerine yöntemlerin sonuçları açıklanmıştır. Bu bölümde gelecek çalışmalar için öneriler de ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 2. YÖNTEMLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yalın Üretim

Yalın üretim; yapısında hiçbir gereksiz unsur taşımayan ve hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme süreci, üretim alanı, fire, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların, en aza indirildiği üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır [1].

Yalın üretim, en kapsamlı tanımını Womack ve arkadaşlarının çalışmasında bulmuştur. Womack ve arkadaşları, Yalın üretimin evrensel bir süreç olduğunu, zanaatkarlık türü üretim ile kitlesel üretimin avantajlı yanlarını birleştirdiğini savunur ve Yalın üretimi; zanaatkarlık türü üretimin yüksek maliyetinden ve kitlesel üretimin katılığından arındırılmış üretim biçimi olarak tanımlar [2].

Yalın üretim, mal ve hizmet üretiminde sonuca giderken mümkün olduğu kadar kestirme yol bulunmaya çalışır. İşlem sayısı azaldıkça hem maliyet düşer, hem hız artar, hem de hata meydana gelme ihtimali azalır. Yalın üretimde katma değer üretmeyen her faaliyet dikkatlice araştırılır ve sistemden ayklanır. Böylece hem hız kazanılır, hem de iş yükü hafifletilerek iş gücü talebi azaltılmış olur [3].

Yalın üretimde doğrudan işçilikler asgariye indirilir. Esasen sabit giderlerin tüm kalemleriyle mücadele edilir. Örneğin, çok yönlü eğitim verilen işçiler her işi yapabilir duruma getirilir. Böylece süreç gereği çalışmayan makinelerin işçileri diğer faal makinelere kaydırılabilir veya aynı işçiler makine bakım parkı değişimi gibi işlerde de görevlendirilebilirler. Makine ile yapılabilecek hiçbir işte insan gücü kullanılmamasına dikkat edilir. İnsan gücü hem pahalıdır hem de değişikliklere direnç gösterir. Oysa makineler yeni programlara itirazsız uyum sağlarlar [4].

Özetle yalın üretim; en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebine bire bir uyacak, yanıt verebilecek şekilde, israftsız ya da en az israfla ve tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp, potansiyellerinin tümünden yararlanıp nasıl gerçekleştiririz? arayışının bir sonucudur [5].

Yalın Üretim sisteminin özellikleri aşağıda yer almaktadır [6]:

- Liderler vizyon sahibidirler ve çalışanlarda mücadele ruhu geliştirilmiştir.
- Her zaman ulaşılması planlanan hedefler vardır.
- Hedefler ölçülebilirdir ve ödüllendirme sistemi kullanılabilir.
- Uzun dönemli stratejik planlar yapılmaktadır.
- İnsan faktörü ön plandadır ve sürekli geliştirilerek katılımcı olmaya teşvik edilmektedir.
- Bütünü görebilmek önemlidir.
- Sistem müşteri ve ürün odaklıdır.
- Üretim sistemleri kadar iletişim sistemleri de önem taşımaktadır.
- Ürün ya da üretim geliştirme amacı ile çapraz fonksiyonlu gruplar kurulmaktadır.
- Çalışanlar sorumluluk taşımaktadır.
- Her zaman yenilik arayışı devam etmektedir.
- Talebe göre üretim yapılmaktadır.
- Süreçler sürekli akış sağlanacak şekilde kurulmaktadır, şeklinde sıralanabilir.

Yalın üretim sisteminin uygulanması ile elde edilebilecek faydalar aşağıdaki gibi belirtilebilir [7]:

- Büyük miktarlarda olan birikmiş parça stokları ortadan kaldırılır.
- Ürünler birikmeden bir sonraki üretim adımına geçtiklerinden dolayı hatalar çabuk fark edilmeye başlanır.
- Yeniden işlemlerde azalma olduğundan dolayı maliyetlerde düşüş olur.
- İşçilerin sadece fiziki güçlerinden değil, fikirlerinden de yararlanır, böylece işçilerin işle iç içe olması sağlanarak daha doğru kararlar alınmaya başlanır.

- Grup çalışmaları ve bunlarla birlikte sürekli iyileştirme anlayışı gelişir.
- Üretim hataları azalarak, ürün kalitesi artmaya başlanır.
- Ara stokların ortadan kaldırılması ile gerektiği kadar ve gerektiği zamanda üretim yapılmaya başlanarak, üretim daha kontrollü hale getirilir.
- Üretim yetenekleri arttıkça ürün çeşitliliği ve üretimde esneklik artar.
- Yalın üretim sistemi tedarikçilere kadar ulaşarak, yalın tedarik zinciri oluşur ve bu sayede yan sanayiler gelişmeye ve maliyetler düşmeye başlar.

2.1.1. Yalın üretimin hedefleri

Yalın üretimin başlıca hedefleri şunlardır [8]:

- %100 iyi birim (tamamlanmış, eksiksiz) üreten etkin üretim
- Sadece ihtiyaç duyulan parçaları üretmek, ihtiyaç duyulan zamanda ve ihtiyaç duyulan (talep edilen) miktarlarda üretmek
- Sıfır hata
- Sıfır hazırlık zamanı
- Sıfır stok
- Sıfır elle işlenen parça
- Sıfır makine bozulması
- Sıfır nezaret süresi
- Tek parçalık parti büyüklüğü (Parçaların tek tek iletimi)

2.2. SMED - Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi

Tekli dakikalarda kalıp değiştirme (SMED – Single Minute Exchange of Die) sistemi teorik olarak hazırlık sürelerini 10 dakikanın altına düşürmeyi diğer bir deyişle tek basamaklı dakikalara indirmeyi amaçlayan bir sistemdir.

Günümüzde müşteriler, yüksek kalite, uygun fiyat ve hızlı teslimat ilkelerine göre sadece ihtiyaçları olduğu miktarlar kadar ürün çeşitliliğini isterler. SMED, müşteri ihtiyaçlarının daha az israfla karşılanmasına yardımcı olur [9].

Yalın üretim öncesi, seri üretim yapılan dönemlerde işletmeler, tek tip ürünü üretmeye başlar, uzunca bir süre aynı ürünü üretip yeterince stok yaptıklarından sonra farklı bir ürünü üretmeye geçerlerdi. Bu dönemlerde müşterinin isteği ürün varsa stoktan alır yoksa üretilmesini beklerdi. Piyasa koşullarının zamanla değişmesi sonucu bu anlayış da değişerek ürün çeşitliliği arttı ve stokta tutma maliyeti ve müşteri memnuniyeti gibi öncelikler devreye girmeye başladı. Üreticiler küçük partiler halinde sık sık farklı modelde ürünler üretmek zorunda kaldı ve bununla beraber firma içerisinde iyileştirme ve iş geliştirme yöntemleri geliştirmeye gereksinim duyuldu. Yapılması gereken modelin değişim süresini kısaltmak firmaların başlıca ihtiyacı haline geldi. Bu ihtiyaç Shingo'nun geliştirdiği SMED metodolojisinden geçmektedir. Yalın Üretimin uzmanı olarak bilinen Shingo da SMED'i yalın üretim teknikleri arasında en önemli teknik olarak tanımlamaktadır. SMED yöntemi, hızla değişen müşteri taleplerine tam zamanında cevap verebilmek için tüm firmaların her tezgah veya operasyonunda uygulaması gereken bir yöntemdir.

SMED tekniği yalnızca yeni bir teknik değil, aynı zamanda yeni bir düşünce sistemi olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle Japonlar tarafından endüstride oldukça kullanılmış ve geliştirilmiştir. Halen dünyada hızla yayılan ve başarı ile uygulanan bir tekniktir [9].

2.2.1. SMED'in sağladığı yararlar

SMED metodolojisinin uygulandığı firmaya sağladığı yararlar şunlardır:

- Üretimde esneklik: Küçük partilerde üretim yapabilme şansı veren bu teknik ile müşteri ihtiyaçları, stok oluşturmadan karşılanabilmekte, yeni ürünlere hızlı adaptasyon sağlanabilmektedir.
- Kalitede artış: Kurulum esnasında ve üretim başlangıç denemelerinde ortaya çıkan fireler azalır ya da ortadan kalkar, ürün depolamaya gerek olmadığından hem hatalı üretilen ürünlerin depolanması önlenir, hem de depolama sırasında oluşan hasarlar ortadan kalkmaktadır. SMED

çalışmalarına ilk başladığı zamanlarda hatalı ürün oranları artsa da zaman içerisinde yüksek oranlarda düşüş gözlemlenmektedir.

- Hızlı teslimat ve müşteri memnuniyeti: Küçük partili üretim yapılması ile birlikte, ürünler daha kısa sürede üretilmektedir. Müşteri ürününü istediği zamanda temin edebilmektedir. Bu durum müşterinin memnuniyetini de arttırmaktadır.
- Üretkenlikte artış: Model değişimi ve kurulum işlemlerinin kısa sürede olması, ürün modelleri arasındaki geçişlerde zaman ve fazladan işlemlerin ortadan kaldırılması ile birlikte, daha etkin ve daha verimli üretim gerçekleştirilmektedir.
- Stok maliyetleri: Hızlı model değişimi ne derecede başarılı uygulanırsa, ürün stokları da o oranda az tutulacağından, stok maliyetleri de bu tekniğin uygulanması ile orantılı olarak düşüş gösterecektir.
- Rekabet gücünde artış: SMED tekniğinin uygulanması ile elde edilen getiriler işletmelere rekabet gücü ve iş güvencesi kazandırmaktadır.
- Alanların verimli kullanımı: Model değişimi ve kurulum işlemlerinde hareketlerin minimuma indirilmesi ve envanterlerin azaltılması ile, iş yerlerinde yeni alanlar kazanılabilmektedir. Bu durum şirketin hareket kabiliyetini arttırmaktadır.
- İş güvenliği: İşlemler basitleştirildiğinden dolayı, hem daha az fiziksel güç kullanılmakta, hem de güvenli işlemler sayesinde sakatlanma ya da yaralanma riskleri azalmaktadır.
- Çalışanların gelişimi: Bu tekniğin uygulanması ile, çalışanlar hem bilgi ve tecrübelerini geliştirmekte, hem de yaratıcılıklarını kullanarak kendilerini ifade etme şansı bulmaktadırlar. Yapılan hataların azalması ile birlikte çalışanlarda kendilerine güvenme duygusu gelişmektedir.
- Düzen: SMED tekniğinde 5S sayesinde model değişiminde ve kurulum sırasında kullanılan alet ve takımlar birleştirilebiliyorsa birleştirilir, kombine ekipmanlar kullanılır. Çalışma düzeni standartlaştırılır. Böylece hem daha az ekipman ile birden çok iş görülebilir hem de ekipmanların takip edilerek korunması sağlanmaktadır.

- Karlılık: İşletmelerin nihai amacı kar elde etmektir. Bu teknik büyük yatırımlar yapmadan, eldeki iş gücünü ve envanteri kullanarak, kısa sürede ve büyük oranlarda kara geçmeyi sağlamaktadır.

2.2.2. Faaliyet işlemlerinin temel adımları

SMED tarafından iyileştirilmemiş tüm faaliyet işlemleri dört adımdan oluşmaktadır.

Bu dört adım:

- Hazırlık, süreç sonrası ayarları, malzeme ve araçların kontrol edilmesi
- Bıçakların, aletlerin ve parçaların takılması
- Ölçümler, ayarlar ve kalibrasyonlar
- Deneme ve ayarlamalar

Yukarıda belirtilen dört aşamanın, SMED uygulamayan işletmelerdeki kurulum süreleri içindeki payları Tablo 2.1.'de gösterilmektedir [10].

Tablo 2.1. SMED uygulamayan işletmelerde kurulum işlemlerinin toplam kurulum zamanı içindeki oranları [10]

| Kurulum Aşamaları | Faaliyet süresi içindeki oranları |
|---|-----------------------------------|
| Hazırlık, Süreç sonrası ayarları, malzeme ve araçların kontrol edilmesi | 30 |
| Bıçakların, aletlerin ve parçaların takılması | 5 |
| Ölçümler, ayarlar ve kalibrasyonlar | 15 |
| Deneme ve ayarlamalar | 50 |

SMED yaklaşımında amaç, yukarıdaki adımlarda geçen süreleri minimuma indirmektir. Bunu başarabilmek için hazırlık aşamasında, tüm parça ve aletlerin yerli yerinde ve kullanıma hazır olduğundan emin olunmalıdır. Bunu sağlayabilmek için de kullanılmış ve işi bitmiş alet ya da cihazların, tanımlanan yerlerine, temizlenmiş ve kullanılabilir bir şekilde bırakılması gerekmektedir. Bu işlemler makine açıkken yapılabilen işlemlerdir. Parçaların ve aletlerin takılması olan ikinci aşama, makineler kapalıyken gerçekleştirilmektedir. Bu işlem toplam kurulum zamanı içerisinde en düşük orana sahiptir, fakat pratik yollar bulunarak, işlemler kısaltılabilir. Ölçüm ve kurulum işlemlerinde genellikle makineler kapatılır, fakat SMED sistemi bu

işlemlerin makineler çalışırken yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Son kurulum işlemi olan deneme ve ayar işlemi, yapılan tüm kurulum işlemlerinin sonucunun görüldüğü ve toplam zaman içinde en çok payı alan işlemdir. Bu adımın doğru yapılmaması, ürünün doğru üretilmemesi anlamı taşımaktadır. Bu nedenle üzerinde oldukça uğraşılan bir işlemdir. SMED makine çalıştırılır çalıştırılmaz bu aşamanın iyi ürün verecek şekilde düzenlenmesini sağlamaktadır.

Kurulum işlemlerini kolaylaştıracak diğer öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir [6]:

- Bir kalıptan diğer bir kalıba geçerken, makine çalışırken yapılan işler ve makine durduğunda yapılan işler belirlenmeli, belirlenen işler analiz edilerek mümkün olduğunca işlerin makine çalışırken yapılmasına gayret edilmelidir. Çünkü makine çalışırken yapılabilecek işler, makine durduğunda yapılıyor ise, bu zaman kaybından başka bir şey değildir. Bu sağlandıktan sonra, iç faaliyet işlemi olarak yapılan işler değişik tasarım değişiklikleri ve modifikasyonlarla nasıl dış faaliyet işlemi haline getirilebilir diye düşünülmelidir.
- Kurulum sırasında, çıkarılan kalıbın üzerine hemen yerleşebileceği, aynı zamanda da takılacak olan kalıbı taşıyan ve yerine takılmasını kolaylaştıran taşıyıcılar ya da sistemler geliştirilmelidir. Bu yöntem sayesinde kalıp değişimindeki taşıma zamanından tasarruf edilmiş olunacaktır.
- Kalıpların bağlanması sırasında, makine ayarlama işlemi de zaman alan işlemlerdendir ve ne derece önlenirse, o kadar zaman kazandıracaktır. Bunun için makinede kullanılan kalıplar için standartlaştırma yöntemine başvurulabilir. Böylece kalıplar bağlanırken aynı takım ve aparatlar kullanılacak ve ince ayara gerek kalmayacaktır.
- Bağlayıcı ve mengene gibi yardımcıları, vida ve cıvata kullanımına gerek kalmayacak şekilde tasarlamak, yine zamandan büyük kazanç sağlayacaktır. Bu sayede çalışanlar monte işlemini çok daha kısa zamanda yapabileceklerdir.
- Kalıp değişimi sırasında zaman alan bir diğer işlem ise, kalıp takıldıktan sonraki deneme ve ayarlama çalışmalarıdır. Kalıp tek takışta olması gerektiği

gibi yerine oturursa bu işlemlere de gerek kalmayacaktır. Bunu sağlayabilmek için ise, kaset sistemleri ya da limit anahtarları kullanılabilir.

- Zaman kaybına neden olan bir diğer işlem ise taşımadır. Bu nedenle çok kullanılan kalıplar mümkün olduğunca makinelerin hemen yanlarında bulunmalıdır. Böylece taşıma için zaman kaybedilmemiş olacaktır.

2.2.3. SMED uygulamasının aşamaları

SMED’te İki tip faaliyet türü vardır. Bunlar:

İç Faaliyet: Eski kalıbı sökmek ve yerine yenisini takarak üretime başlamak, bu süre içerisinde makinenin durdurulması, üretime ara verilmesi kaçınılmazdır.

Dış faaliyet: makine çalışırken, üretime devam edilirken de yapılabilecek faaliyetlerdir. Bağlanacak kalıbın getirilmesi, Sökülen kalıbın temizlenmesi bu hazırlık türüne örnek gösterilebilir.

Bir işletmede SMED uygulamasına geçildiğinde uygulanması gereken 3 aşama vardır. Bunlar [11]:

- İç faaliyet ve dış faaliyet operasyonlarının birbirinden ayrılması
- İç faaliyet işlemlerinin dış faaliyet işlemlerine dönüştürülmesi
- İç ve dış faaliyet işlemlerinin her açıdan ayrı ayrı incelenmesi

2.2.4. İç ve dış faaliyet süreçlerinin birbirinden ayrılması

SMED’in bu ilk adımında makine çalışırken yapılabilecek olan işlerin ve makine kapalı iken yapılabilecek işlerin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Çoğu firmada birçok iş, makine kapalı iken gerçekleştirilebilecekken, iş yapma düzeninin plansızlığı nedeni ile makine çalışırken yani iç faaliyet olarak gerçekleştirilmektedir. Oysa kullanılacak olan parça ve aletlerin hazırlanması, tamiratların yapılması ya da kullanılacak alet, takım ve kalıbın ekipmanın yanına getirilmesi makine çalışmazken

gerçekleştirilebilir. Bu yönde gelişme kaydedilirse, %30-50 oranlarında zamandan tasarruf edilebilir [7].

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken diğer noktalar, taşıma işlemleri ve mesafeleri, kullanılacak olan malzeme, araç ve gerecin hasarsız ya da eksiksiz olması, bağlantı elemanlarının pratik olması, gerekli üretim bilgisinin (prosedürlerin) tam ve doğru geldiğinden emin olunmasıdır. Bu noktalar düzgün planlanmadığında oldukça zaman alan ve ekipmanı fazladan meşgul eden israflara neden olmaktadır [11].

2.2.5. İç faaliyetlerin dış faaliyetlere dönüştürülmesi

Kalıp değişim süresinin azaltılması için iç faaliyet işlemlerinin, dış faaliyet işlemlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleşmesi için iki adım izlenir:

1. Mevcut iç faaliyetteki işlemlerin gözden geçirilerek herhangi bir proses bileşeninin yanlışlıkla iç faaliyet olarak uygulanıp uygulanmadığının incelenmesi,
2. Bu iç faaliyet işlemlerinin dış faaliyete dönüştürülmesi için gerekli olan yolların aranması.

İç faaliyetin dış faaliyete dönüştürülmesine örnek olarak, enjeksiyon döküm kalıbının makineye bağlandıktan sonra değil makine başında üretime geçilmeden önce ısıtılması verilebilir. İç faaliyetin dış faaliyete dönüştürülmesi sırasındaki destekleyici öneriler aşağıda sıralanmıştır [12].

- Hazırlık Aşamasının Düzenlenmesi: Hazırlık iyileştirmesi yapılmamış bir faaliyet süreci izlendiğinde, çalışanların önemli bir süreyi hazırlık için harcadıkları görülmüştür. Hazırlık aşamasında yapılan işlemler tekrar incelenerek, bu işlemlerin daha az zaman harcayacak şekilde düzenlenmesi yapılabilir. Video çekimi yapılırken, bir tek makine başında yapılan kurulum

işlemleri değil, hazırlık aşamasında yapılan işlemler de çekilmeli ve irdelenmelidir.

- Fonksiyonların Standartlaştırılması: İkinci adımda mevcutta yapılan iç ve dış faaliyetlerin incelenmesi sonucu iç faaliyetler, dış faaliyet haline dönüştürülmektedir. Bu adımın etkin bir şekilde uygulanabilmesi için farklı kalıplara ait kurulum işlemlerinde yapılan işlerin mümkün olduğunca standart hale getirilmesi önem taşımaktadır. Böylece model ya da kalıp değişimlerinde yapılacak işlem sayısı ve işlem süreleri kısaltılabilecektir.
- Çok Fonksiyonlu Jiglerin Kullanılması: Kalıpların merkezlenebilmesi için kullanılan yüzeylere jig adı verilmektedir. Kurulum işlemlerinde en çok kullanılan araçların, çok fonksiyonlu olmasına özen gösterilmelidir. Çok fonksiyonlu jigler birçok modele uyum sağlayabilecektir. Böylece model ya da kalıp değişimlerinde, farklı jiglerin ya da kalıpların takılıp çıkarılması işleminden ve bu işlemlerde kaybedilen zamandan tasarruf edilmiş olunacaktır.

2.2.6. İç ve dış faaliyet sürelerinin incelenerek kısaltılması

SMED uygulamasının ilk adımında iç ve dış faaliyetler birbirinden ayrılmıştır. İkinci aşamasında iç faaliyetlerin dış faaliyet haline getirilmesi çalışması yapılarak makinenin üretim yapmadığı süre kısaltılmaya çalışılmıştır. Fakat SMED'in hedefi sadece faaliyet süresini kısaltmak değil, bu süreyi tek haneli dakikalara indirmektir [7]. Bu nedenle uygulanması gereken 3. bir adıma daha ihtiyaç duyulmaktadır ve bu aşamada, makinelerin kapalı tutulmasını gerektiren kurulum operasyonlarını kısaltmak ya da makine çalışırken yapılmasını sağlamak hedeflenmektedir [12].

İç faaliyet ve dış faaliyet sürelerinin kısaltılmasında çeşitli yenilikler geliştirilmiştir. Bu yenilikler aşağıda sıralanmıştır [12]:

- Fonksiyonel Kelepçelerin Kullanılması: Bu adım için yapılabilecek uygulamalardan bir diğeri ise, uzun zaman alan saplama, civata ya da somun gibi bağlantı elamanlarının yerine daha kullanışlı ve pratik, tek seferde

bağlantıyı yapabilecek yöntemlerin geliştirilmesidir. Bu yöntemde en çok kullanılanlar, kelepçeler ya da armut şekilli ve geçmeli bağlantı elemanlarıdır. Bu bağlantı elemanlarına genel olarak fonksiyonel kelepçe adı verilmiştir.

- Bazı Faaliyetlerin Kaldırılması: Faaliyetlerin kısaltılmasının yanında yapılabiliriyorsa, bazı faaliyetler birleştirilebilir ya da küçük tasarım değişiklikleri ile ayar faaliyeti kaldırılabilir. Bu durum makinenin kapalı kalma süresini çok büyük oranda azaltacaktır.
- Mekanizasyon: Mekanizasyon bu aşamaya kadar yapılan çalışmalara destek amacı ile uygulanmaktadır. Amaç kullanılan mekanik aksamın düzenlenerek, kullanımının kolaylaştırılması ve daha pratik hale getirilmesi, buna bağlı olarak da zamandan tasarruf edilmesidir.
- Kalıpların Hazır Vaziyette Tutulması: Makinelere bağlanacak kalıplar veya diğer teçhizat stok kullanıma hazır durumda bekletilmelidir. Aksi takdirde acilen yapılacak bir ayar işleminde kalıp bağlandıktan sonra büyük aksaklıklar ortaya çıkabilir, kalıp üzerindeki onarımların makine dururken yapılması gerekebilir. Ayrıca kalıplar kolay ulaşılabilir ve kolay tanımlanabilir olmalıdır. Bunun için kalıp stok raflarında ve kalıp üzerinde renk ve numaralarla çok iyi işaretleme ve adresleme yapmak gerekmektedir. Bu şartlar sağlanabildiğinde, doğru kalıbın, çalışabilir vaziyette, en kısa yoldan ve kurulum süresine etki etmeyecek biçimde, ihtiyaç duyulan makine başına getirilebilmesi sağlanabilir [8].
- Renklerin Kullanılması: Araç gerecin aranması ve düzensizlik nedeni ile kaybedilen zaman görsel yolların, özellikle de renklerin kullanımı ile kazanılabilmektedir. Kalıplara ve kalıpların üzerine bağlanacak elemanlara kolay ulaşım için bu parçaların belirlenen renklerde boyanması faydalı olacaktır. Kalıplara makineye bağlandıklarında, genellikle yağ, hidrolik ve elektrik bağlantıları gibi bağlantıların yapılması gerekmektedir. Bağlantıların makine üzerinde yapılması gerektiğinden, iç faaliyet zamanının önemli bir bölümünü bu tür işlemler almaktadır. SMED'in üçüncü kademesinde hortum ve kablo bağlantılarının mutlaka kolaylaştırılması şarttır. İşte bu sırada renk faktörünün hortum, kablo ve bağlanacağı kalıp bölgelerinde kullanılması ile bağlantılar doğru ve daha hızlı yapılabilecektir [7].

2.2.7 SMED yönteminde kullanılan yardımcı teknikler

SMED yöntemine yardımcı diğer araçlar aşağıdaki gibidir:

- Spagetti Diyagramı: SMED çalışmalarında başvurulmuş bir diyagramdır. Bir kağıt üzerine makine veya tezgahın üstten görünüşü çizilir ve bu tezgah veya makinede çalışan operatörün iş yapılış sırasında gidip geldiği her yol ve noktalar bu kağıt üzerine belirtilir. Kağıt üzerinde gidip gelmeler çok olacağından ve karışık olacağından dolayı bu şekil spagetti tabağına benzetilmekte ve yöntem ismini buradan almaktadır. Spagetti diyagramının amacı, operatörün hangi yollarda veya noktalarda yoğunlaştığını görmek ve bu noktalar üzerinde iyileştirme yaparak gidip gelmelerin büyük zaman kayıplarına neden olan israflar olduğu için bunları ortadan kaldırmaktır. Çalışma sırasında operatörün bir araç taşıırken yaptığı hareketler ile çalışmadan yaptığı hareketlerin iki değişik renk ile işaretlenmesi çalışmanın yararına olacaktır.
- ECRS Analizi: SMED uygulamalarının başlıca tekniklerindedir. Adımı elimine etmek (eliminate), birleştirmek (combine), azaltmak (rearrange) ve basitleştirmek (simplify) kelimelerinin İngilizce hallerinin baş harflerinden almaktadır. Amacı kurulum zamanını azaltmaktır. Kurulum sürecinde var olan işlemler sıralanarak, bu işlemlerin birbiriyle birleştirilip birleştirilemeyeceği, işlemlerin yok edilip edilemeyeceği, işlem sürelerinin azaltılıp azaltılamayacağı ve işlemlerde basitleştirme yapılıp yapılamayacağı incelenir. Araştırılan her bir adım kurulum zamanını kısaltmaya hizmet etmektedir. Kullanımı oldukça basit ve oldukça faydalı bir tekniktir.
- Balık Kılıcı Diyagramı: Balık kılıcı diyagramları, bir süreci etkileyen nedenlerin gösterilmesi, sınıflandırılması ve birbirleriyle ilişkilendirilmesi için kullanılır. Balık Kılıcı Diyagramı ya da sebep-sonuç diyagramı, herhangi bir problem ile buna neden olan unsurlar arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlayan grafiksel bir yöntemdir. Problem grafiğinin en sağına, neden olan unsurlar, sebepler ise sola doğru grafik olarak gösterilir. Tekniği geliştirenin

adına izafeten “Ishikawa Diyagramı” veya görünüşüne bağlı olarak Balık Kılçığı Diyagramı olarak da adlandırılmaktadır. Bir sorunun veya sonucun arkasında muhtemelen, birden fazla neden vardır. Nedenler belli kategoriler altında özetlenebilir. En sık kullanılan sınıflandırma, insan gücü, metot, malzeme, makine ve çevre sınıflandırmasıdır. Ancak sınıflandırmada herhangi bir zorunluluk yoktur. Sürece veya soruna bağlı olarak ekipler istedikleri neden kategorilerini kullanabilirler.

Balık kılçığı diyagramının kullanıldığı yerler [13]:

- Olası Nedenlerin Saptanmasında: Balık kılçığı diyagramının en sık kullanıldığı problem çözme aşaması, olası nedenlerin saptanmasıdır. Beyin Fırtınası sonucu elde edilen olası nedenlerin sistemli bir dökümünün ve sınıflandırılmasının yapılmasında ve ilişkilendirilmesinde kullanabileceği gibi; sürecin veya sorunu dikkatle incelenmesi, anlaşılması sonucu elde edilen bilgilerin sınıflandırılmasında ve ilişkilendirilmesinde de kullanılabilir.
- Çözümlerin oluşturulmasında, tasarım çalışmalarında: Sorunun çözülmesinde veya işlenen gelişmeyi sağlayacak eylem ve değişikliklerin saptanmasında kullanılabilir. Balık kılçığı diyagramı ile olası çözüm ve değişiklikleri sistemli bir şekilde göstermek mümkündür.
- Çözümlerin hayata geçirilmesinde: Genellikle tepki odaklarının ortaya konmasında, olası uygulama sorunları ve önlemlerinin belirlenmesinde faydalı olabilecek bir tekniktir.
- Diğer: Balık kılçığı diyagramı her türden neden-sonuç ilişkisini (karşılıklı ilişkiler) göstermek için kullanılabilir. Örneğin; yapılan bir hata ve yol açabileceği sonuçlar konusunda eğitici bir materyal olarak kullanılabilir.

2.3. Ergonomi

Ergonomi, insanların makineler ile çeşitli iş çevre koşullarına ilişkin bedensel ve ruhsal özelliklerini, eğilimlerini, yeteneklerini, sınırlılıklarını araştıran, elde ettiği veriler ile geliştirdiği ilkeleri makinelerin, makine sistemlerinin, iş ve çevre koşullarının tasarımına ve düzenlemesine uygulayan mühendislik dalıdır. Temel amacı, tüketim ve üretim alanlarında insan ögesinin güvenliği, üretkenliğini artırmak ve iş koşullarını iyileştirmektir [14].

İşyerlerinde gün geçtikçe rekabetin korunabilmesi için üretim oranının ve teknoloji ilerlemelerinin artması gerekmektedir. Bunun sonucu olarak bugünün işlerinde;

- Çok sık tekrarlanan ağır yük kaldırma, taşıma, itme veya çekme işleri herhangi bir ekipmandan yardım almadan yapılmaktadır,
- İşçinin aynı görevi uzun süre tekrarlama gereken işler vardır,
- 8 saatten fazla çalışılan günler vardır,
- Hızlı çalışma gerektiren işler yapılmaktadır (hızlı montaj hattı gibi).

Ayrıca özellikle zayıf makine, alet ve uygun olmayan işyeri tasarımı gibi faktörlerin bir araya gelmesi çalışanda çeşitli baskılara yol açacaktır. İşyerlerinde işlerin ve ekipmanların ergonomi prensiplerine göre tasarlanmaması bu baskıların temel kaynağıdır ve bu durumların iyileştirilmesi ergonomi uygulamalarının başlıca amaçları arasında gösterilir.

Tüm bunların yanı sıra çalışanın zorlanmaya maruz kalmadan yapacağı bir iş ile zorlanmaya maruz kaldığı durumdaki işin kalitesi arasında belirgin farklılıklar oluşmaktadır [15].

İşyerlerinde ergonomi uygulamaları sonucunda oluşacak iyileşmeler ve yararlar şu şekilde özetlenebilir [16]:

- İş sağlığı ve güvenliği sağlanır,

- Yorulma ve iş stresini azaltır, motivasyonu artırır,
- İş kazaları ve mesleki riskleri önler,
- Verimlilik ve kalitenin yükseltilmesi sağlanır,
- İşçilerin işleri daha rahat yapması ve böylece üretimin artması sağlanır,
- Fiziksel güçten daha az güç gerektiren otomatikleşmiş süreçler ile daha az hata yaparak üretim kalitesinin artırır,
- İşçilerin sağlık problemlerini azaltır ve böylece işgücü kayıplarını önler,
- Çalışanlar için ödenen sağlık ve işgücü değişimi masraflarını azaltır.

2.3.1. Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri

Çalışanların maruz kaldığı risklerin gelişmesine katkıda bulunabilen faktörlerin doğru ölçülmesi, araştırmaları yönlendiren ergonomistler için hayati önem taşımaktadır [17]. Raporlanmış iş ile ilişkili yaralanmaların çoğunluğu sırt, omuz, üst uzuvlar ve boyun üzerinde yoğunlaşmış olduğundan ötürü, Ergonomik ölçümler/değerlendirmeler de çoğunlukla bu bölgelerdedir.

Maruziyet değerlendirme teknikleri üç kategori içinde açık olarak sınıflandırmışlardır. Bunlar [18]:

- Öznel değerlendirmeler
- Gözlemsel değerlendirmeler
- Direkt ölçümlerdir.

Öznel değerlendirmeler: Maruziyetlerin değerlendirilmesi için çok fazla subjektif yöntem bulunmaktadır. Öznel risk değerlendirmesi olarak anketler ve kontrol listeleri kullanılır. Bu yöntemlerden literatürde adından çokça bahsettirenlerden bazıları; standardize edilmiş İskandinav Kas-İskelet Sistemi Anketi (Nordic Musculoskeletal Questionnaire), Alman Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi (Dutch Musculoskeletal Discomfort Questionnaire), Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlığı Taraması (Cornell Musculoskeletal Discomfort Survey), Vücut Rahatsızlık Haritası (Body Discomfort Map), Hissedilen Çaba Derecesi (Rating of Perceived Exertion,

RPE), RPE'ye dayanan İsveç Mesleki Yorgunluk Envanteri (Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI)'dir. Bu yöntemlerin en önemli avantajı düşük kaynak kullanımı ve imkan dahilinde geniş örnek büyüklüğü sağlamasıdır. Maruziyet seviyesinin mutlak bir şekilde ölçümü bu metotları kullanarak şüpheli olmakla beraber, nispeten daha yüksek riskteki meslek grupları için diğer metotlar kullanılarak daha detaylı analizler yapılmalıdır.

Gözlemlere dayalı yöntemler: İş yerindeki risk maruziyetlerini sistematik olarak kaydetmek ve nicel değerlendirmeler yapmak amacıyla gözlemsel teknikler oluşturulmuştur. Literatürde bir takım basit gözlemsel teknikler geliştirilmiştir. Farklı teknikler, insan vücudunun farklı sayıdaki bölgeleri için risk değerlendirmelerini gerçekleştirir.

Tablo 2.2. Gözlemsel değerlendirme araçları [19]

| Değerlendirme Aracı | Duruş | Yük/Güç | Haraket Frekansı | Süre | Titreşim | Analiz Zamanı | Eğitim Gereksinimi - Karmaşıklık | Değerlendirilen Vücut Bölgeleri |
|---|-------|---------|------------------|------|----------|---------------|----------------------------------|---|
| El ile malzeme elleçleme (kaldırma, indirme, itirme, çekme, taşıma) görevleri için | | | | | | | | |
| NIOHS - 1994 ABD Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü | * | * | * | * | - | Düşük | Düşük | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça |
| Snook Tabloları -1991 | * | * | * | * | - | Düşük | Düşük | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça / Bacak / Diz / Ayak |
| MAC - 2003 El ile Taşıma Değerlendirme Çizelgeleri | * | * | * | - | - | Düşük | Düşük | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça |
| Üst Uzuv Risk Değerlendirme Metotları | | | | | | | | |
| ACGIH - 2001 El Aktivitesi Düzeyi | - | * | * | * | - | Orta | Orta | El aktivitesi Düzeyi |
| RULA - 1993 Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi | * | * | * | - | - | Düşük | Orta | Boyun / Omuz / El / Bilek / Kol / Sirt / Gövde / Kalça |
| Birleştirilmiş Metotlar | | | | | | | | |
| Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi | * | * | * | * | * | Düşük | Orta | Boyun / Omuz / El / Bilek / Kol / Sirt / Gövde / Kalça |
| OWAS - 1970 Ovako Çalışma Duruşlarının Analiz Sistemi | * | * | - | - | - | Yüksek | Orta | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça / Bacak / Diz / Ayak |
| REBA - Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi | * | * | * | - | - | Düşük | Orta | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça / Bacak / Diz / Ayak |
| Sue Rodgers Değerlendirme Yöntemi | * | * | * | * | - | Düşük | Düşük | Boyun / Omuz / Sirt / Gövde /kalça / Bacak / Diz / Ayak |

Tablo 2.2.'de kas-iskelet sistemi rahatsızlığına ilişkin fiziksel risk faktörleri gösterilmiştir. Aynı tabloda farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri eksik yanlarıyla birlikte gösterilmiştir.

Yüksek derecede dinamik aktiviteler için vücudun duruş şekli ile ilgili değişimin değerlendirilmesi için gözlemsel teknikler geliştirilmiştir. Bu metotlar, videoya, bilgisayara veya değerlendirme formlarına kaydedilen veriler ile sonradan objektif olarak analiz edilebilir. Ayrıca, hareketin uzaklığı, açısal değişiklik, hız ve yük gibi birkaç boyut belirlenebilir. Gözleme ve bir teknik metoda bağlı olan bu yöntemler gözlemlere dayalı metotlar olarak adlandırılır [19].

Direkt ölçüm teknikleri: Operatörlerin iş yapılış sırasındaki hareketlerinin ve duruşlarının analizi için çeşitli direkt ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Direkt ölçümler için; sırasıyla kas aktiviteleri, açı sapmaları, güçler ve vücut hareketleri hakkında detaylı gerçek nicel bilgiler veren elektromiyografi, açı ölçer, biyomekanik analiz araçları ve optik araçlar kullanılır.

Yukarıda değinilen bu üç yaklaşımın karşılaştırılması yapıldığında, daha geçerli ve güvenilir metotlar olduğundan, direkt ölçümler gözlemlerin üzerinde, gözlemler de kişisel raporların üzerinde tutulur. Gözlemsel teknikler temassızdır (vücuda cihazların takıldığı direkt ölçüm metotlarının tersine) ancak, çeşitli vücut duruşlarını tanımlamada analizi yapan kişiye bağlıdır. Gözlemsel teknikler diğer yöntemlere kıyasla daha maliyetlidir. Büyük çaplı epidemiyolojik çalışmalarda, önemli kaynaklar ve uzman gerektirdiğinden, bireysel maruziyet değerlendirmesi için pratik değildir.

2.4. Sue Rodgers Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemi

Gözlemlere dayalı bir metot olan Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi Suzanne Rodgers tarafından 1978-1992 yılları arasında çeşitli sektörlerde çalışanın kasları üzerindeki biriken yorgunluğunu ölçmek için geliştirilmiştir. Hızla yorulan kas sisteminin sakatlanmalara ve incinmelere daha yatkın olduğu hipotezinden yola çıkılmıştır. Bu hipotez ile eğer kas yorgunluğu minimize edilebilirse aktif kaslardan dolayı kaynaklanan sakatlıklar ve hastalıkların önüne geçilebilir. Bu bağlamda Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme metodu, 1 saat

veya daha fazla uygunsuz vücut duruşlarının ve hareketlerinin mevcut olduğu çalışma alanlarında kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının önüne geçebilmek için kullanılabilir en uygun ergonomik risk değerlendirme metodudur [20].

Sue Rodgers metodu, çalışanların kolaylıkla kullanabileceği bir metottur. Öğrenilmesi ve uygulanışı fazla zaman gerektirmeyen, değerlendirme sonucu analiz etme süresi diğer yöntemlere nazaran kısa olabilen, 1000 üzeri çalışanı bulunan işletmeler için kısıtlı süre zarfında tatmin edici sonuçlar alınabilen bir gözlemsel ergonomik risk değerlendirme metodudur.

2.4.1. Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi uygulama adımları

Değerlendirme yapılacak olan iş seçilir. İş parçalara bölünerek, alt proses bileşenleri belirlenir. Sue Rodgers Proses Kartı'na yazılır. Proses kartını dolduran kişi Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi hakkında eğitim almış olmalıdır. Tablo 2.3.'te Sue Rodgers Proses Kartı verilmiştir.

Tablo 2.3. Sue Rodgers proses kartı

| İş/Proses No. | Değerlendirici | | Tarih |
|------------------|----------------|----------------------|---------|
| | İş Adımı | Zorluk Değerlendirme | Öncelik |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| . | | | |
| . | | | |
| N | | | |

Buna eş zamanlı olarak her bir alt proses bileşeni ile ilgili çalışanın kendine göre “zor” olarak nitelendirdiği proses bileşeni belirlenir. Bu proses bileşenine öncelik atanır. Öncelikli olan proses bileşenlerinden başlamak üzere her bir proses bileşeni için Sue Rodgers Risk Değerlendirme Formu doldurulur.

Sue Rodgers risk değerlendirme formu temelde 4 bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Değerlendirme kriterleri baremleri (Tablo 2.4.)

2. Kas gruplarına göre harcanan efor değerleri tablosu (Tablo 2.5.)
3. Veri girişi bölümü çıkan sonuçlara göre risk seviyesinin belirlendiği risk skalası bölümü (Tablo 2.6.)
4. Proses bileşenlerinin yazıldığı ve kriterlere göre gerçekleşen değerlerinin yazıldığı veri giriş bölümü (Tablo 2.7.)

Tablo 2.4. Değerlendirme kriterleri baremi

| Skala | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Dakikadaki Efor |
|-------|---------------|--------------------|------------------------|
| 1 | Hafif | 6 saniyeden az | Dakikada 1'den az |
| 2 | Orta | 6-20 saniye arası | Dakikada 1-5 arasında |
| 3 | Ağır | 20-40 saniye arası | Dakikada 5-15 arasında |

Buradaki bilgiler veri giriş bölümünün yer aldığı tablolara doldurulmaktadır. Operatörün harcanan efor bilgisi Tablo 2.7.'den elde edilir. Örneğin boyun için operatör iş devam süresi boyunca %50'den daha fazla bu şekilde çalışıyorsa 3 değerini alır. Aynı şekilde operatör aynı işe devam süresi 20-40 saniye arası ise 3 değerini alır. Aynı işi tekrarlamadaki sıklığı 1-5 arasında dakikadaki efor değeri 2 olur.

Değerlendirilecek olan proses bileşeni aşağıda belirtilen vücut bölgelerinin her biri için harcanan efor, efor devam süresi ve efor frekansı kriterleri baz alınarak gözlemlenir:

- Sırt,
- Boyun,
- Omuzlar,
- Kol ve dirsekler,
- Bilekler, eller ve parmaklar,
- Bacaklar ve dizler,
- Ayak bilekleri ve ayak parmakları,

Tablo 2.5. Harcanan efor

| SUE RODGERS ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME FORMU | | | | |
|--|---|---|--|---|
| | 1. HAFİF <%30 | 2. ORTA %30-%70 | | 3. AĞIR >%70 |
| Major Çalışan Kas Grubu | Düşük Kuvvet ve Uygun Çalışma Pozisyonu | Düşük Kuvvet ve Zor Çalışma Pozisyonu | Yüksek Kuvvet ve Uygun Çalışma Pozisyonu | Yüksek Kuvvet ve Zor Çalışma Pozisyonu |
| Sırt | Yana eğilmek; 20 dereceden az öne eğilmek; geriye esnemek | Yüksüz öne eğilmek; vücuda yapışık uygun ağırlıkta yük taşımak; baş seviyesi üzerinde çalışmak | | Kaldırarak veya yüksek kuvvet uygulayarak dönmek; yüksek kuvvet veya yükte 20 dereceden fazla eğilmek; 75 dereceden fazla uzanmak veya 60 dereceden fazla eğilmek |
| Boyun | Başı kısmen yana, öne, arkaya çevirmek | Başı tam yana eğmek; başı tam arkaya kaldırmak; 20 dereceden fazla öne eğmek | | Başı ön, arka, yana eğik pozisyonda prosesin %50si boyunca çalışma |
| Omuzlar | Kollar hafif vücuttan açık çalışma; kolları destekle uzatma | Kollar vücuttan uzak bir şekilde, desteksiz çalışma; Baş seviyesi üzerinde çalışmak | | Kollar vücuttan uzakta 75 cm üzerinde gergin pozisyonda veya baş üzerinde pozisyonda prosesin %50si boyunca çalışma |
| Kol ve Dirsekler | Kollar gövdeden açık yüksüz çalışma; hafif kuvvet ve yük kaldırma; gövde yanında çalışma | Orta kuvvette kolu çevirme | | Yüksek kuvvette kolu çevirmeler; maksimum gerilmeler |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | Düşük kuvvetle veya vücuda yakın bilekler düz pozisyonda taşıma ve uygun düz tutuş | Geniş veya dar parçayı tutma; açılı dirsek pozisyonunda çalışma; özellikle öne eğilmiş bilek; orta kuvvetlerde eldiven kullanma | | Zayıf tutuş yüksek, yüksek dirsek hareketlerinde çalışma; kaygan yüzeyler, elle yunruklama |
| Bacaklar ve Dizler | Eğilmeden düz ayakta durmak, yürümek; çift ayak üzerinde kuvvet binmiş düşük kuvvet ve uygun çalışma pozisyonunda itme, çekme | Yüzey üzerine öne, yana eğilmek; ağırlık tek tarafta çalışmak; orta kuvvetle zor pozisyonda itme, çekme; dizlikle diz çökme | | yüksek kuvvetle itme çekme; dizliksiz diz çökme |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | Ayakta durmak veya yana eğilmek; çift ayak üzerinde uygun ayak açıklığında bulunmak | Vücudu ayakta 90 derece çevirmek; yük tek ayak üzerinde vücudu çevirmek; 15cm üzerinde basamak çıkmak | | Çömelmek veya koltuksuz oturuş pozisyonunda durmak; diz çökmek |

Tablo 2.6. Risk skalası [21]

| Düşük | Orta | Yüksek | Çok Yüksek |
|-------|------|--------|------------|
| 111 | 123 | 223 | 322 |
| 112 | 132 | 313 | 331 |
| 113 | 213 | 321 | 332 |
| 211 | 222 | 322 | |
| 121 | 231 | | 4xx |
| 212 | 232 | | x4x |
| 311 | 312 | | xx4 |
| 122 | | | |
| 131 | | | |
| 221 | | | |

Tablo 2.7. Veri giriş bölümü

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | | | | | |
| Boyun | | | | | |
| Omuzlar | | | | | |
| Kol ve Dirsekler | | | | | |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | | | | | |
| Bacaklar ve Dizler | | | | | |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | | | | | |

Tablo 2.7. Ergonomik risk değerlendirme analizi yapıldıktan sonra risk seviyesini elde edeceği tablodur. Bu tablo aslında nihai tablodur. Harcanan efor, efor devam süresi ve efor frekansı değeri girilerek risk derecesi bulunur.

Çıkan sonuçlara göre proses bileşeninin her bir vücut bölgesi için risk seviyesi belli olur ve en yüksek çıkan risk seviyesi o proses bileşeninin genel risk seviyesini belirler.

Böylece ilgili prosesin Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemine göre ergonomik risk derecesi belirlenmiş olur [22].

2.5 Gri Esaslı Taguchi Yöntemi

2.5.1 Gri teori ve gri ilişkisel analiz

Gri teori,

- Sistemler arası analiz,
- Model kurulması
- Tahmin ve karar verme problemleri için sıkça başvurulan bir yöntemdir.

Gri teori, kesikli veri setleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmede ve çok nitelikli durumlarda karar vermede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin temel avantajları; sonuçların orijinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve kolay anlaşılabilir olması ve işletmenin bulunduğu çevrede karar vermek üzere en iyi yöntemlerden biri olmasıdır [23].

Sistem bilimi içerisinde, gri teori belirsiz ve karmaşık problemlerle ilgilenmektedir.

Gri teoride;

- Belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan sistemler beyaz,
- Tam zıt özelliklere sahip olan sistemler siyah,

- Yalnızca kısmi bilgiye sahip olan sistemler ise gri sistemler olarak nitelendirilmiştir.

Yani bilgi var ve tam ise beyaz, bilgi yok ise siyah, eksik bilgi var ise gri sistemdir. Gri ilişki analizi, “Gri Teori” ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır. Yöntem; birden fazla alternatifin, birden fazla kriterin varlığında değerlendirildiği bir problemde; her bir kriter için bir alternatifin tüm alternatifler arasında sahip olunabilecek en iyi alternatif olan yakınlığına bağlı olarak, tüm kriterler için en iyi alternatifin seçilmesini sağlar.

Gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör serisi (referans serisi) arasındaki ilişki derecesi belirlenir. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi gri ilişki derecesi olarak isimlendirilir. Gri ilişki derecesinin büyüklüğü faktörler arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir.

Regresyon analizi, faktör analizi, temel bileşenler analizi gibi istatistiksel analiz tekniklerinin birçoğu genellikle sistem analizinde yaygın kullanılan nicel yöntemlerdir. Ancak bu tip istatistiksel analiz teknikleri ortak özelliklere sahip, aşağıda belirtildiği gibi fark edilemeyecek bazı sakıncalara ve varsayımların sağlanmasındaki zorluklara sahip olabilmektedir. Bu zorluklar:

- Çok büyük miktarlarda veri gerektirmektedir. Aksi takdirde uygun bir güvenilirlikle uygulanan tekniğin, anlamlı istatistiksel sonuçlara ulaşması çok zor olabilecektir.
- Ana kütlelerin ve bu ana kütlelerden çekilen örneklemelerin olasılık dağılımlarının normal olduğunu kabul etmek gerekmektedir. Tüm değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilmektedir. Bu tip ihtiyaçlarla sık sık gerçek yaşamda karşılaşmak oldukça zor olmaktadır.
- Varsayımların sağlanmasının zorunluluğuna ve analizlerin oldukça geniş formüllerle hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

- Nicel sonuçlar genellikle nitel analiz sonuçlarıyla aynı düzeyde uyumlu olmadıkları için, sistem gözden geçirilirken yanlış anlamalara sebep olabilmektedirler.

Bu tip varsayımların test edilmesiyle birlikte varsayımlarda oluşabilen bozulmalar veya sapmalar sonucu gri ilişkisel analiz sistem analizinde istatistiksel analiz tekniklerin yerine kullanılabilir. Çok büyük miktarda örnek büyüklüğüne, dağılım tipine ve istatistik analizlerinde kullanılan hesaplamalara göre çok az sayıda hesaplama işlemlerine ihtiyaç duyduğu için, gri ilişkisel analiz çalışmalarının her biri genellikle nicel ve nitel analiz arasında bir uyumla sonuçlanarak sistemin doğru belirlenmesini sağlayabilmektedir.

Gri ilişkisel analiz az miktarda örneklem mevcudu ile diğer istatistiksel analiz teknikleriyle yapılan çalışmaların sonuçlarından daha iyi ve daha doğru sıralamayla sonuç vermiştir. Gerçek yaşam problemlerinde oluşan bazı zorluklar istatistik analizlerinde dikkate alınmadığı için, gri ilişkisel analiz bu zorlukları da veri işleyiş sürecinde faktörler arasındaki ilişkilere eksik bilgi altında anlık bakarak dikkate almaktadır. Çünkü basit, belirli ve net hesaplama süreci ve adımlarından oluşmaktadır.

Gri ilişkisel analiz, faktörlerin kendi aralarındaki ilişkiyi değerlendirmek için faktörler arasındaki bağıntıyı belirler. Kısaca çeşitli faktörlerin tüm etkilerini ve bunların ilişkilerini ölçmek için kullanılmaktadır.

2.5.2. Taguchi deney tasarımı yöntemi

Günümüzde, ürün kalitesini geliştirmek için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunların önemli bir kısmı kalite karakteristiklerini (yanıtları) tek tek ele alarak kaliteyi sağlamaya çalışmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar yeteri kadar etkin ve ekonomik olamamaktadır. İki veya daha çok yanıt beraber analiz ederek, ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre eniyi kombinasyonlar ortaya koyan yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Taguchi Yöntemi'dir

[24]. Bu yöntemde amaç hem düşük maliyette ürün kalitesini ve süreç performansını geliştirmek hem de dış faktörlerin istenmeyen etkilerini azaltarak ürün ve süreç sağlamlığını arttırmaktır.

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarımına dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, “sağlam tasarım” ve “ortogonal diziler” gibi kavramları eklemektedir.

Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır. Geliştirilen ortogonal dizinler sayesinde yapılacak olan deneyler önemli ölçüde azalır [26]. Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur [25].

Taguchi, parametrelerdeki değişkenliği azaltmak amacıyla Robust Tasarım ile performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirilmiştir. Uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir Sinyal/Gürültü oranı tanımlanmıştır. Performans istatistikleri, gürültü faktörlerinin kalite göstergesi üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece kontrol faktörlerinin en uygun bileşimleri bulunmuş olacaktır. S/G oranı değeri “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi”, “hedef değer en iyi” olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir.

En küçük en iyi problemlerinde, kalite değişkeni sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değeri alabilmektedir. Negatif olamamaktadır. Kalite değişkeni y için istenilen değer sıfırdır. Bu durumda S/G oranı Eşitlik 2.1 kullanılarak tanımlanabilmektedir.

$$S/G = -10. \log \sum \frac{y^2}{n} \quad (2.1)$$

En büyük en iyi problemlerinde, y 'nin değeri pozitif ve sonsuzdur. Hedef değerinin olabildiğince büyük olması istenmektedir. Bu durumda S/G oranı Eşitlik 2.2 kullanılarak tanımlanabilmektedir.

$$S/G = -10 \cdot \frac{1}{n} \log \sum \frac{1}{y^2} \quad (2.2)$$

Hedef değer en iyi problemlerinde, y 'nin belli bir hedef değeri mevcuttur. Bu tip problemler iki aşamada çözülebilmektedir. Birinci aşamada, S/G oranı enbüyüklenmekte ya da gürültüye karşı olan duyarlılık enküçüklenmektedir. Bunun için kontrol faktörlerinin tüm değerleri denenerek S/G oranı en büyük olanı seçilmektedir. İkinci aşamada ise, S/G oranı değişmeyecek şekilde ortalama hedef değere çekilmeye çalışılmaktadır. Hedef değer en iyi için S/G oranı Eşitlik 2.3'te verilmiştir.

$$S/G = -10 \cdot \frac{1}{n} \log \sum \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (2.3)$$

Tüm eşitliklerde;

Y = Performans göstergesinin i . gözlem değeri

n = Bir denemedeki test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin ortalaması

s^2 = Gözlem değerlerinin varyansı olarak tanımlanmaktadır.

S/G oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Analizlerde S/G'nin en büyük değeri daha tercih edilir durumu belirtmektedir. S/G oranı, çok sayıda tekrarı mevcut değişkenliği yansıtan tek bir değerde birleştirir. Her üç tip problemde de, amaç S/G oranını enbüyüklemektir [25].

2.5.3. Taguchi deney tasarımı yönteminin uygulama adımları

Taguchi'nin deneysel tasarım adımları [26];

- Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi: Deneye başlamadan önce neyin araştırılacağını belirlemek gerekmektedir. Daha sonra kontrol edilebilir ve kritik süreç değişkenleri belirlenerek, yapılan işlemin, kullanılan yöntemin ürün veya sürece etkisi mevcut durum dikkate alınarak net ve anlaşılır bir biçimde belirlenmelidir.
- Kalite göstergesi, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır. Buna göre, problemin amacına yönelik olarak bir ya da birden fazla ölçülebilir kalite göstergesi seçilebilir.
- Ürün veya süreç kalite göstergesini etkileyen faktörlerin seçilmesinde, beyin fırtınası, süreç akış şeması, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler yardımıyla kalite göstergesine etki eden ölçülebilen ve kontrol altında tutulabilen tüm faktörler belirlenmektedir.
- Faktör Düzeylerinin Seçilmesi: Faktörlerin düzeyleri, en az iki ve daha fazla olabilmektedir. İki düzey belirlendiğinde, bunlar bir düşük bir yüksek seviye olurken, ikiden fazla olduğunda farklı kademelerde değerler de verilebilmektedir. Düzey sayısı arttıkça, deney tasarımındaki gözlem sayısının arttığı ve gözlemler yapılırken rassal etkilerin oluşabileceği unutulmamalıdır.
- Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi: Bu aşamada, dikkat edilmesi gereken konu örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir.
- Faktör veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması: Faktör ve/veya etkileşimlerin seçilen ortogonal dizine göre kolonlara atanmasında, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır.
- Doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini kullanılacağını göstermektedir. Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri içermektedir.

- Testlerin Yapılması: İlgilenilen problemin çözümü için birden fazla performans karakteristiğinin özelliklerine uygun olarak performans istatistiği seçilmektedir. Verilerin analizi seçilen performans istatistiğine göre yapılmaktadır. Bu nedenle performans istatistiğinin doğru belirlenmesi çok önemli bir husustur.
- Testler, problemin belirlediği ortogonal dizinin satırlarının öngördüğü denemelerden oluşur. Deney boyunca hatayı minimize edebilmek, gürültü faktörlerinin etkisini görebilmek, gözlem değerleri sayısının çokluğuna bağlıdır. Seçilen her bir deney tasarımı ne kadar çok sayıda test edilirse deneyin güvenilirliği o ölçüde artış göstermektedir.
- Sonuçların Analiz Edilmesi: Verilerin analizinde, ilgilenilen kalite göstergesine etkisi olan faktör veya etkileşimler belirlenerek, kritik olanlar seçilmektedir. İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve istatistiksel olarak analizi yapılır. Analiz, yapılan çalışmanın duyarlılığı için gereklidir. Analizde, kurulan model temelinde deney faktörleri için elde edilmiş verilere ilişkin grafikler de oluşturulmaktadır.
- Doğrulama Deneyinin Yapılması: Deney analiz sonucunda seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deney doğrulama deneyidir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur.

2.5.4. Gri esaslı Taguchi yöntemi uygulama adımları

Çalışmada, faktörlerin optimum düzeylerine karar vermek için gri esaslı Taguchi yaklaşımı kullanılmıştır. Taguchi metodu tek yanıtlı problemler için tasarlanmış bir yöntem olduğundan çok kriterli problemlerin optimizasyonu için gri ilişkisel analiz bu metotla birleştirilmiştir. Gri ilişkisel analiz yöntemi iki veya daha fazla değerlendirme kriterini her kriterin optimum seviyesine uygun olarak birleştirerek tek bir değer haline getirir ve bu değerleri sıralar.

Gri esaslı Taguchi yöntemine ilk olarak çalışmada etkili olabilecek parametreler ve bu parametrelere ait seviyeler bulunarak başlanır. Parametreler ve uygun seviyeleri belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizinlerinden uygun olan dizin seçilir ve bu dizine ait deney düzeneği tablosu oluşturulur. Hazırlanan deney düzeneği tablosuna göre deneyler yapılır ve deneylerin sonuçları tabloya kaydedilir. Problemin çözümüne uygun olarak deney sonuçları gerekli S/G oranına çevrilir. Daha sonra faktörler arası gri ilişkisel derece S/G oranları değerlerine göre hesaplanır. Bunun için klasik GİA yöntemi kullanılır. GİA, gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottür. Her bir faktör bir dizi (sıra veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir [27].

Gri ilişkisel analiz metoduna göre gri ilişki derecesi hesaplama adımları aşağıdaki gibidir [27]:

- *Referans Serisi Belirleme*: n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun (Eşitlik 2.4).

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \quad (2.4)$$

- *Verilerin normalize edilmesi*

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü düşünüldüğünde GİA'nın ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesinde de fayda vardır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme projesine “gri ilişkisel oluşum” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi doğrusal veri ön işleme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi”, “hedef değer en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise doğrusal

normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1” e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” ‘a yakın değerler alacaktır.

“En büyük en iyi” durumunda normalizasyon Eşitlik 2.5’teki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2.5)$$

“En küçük en iyi” için Eşitlik 2.6’daki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^o(k) - x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2.6)$$

“Hedef değer en iyi” için Eşitlik 2.7’deki gibidir.

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^o(k) - x^o|}{\max x_i^o(k) - x^o} \quad (2.7)$$

Bu formüllerde yer alan, $x_i^o(k)$, i serisi k. sıradaki orjinal değeri, $x_i(k)$ normalizasyon sonrası i. seri k. sıradaki değeri, $\min x_i^o(k)$ i serisindeki minimum değeri, $\max x_i^o(k)$ i serisindeki maksimum değeridir. x^o istenilen ideal değeri göstermektedir.

- *Karşılaştırılacak serinin belirlenmesi:* x^o serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Eşitlik 2.8’de tanımlanmış olsun.

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.8)$$

- *Seride seçilen sıradaki değer in hesaplanması:* k, n uzunluğundaki serideki k. sırayı gösterecek $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k. noktadaki gri ilişkisel katsayı olup eşitlik 2.9 - 2.12’ye göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{msx}} \quad (2.9)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.10)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.11)$$

$$\Delta_{max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.12)$$

Normalleştirme işlemi yapılarak elde edilen veriler 0-1 aralığında değerler alır. Bu değerlerin referans seriye olan uzaklığı $\Delta_{0i}(k)$ ile gösterilir. ξ (0,1) arasındaki bir katsayıdır. $j=1,2, \dots, m$; $k=1,2, \dots, n$. x işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{max} arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar x değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

- *Gri İlişki Derecesi Belirleme:* Son olarak gri ilişkisel derece ise eşitlik 2.13 ile hesaplanır:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (2.13)$$

$\gamma(x_0, x_i)$ gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Hesaplanan normalizasyon değerlerine göre gri ilişki derecesi hesaplanır. Gri İlişkisel Derecenin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstergesidir. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriyne ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Gri esaslı Taguchi yönteminde faktörler arası ilişki derecesi hesaplandıktan ve tek bir çıktı değişkeni değeri elde edilir. Bu değer deneylerin analizde kullanılacak sonucudur. Oluşturulan düzeneğinin faktör kombinasyonlarının sonuçları olarak analizde kullanılmak üzere tabloya yerleştirilir.

Ortogonal dizin tablosuna göre deney düzeneği tablosu oluşturulur ve her bir faktöre ait olduğu seviyesi (1 veya 2) yazılır. Daha sonra uygun deney sıralamasının ve faktörlerin her birine ait katkı yüzdesini bulmak için varyans analizi yapılır. Varyans

analizi yapılırken hesaplanan gri ilişki derecesi kullanılır. Yapılan analiz sonucunda her bir faktörün yapılan çalışma üzerinde ki katkısı ve her bir faktör için uygun olan seviye belirlenmiş olur.

Test yapmanın amacı ürün veya proses değişimini kontrol etmek ve performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar vermektir. Varyans analizi test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermektedir. Varyans analizine F testi de denmektedir Burada aşağıdaki eşitlikler kullanılarak faktörlerin yapılan çalışmaya katkı yüzdeleri hesaplanır.

V_1 varyans değeri iken V_1' sadece 1.parametreye ait beklenen varyanstır. 1. Parametre için varyans;

$$V_1 = \frac{KT_1}{sd_1} \text{ ise } V_1' = \frac{KT_1'}{sd_1} \text{ olur.} \quad (3.14)$$

KT_1 : 1. Faktöre ait kareler toplamıdır. sd_1 , 1. Faktörün serbestlik derecesidir. V_e ise hata varyansı değeridir.

$$\frac{KT_1'}{sd_1} = \frac{KT_1}{sd_1 - V_e} \text{ olduğuna göre } KT_1' = \frac{KT_1}{sd_1 \cdot V_e} \text{ 'dır.} \quad (3.15)$$

KTA : A faktörüne göre kareler toplamının beklenen değeridir. Buradan toplam varyanstaki katkı yüzdesi (P) hesaplanabilir. A faktörü için katkı yüzdesi aşağıdaki formül (eşitlik 2.16) yardımıyla bulunur;

$$P_A = \frac{KTA'}{GKT} \cdot 100 \quad (2.16)$$

GKT , genel kareler toplamıdır. Yani her bir faktörün karelerinin toplam değeridir.

Analizler tamamlandıktan sonra, son olarak doğrulama deneyi yapılır. Doğrulama deneyi yapılan çalışmanın doğruluğunu test etmek için yapılmaktadır. Optimum durumun tahmini olarak literatürde yer alan bu kısımda μ değeri hesaplanır. μ ,

optimum parametrelerin beklenen ortalama değeridir ve bu değer eşitlik 2.17'ye göre hesaplanır [28].

$$\mu = \overline{P1} + \overline{P2} + \overline{P3} - (2.\overline{T}) \quad (2.17)$$

Burada, $\overline{P1}$, $\overline{P2}$ ve $\overline{P3}$, 1. parametre, 2. parametre ve 3. parametrenin optimum seviyelerindeki gri ilişki derecelerinin ortalamasını, \overline{T} ise tüm gri ilişki derecelerinin toplamının ortalama değerini göstermektedir. Yapılan çalışmanın durumuna göre, uygun parametre sayısı bu formüle göre eklenip çıkartılabilir. μ tahmini ortalama değeri hesaplandıktan sonra güven aralığı (CI) değeri hesaplanır. Güven aralığı hesaplanırken eşitlik 2.18'den faydalanılır.

$$CI = \sqrt{F_{\alpha(1,f_e)} V_e \cdot \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right]} \quad (2.18)$$

Bu eşitlikte yer alan $F_{\alpha(1,f_e)}$ % α seviyesin F ratio değeri, α risk değerini, f_e serbestlik derecesinin hata değerini, V_e kareler ortalamasının hata değeri, n_{eff} yapılan deneylerin toplam sayısının sonucu, R ise doğrulama deneylerinin sayısıdır.

2.6. Literatür Araştırması

Bu bölümde kronolojik sıraya göre literatürde yer alan SMED ve Gri esaslı Taguchi yöntemleri çalışmaları incelendi. Literatür alışması verildikten sonra uygulamada anlatılacak konunun modeli oluşturuldu.

2.6.1. SMED yöntemi ile yapılmış alışmalar

SMED yöntemi ilk olarak 1950'li yıllarda Honda'nın Hiroşimada'ki fabrikasında Shigeo Shingo tarafından ortaya atılmıştır. Burada yapılan çalışma i faaliyetleri dış faaliyetlerden ayırt ederek, dış faaliyetlerin süresini toplam faaliyet sresinden

düşmek olmuştur. SMED yaklaşımının isimlendirilmesi ve yeni bir teknik olarak benimsenmesi 1969 yılında gerçekleşmiştir.

Kuşar ve arkadaşları 2010 yılında, kurulum süresinin 10 dakikanın altına düştüğünü, Standart SMED tekniklerini kullanarak bir jet makinesi üzerinde uygulamayı gerçekleştirerek göstermişlerdir [29].

Grzybowska ve arkadaşları 2011 yılında, SMED tekniğini kullanarak metal sektörü üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada zamanı azaltmakla birlikte zaman ve maliyet üzerine bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bilgi akışı gibi üçüncü maliyet kavramı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda geliştirilen model ile istenen sonuç alınmıştır [30].

2013 yılında Almomani ve arkadaşları Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKVT) ve SMED metodu üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Burada sistematik SMED yaklaşımının Shingo'ya göre de tek başına yeterli olmadığı vurgulanmaktadır. ÇKKVT kullanarak SMED yaklaşımını bir model geliştirmişlerdir. Burada SMED ile birlikte, maliyet, enerji, güvenlik, kalite gibi faktörler ile en iyi kurulum tekniğine ÇKKVT ile karar verilmiştir [31].

Çakmakçı ve arkadaşları 2013 yılında Plastik enjeksiyon makinesi üzerinde bir SMED çalışması yapmışlardır. Burada SMED tekniği Taguchi tekniği ile birlikte uygulanmıştır. Taguchi tekniği ile ilk seferde doğru üretimi sağlayacak deneyin bulunmasının ardından SMED tekniğinde sürenin azalacağı gösterilmiş [32].

Yapılan literatür araştırmasında SMED tekniği esas alınan çalışmalarda kalıp değişim veya parça kurulum süresini kısaltırken geliştirilen öneriler dikkate alınmıştır. Benjamin ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmadaki öneriler incelendiğinde, kalıp değişimi başlamadan önce yeni kalıpların hazır bulunması, gerekli olan tüm materyallerin getirilmesi, üretim durmadan önce kalıp değişim performansı hakkında programlanmış planına göre operatörle bağlantı kurulur veya operatörlerin kendi kalıp değişim performansları konusunda eğitim verilmesi

önerilmiştir. Bunun yanı sıra manuel cihazlar yerine havalı (elektronik) cihazların kullanılması, daha az veya daha kısa cıvataların kullanımı, kalıp yerleşimini merkezlemek için jig (iğne) kullanımı, tüm baskı makinelerinde standart kalıp ağırlığına gidilmesi önerilmiştir [33]. Assaf ve Haddad'ın 2014 yılında yaptığı bir çalışmada, Filistin'deki bir alüminyum profil fabrikasında kalıp değişimi sırasında, elle malzeme taşıma işleminin yeniden dizayn edilmesi (gerekirse bir tane daha vinç getirilmeli), süreyi kısaltmak için ara bölge oluşturulması, örneğin eski kalıbı yerine götürmek yerine tanımlanmış yeni ara bölgeye bırakılması bu işlemin dış faaliyete dönüşmesine neden olacağı yapılan önerilerdendir [34].

McIntosh ve arkadaşlarının yayınladığı makalede ise, Bir SMED geliştirme çalışması, kalıp değişimi için makine ve süreç tanımlaması yaparken değişim analizinin yapılması, iyileştirme tekniklerinin üzerinde çalışılması, takım seçiminin geliştirilmesi ve seçilen takımın kararlarının geliştirilmesi gibi aktivitelerin içermesi gerektiğini söylemişlerdir. Aynı makalede “yoluna koyma” ifadesine yer verilmiştir. Shingo'nun metninden, “yoluna koyma” ifadesi ile kalıp değişim süresinin azalacağı ihtimalinin olduğu ve iyileştirme yapılabileceği çıkarılmaktadır. Fakat bu bazı teknikler olmadan, gerçekleştirilen iyileştirilmenin neye dayanarak yapıldığını belirtmeden kesinlikle zordur. Shingo iyileştirme teknikleri ile birlikte kalıp değişim süresini neredeyse %50 azalttığını açıklamıştır [35]. Hay ise Kalıp değişiminde Pareto analizi kullanmış ve ‘düzeltilmiş’ kalıp değişimi ile %46 iyileştirme sağlanmıştır [36]. Shingo aynı zamanda, bazı koşullarda, paralel işlerde, iki operatörün kullanılmasıyla kalıp değişim süresinde %50'den fazla iyileştirme sağlanacağını söylemiştir. Shingo gibi, Rawlinson ve Wells de benzer şekilde, SMED metodolojisinin iki temel prensibi olduğunu, bunların ilkinin, baskı ve kalıpların teknik değişikliği, ikincisinin ise, kalıp değişimi içeren iş gücünün kullanıldığı süreçlerde organizasyonel değişikliğe gidilmesi gerektiğini savunmuştur [37]. Shantharam ve Adanna bir makalede SMED yönteminde kullanılan ve ECRS analizi olarak adlandırılan analizin uygulamasını SMED tablosuna ilave ederek göstermiştir. Burada aynı zamanda çok fazla zaman harcayan ve tek operatörün yaptığı işlerde, parçayı makineye yükleyip makineden alma gibi, iki kişinin bu işlerde çalışması ve yapılan işlerin birleştirilebilir olması sonucu zamandan tasarruf

sağlandığı gösterilmiştir [38]. Ribeiro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise SMED tekniği kullanılarak elektrik devre anahtarı üretimi yapan makine üzerinde iyileştirme çalışması yapıldığı gösterilmiştir. Bu makalede, yapılan işin ergonomik olarak iyileştirilmesi ile yapılış süresinin kısaldığı, her kalıp için destek çubuklarının standart olmaması işin yapılışında karmaşıklığı neden olduğu için destek çubuklarının standartlaştırılmasına karar verilerek dizayn tasarımı yapılmıştır. Bunun sonucunda kalıp değişim süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kalıpların ağırlıklarında standartlaştırılmaya gidilmiştir. Makinedeki kalıbın merkezlenmesinde poka-yoke sistemi uygulanmıştır. Bu kalıbı merkezlenme işini çok daha hızlandırmıştır. Burada hidrolik silindir kullanımının önemi vurgulanmış ve bunun kalıplarının açma/kapamalarının daha kolay ve hızlı yapılacağına fayda sağlayacağı belirtilmiştir [39]. Bir başka makalede ise, SMED uygularken süre azaltılması için yapılan öneriler şu şekilde belirtilmiştir; operatör organizasyonu ve eğitimi, operatör hareket şemasının düzenlenmesi, Kazan tekerleklerinin kolay çıkarılması için tasarıma gidilmesi, Mevcut destek takozunun revize edilmesi, bağlanacak olan kalıbın daha önceden makinenin yanına getirilmesi, hızlı bağlama için tork anahtarı kullanılması gibi ve bir sürecin işleyişine göre bir takım özel öneriler geliştirilerek ve bu önerileri balık kılçığı diyagramında da özetleyerek çalışmalarında sürenin SMED yöntemi ile nasıl kısaltılabileceğini göstermiştir [40].

Ulutas yaptığı SMED çalışmasında çalışan güvenliğine ve ergonomi prensiplerine yer vermiştir. Yapılan çalışmanın amacı, insan davranışlarını göz önüne alarak ve SMED metodolojisi adımlarındaki etkisiz süreyi azaltarak kalıp değişiminin daha hızlı yapıldığını göstermektir. Bu makalede, kalıp yerlerinin makineye olan uzaklığı zaman kaybını arttırdığı için daha fazla kullanılan kalıpların tezgah yakınlarına konumlanması gerektiği önerilmiştir. Aynı zamanda operatörün bazı parça ve kalıpları elle taşımak yerine otomatik taşıma sistemini kullanarak taşınması ile yapılan işin süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Hidrolik, havalı, yada elektromanyetik fikstürlerin süre azaltmada daha yararlı olabileceği önerilmiştir. Bu çalışmada, operatörlerin ergonomik olarak iyileştirilmiş çalışma alanlarında işleri daha hızlı ve kolay yaptığı gözlemlenmiştir [41]. Deros'un yaptığı bir çalışmada, SMED tekniği ile işin basitleştirilmesi sonucu çalışan motivasyonlarının arttığı ve bunun işin yapılış

süresini hızlandırdığı belirtilmiştir. Aynı makalede paralel işlerde birden fazla operatörün çalışması için yapılışını kolaylaştıracağı için birden fazla proses bileşeninde daha fazla operatör kullanılması uygun görülmüştür [42].

2.6.2. Gri esaslı taguchi yöntemi ile yapılmış çalışmalar

Bu yöntemi kullanan araştırmacıların geneli yapılan işlem ve kullanılan parametre optimizasyonunu sağlamayı amaçlamışlardır.

Mondal ve arkadaşları 2011 yılında lazer kaplama işlemi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Burada lazer kaplamada etkili olacak parametreler arasında ilişki değeri GİA ile belirlenip bu değerden sonra uygun kombinasyon Taguchi deney tasarımı ile bulunmuştur [43].

Belgin 2015 yılında Bulanık AHP ile Gri Tabanlı Taguchi'yi kullanarak çok amaçlı simülasyon optimizasyonu modeli geliştirmiştir. Burada Gri ilişki analizinin ve Taguchi yönteminin kullanımının yanında gri ilişki derecesi AHP metodu ile birlikte belirlenmiştir [44].

Vellaiyan ve Amirthagadeswaran 2016 yılında mevcut dizel motorların emülsiyon kalitesinde etkili olan olumlu niteliklerin eksikliği ile ilgili bir model oluşturulmuşlardır. Burada amaç daha çevresel olacağı için dizel yakıt içindeki kullanılabilir orandaki su miktarını da tayin etmektir. Tek yanıtı bir model olmadığı için Gri Tabanlı Taguchi yöntemi kullanılmıştır [45].

BÖLÜM 3. ÇALIŞMADA AMAÇLANAN MODEL

Bu bölümde geliştirilen yeni yöntemin amacı ve modelin adımları verilmiştir.

Firmalar tarafından benimsenen yenilikçi anlayış ile işletme içindeki israfların minimum seviyeye inmesi amaçlanmaktadır. Bu anlayışla yola çıkarak tezgahlarda parça kurulum işlemi esnasında mevcut sürenin SMED metodolojisinden yararlanılarak ve SMED uygulaması gereği çeşitli yenilikler geliştirerek işletmelerde kayıp zamanların nasıl geri kazanıldığı gösterilmeye çalışılmıştır. Süre azaltmada etkili olabilecek diğer faktörlerde önemlidir ve ergonomi çalışmalarının parça kurulum süresinin kısaltılmasında etkili olacağı ve toplam verimliliği arttıracığı öngörülmektedir.

Bu çalışmada sadece klasik yöntem anlayışı ile kalıp değişimi işleminde süre kısaltmadan ziyade operatör üzerinde ki ergonomik risk seviyesinin azaltılması ile birlikte daha etkin bir süre kısaltılacağı öngörüsü ile yeni bir model geliştirilmiştir.

Mevcut problemde kurulum süresinin kısaltılması amaçlandığı için ilk olarak yalın üretim tekniklerinden SMED yöntemi kullanılmıştır. SMED ile öneriler geliştirilerek kurulum süresinin azaltılması amaçlanmıştır. Burada ayrıca operatör üzerindeki yorulmadan kaynaklı ergonomik risklerin seviyeleri tespit edilip azaltılmak istenmiştir. Operatör üzerindeki yorulmadan kaynaklı ergonomik risk seviyesinin azaltılmasıyla işin yapılış süresinde azalma meydana geleceği düşünülmüştür. Operatör üzerindeki ergonomik risk seviyesini bulmak için ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Süre olarak kısaltmayan ve risk seviyesi çok yüksek olan bir proses bileşeni üzerinde hem riski hem de işin yapılış süresini azaltmak ve aralarındaki ilişkiyi birlikte değerlendirmek amacıyla Gri esaslı Taguchi metodu kullanılmıştır.

Burada etkili olabilecek faktörler belirlenip mevcut süre ve operatörün risk seviyesi üzerinde iyileştirme yaparak daha etkin süre kısaltma çalışması yapmak hedeflenmektedir.

Bu çalışma, yaptığımız kısıtlı literatür araştırmamıza göre, ergonomik risk değerlendirme yönteminin SMED yöntemi içinde yer aldığı iyileştirme için Gri esaslı Taguchi Tekniğinin SMED tekniğinde uygulandığı ilk çalışma olmaktadır.

Çalışmada amaçlanan modelin uygulama sırası şöyledir:

- SMED uygulaması
 - Kurulumdaki proses bileşenlerinin ve sürelerinin belirlenmesi
 - İç ve dış faaliyetlerinin birbirinden ayrılması
 - Pek çok iç faaliyetin mümkün olduğunda dış faaliyete dönüştürülmesi
 - İç faaliyetlerin süresinin çeşitli yöntemler yardımıyla kısaltılması
 - Dış faaliyetlerin süresinin çeşitli yöntemler yardımıyla kısaltılması
- Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yöntemi
 - İç ve dış faaliyetlerin zorluk derecesine göre önceliklendirildiği proses kartını oluşturma
 - Her bir iç ve dış faaliyet için risk değerlendirme tablosu oluşturma
 - Riski yüksek faaliyetleri belirleme
 - Risk azaltma faaliyet önerileri
- Önerilen Bütünleşik SMED tablosu oluşturma
 - Önceki adımlarda elde edilen bilgileri tabloya aktarma
 - Zaman ve riskin azaltılması için iyileşmeler önerme ve uygulama sonuçlarını tabloya kaydetme
- Elde edilen iyileşme sonuçlarının değerlendirilmesi
 - Kurulum işlemi proses bileşenlerinin tümünde iyileşme gerçekleştirildi mi incelenir. İyileşme mevcut yöntemle yapılamamış veya daha etkin iyileştirmenin elde edilmesi istenen proses bileşeni için Gri esaslı Taguchi yöntemi uygulama kararının verilmesi

- Gri esaslı Taguchi yöntemi uygulama
 - Zaman ve risk açısında iyileştirme gerçekleştirilemeyen proses bileşeni belirlenir.
 - Belirlenen proses bileşeninde hem süre azaltmada hem de risk azaltmada etkili olacak parametreler belirlenir.
 - Bu parametrelere uygunluğuna göre seviyeler atanır.
 - Taguchi'nin ortogonal dizinlerinden faydalanılarak uygun ortogonal dizin tablosu seçilir ve buna göre deney düzeneği oluşturulur.
 - Oluşturulan deney düzeneğine göre her bir deney için belirlenen süre ve risk tabloya kaydedilir.
 - Kaydedilen süre ve risk değeri Gri ilişki analizi ile birbirinden bağımsız iki faktörün gri ilişki derecesi bulunur.
 - Gri ilişki derecesi çıktı değeri iken, belirlenen faktörlerin seviyeleri girdi değeridir. Bu değerler ANOVA analizi ile yorumlanır.
 - Gri Taguchi yöntemine ait doğrulama deneyi yapılır.
- İyileşmenin yeterliliğinin değerlendirilmesi: Eğer etkin bir süre azaltması gerçekleşmemiş ise Gri esaslı Taguchi uygulamasının ilk adımına dönülür. Eğer Gri esaslı Taguchi yöntemiyle sürede daha etkin bir azaltma söz konusu ise yapılan çalışma sonlandırılır.

BÖLÜM 4. GELİŞTİRİLEN YENİ SMED YAKLAŞIMININ UYGULAMASI

4.1. İşletmenin Tanıtımı

Uygulamanın gerçekleştirildiği firma 1992 yılında Gebze tesislerinde 13.000 m²'lik alanda faaliyete başlayan bir Alüminyum profil fabrikasıdır. 1998 yılında Gebze'den Akyazı/Adapazarı tesislerine taşınmıştır. Günümüzde firma, bünyesinde toplam 800 eğitimli ve tecrübeli çalışana, 350.000 m²'lik sahada yaklaşık 130.000 m² kapalı alana sahip tesislere, 60.000 ton Alüminyum profil imalat kapasitesine sahiptir.

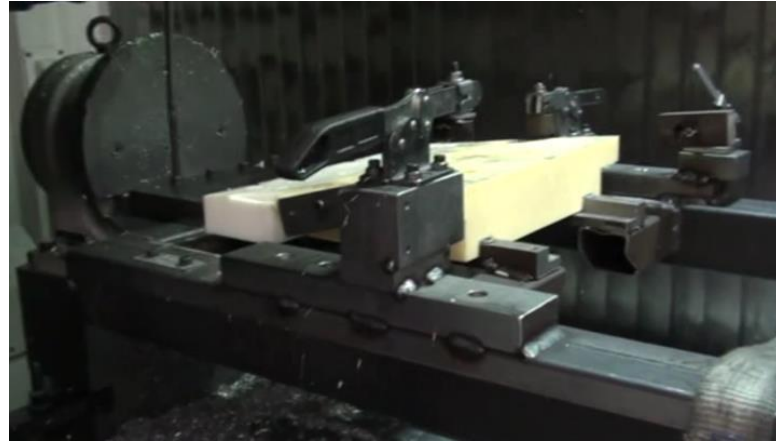
4.1.1. Çalışmanın yapıldığı CNC hattının tanıtılması

Uygulamada mekanik işlemler atölyesinde yapılan bir çalışma anlatılacaktır. Mekanik işlemler atölyesi 2 birimden oluşmaktadır. Mekanik İşlemler 1 ve Mekanik İşlemler 2 diye ayrılmaktadır. Mekanik İşlemler 2 atölyesinde Mazak 300, Mazak 800, Titan ve Mecal marka tezgahlar bulunmaktadır. Bu tezgahların her birinde alüminyum profiller işlenmektedir. Mazak 300 tezgahı, 1000e 1500 mm ölçüye, Mazak 800 tezgahı 1200e 3000 mm ölçüye sahip olup 3 metre uzunluğundaki profiller işlenmektedir. Titan tezgahı uzunluğu 8,5 metre, Mecal tezgahı ise uzunluğu 6,5 metre olan profilleri işleyebilmektedir. Uygulamada Mazak 800 adlı makinede işlenen 9925 ile kodlanan parçaya ait kurulum çalışması anlatılacaktır. 9925 no'lu parça en fazla kurulum süresine sahip olduğundan çalışmanın yapılması için seçilmiştir.



Şekil 4.1. Uygulamanın yapıldığı mazak 800 tezgahı

Şekil 4.1.'de uygulamada anlatılan 9925 nolu parçanın işlendiği ve mekanik işlemler atölyesinde yer alan CNC tezgahı gösterilmiştir.



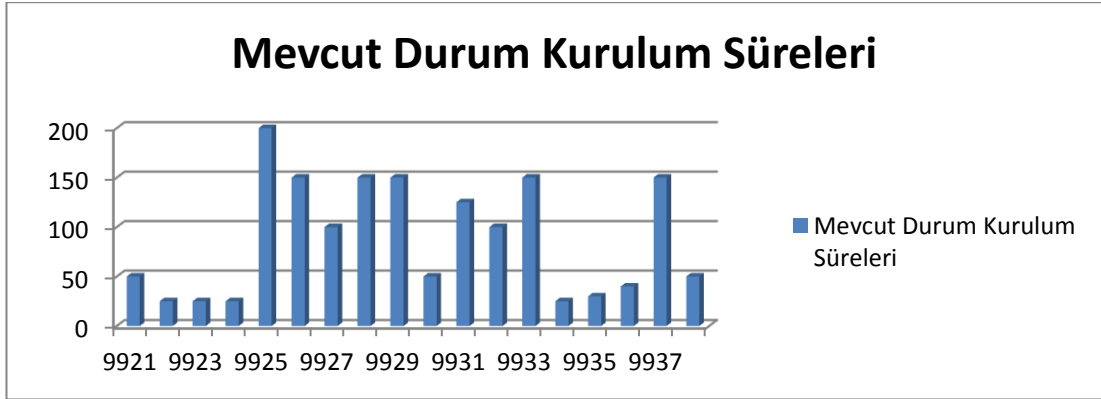
Şekil 4.2. Mazak 800 tezgahının içi ve sol difüzör

Şekil 4.2.'de CNC tezgahının içi gösterilmiştir.

4.2. Çalışmanın Yapılacağı İş Parçasının Belirlenmesi

Çalışmada yer alan kurulum ifadesi ile mevcut parçanın işlendiği CNC tezgahına yerleştirilmesi ve tezgahta işlenmeye hazır hale getirilmesi anlatılmaktadır. Çalışmanın amacı kapsamında ilk durumda atölye içinde yer alan tüm parçaların ne kadar sürede kurulumlarının gerçekleştiği tespit edilmiştir. Atölye içerisinde tezgahların ve yapılan işin durmasına neden olan birden fazla durum vardır. Duruşlara neden olan durumlar göz önüne alındığında en büyük süre kaybının

kurulum işlemi sırasında olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden kurulum sürelerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. En fazla Mazak 800 isimli tezgahta üretilen profillerde kurulum süresi kaybı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Mazak 800 makinesinde iyileştirme yapılmasına karar verilmiştir. Mevcut durum kurulum süreleri Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Mevcut durum kurulum süreleri

Parçalar arasında 9925 no'lu parçanın en uzun kurulum süresine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden önce bu parça üzerinde kurulum süresinin azaltılması ile ilgili bir çalışma yapmaya karar verilmiştir.



Şekil 4.4. Uygulamada yer alan 9925 no'lu parçalar

Şekil 4.4.'te uygulamada yer alan 9925 no'lu parçalar gösterilmiştir.

4.3. SMED Metodunun Uygulanması

Çalışmanın modelinde de belirtildiği gibi ilk olarak SMED Metodu kullanılarak mevcut kurulum sürecindeki proses bileşenleri üzerinde süre kısaltma çalışması yapılmıştır.

Kurulum işlemi esnasındaki tüm proses bileşenleri sıralanmış ve bir adet 9925 no'lu parçanın üretimi sırasında işlemler video kamera ile ölçülüp kayda alınmış, sonraki incelemelerde kurulum sürecinin 19 adet işlemten geçtiği belirlenmiştir. Ayrıca her bir proses bileşenin süresi belirlenmiş ve toplamda bu parçanın kurulumun 196 dakika olduğu tespit edilmiştir.

SMED metodu kapsamında ilk olarak Mazak 800 isimli tezgahta işlenen 9925 no'lu parçanın üretilmesi sırasındaki proses bileşenleri arasında iç faaliyet olan durumları dış faaliyet olacak durumlara çevirmek ve iç faaliyet olarak kalıp iyileştirme yapılabilecek proses bileşenleri belirlenmiştir. Tablo 4.1.'de çalışma yapılacak parçaya ait proses bileşenleri ve işin yapılış süreleri yer almaktadır.

Tablo 4.1. 9925'nolu parçanın proses bileşenleri

| Proses No. | Proses Bileşeni | Süre (dk) |
|------------|--|-----------|
| 1 | Tavan vincinin tezgahın önüne getirilmesi | 8 |
| 2 | Tezgah üzerindeki fikstürün tezgahtan indirilmesi | 7 |
| 3 | Sol difüzörün tezgahtan indirilmesi | 5 |
| 4 | Tezgahtan alınan fikstürün fikstür rafına konulması | 8 |
| 5 | Yeni fikstürün raftan alınıp tezgah yanına getirilmesi | 8 |
| 6 | Tezgahın temizlenmesi | 4 |
| 7 | Fikstürün tablanın üzerine konulması | 9 |
| 8 | Fikstürün tabla üzerinde pozisyonunun belirlenmesi ve sabitlenmesi | 14 |
| 9 | X ekseninde referans noktası için dayama oluşturma | 11 |
| 10 | Fikstür üzerindeki pistonların 1. işleme uygun hale getirilmesi | 6 |
| 11 | Programdaki kesici takımların kontrolü ve magazine takım takılması | 17 |
| 12 | X ekseninde parça sıfır alınması ve programın çağırılması | 4 |
| 13 | Profilin fikstür üzerine setlenmesi | 6 |
| 14 | İlk parçanın üretilmesi | 25 |
| 15 | Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü | 21 |
| 16 | Üretilen parçanın 3D muayenesine götürülmesi | 6 |
| 17 | Üretilen ilk parçanın 3D tarafından muayenesi | 25 |
| 18 | Üretilen ilk parçanın 3D'den alınıp atölyeye geri getirilmesi | 6 |
| 19 | İşlenecek ikinci parça için programda düzeltme yapılması | 6 |

Çalışma yapılacak parçanın proses bileşenleri faaliyet durumları ve süreleri belirlendikten sonra klasik SMED uygulama adımlarına geçilir ve bundan sonra iç faaliyet ve dış faaliyet işlemleri birbirinden ayrılır. Daha önceki SMED yöntemi çalışmalarında hazırlanan tablo sadece faaliyet adı, süresi, mevcut ayar cinsi, düzeltici faaliyet önerisi ve son durumun yer aldığı bölümlerden oluştuğu görülmüştür. Tablo 4.2.'de Klasik SMED Tablosu örneği gösterilmiştir. Çalışmada klasik SMED tablosunu geliştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. SMED yönteminin farklı yöntemlerle birlikte kullanıldığında da tüm bilgilerin aynı tablo üzerinde olmasına olanak sağlayacak bir tablo hazırlanmış ve bu tabloya çalışmada “Önerilen Bütünleşik SMED Tablosu” adı verilmiştir.

Tablo 4.2. Klasik SMED tablosu örneği

| Faaliyet No. | Faaliyet Adı | Faaliyet Süresi | Mevcut Faaliyet Durumu | Düzeltilici Faaliyet Önerisi | Son Durum Faaliyet Durumu |
|--------------|--------------|-----------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| . | | | | | |
| . | | | | | |
| N | | | | | |

SMED yöntemi uygulanırken Önerilen Bütünleşik SMED tablosuna (Tablo 4.5.) tüm iyileştirme adımları ile birlikte elde edilen bulgular eklenmiştir. Bu tablo genel durumun tek bir yerde özetlenmesi açısından önemlidir. Önerilen bütünleşik SMED tablosunun sütunlarına aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacak olan işlemlere ait bulgular eklenmiş ve böylece tüm çalışmanın tek bir tabloda özetlenerek genel bir şekilde görülmesi sağlanmıştır.

4.3.1. İç ve dış faaliyetlerin belirlenmesi

Mevcut parçanın kurulumu sırasında yapılan tüm operasyonlar, işlemin gerçekleştirilme süreleri ve iç ya da dış faaliyet olup olmadıkları sırasıyla tespit edildikten sonra her bir proses bileşeni tanıtılmıştır. Proses adımlarından 7 tanesinin iç faaliyet durumundan dış faaliyet durumuna geçebileceği, 11 tanesinin ise iç faaliyet olarak kalacağı tespit edilmiştir. Bunlar başlangıç durumu iç/dış ve iyileşme

sonrası iç/dış sütunlarında yer almaktadır. Tanıtılan proses bileşenleri Bütünleşik SMED tablosunda “Faaliyet Adı” sütunu altında verilmiştir.

4.3.2. İç faaliyetlerin dış faaliyetlere dönüştürülmesi ve bazı iç faaliyetlerin iyileştirilmesi

Önerilen Bütünleşik SMED tablosunda (Tablo 4.5.) gösterildiği gibi yapılan SMED çalışması ile öneriler geliştirilmiş ve 7 proses bileşeni iç faaliyet durumundan dış faaliyet durumuna dönüştürülmüştür. 5 proses bileşeni ise iç faaliyet olarak kalmaya devam etmiş fakat sürelerinde kısalma meydana gelmiştir.

4.3.3. Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yönteminin uygulanması

Klasik SMED yöntemi çalışmaya uygulandıktan sonra, süresi kısaltılmayan fakat gözlemler sonucu operatörün zorlandığı, üzerindeki zorlanmalardan kaynaklı yaptığı işin yapılış süresinin de uzadığı gözlemlenmiştir. Bunun için SMED yöntemi uygulandıktan sonra, her bir proses bileşeni üzerinde ergonomik risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. Ergonomik risk değerlendirme yapılırken Sue Rodgers Ergonomik Risk değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Burada risk azaltma için geliştirilen önerilerin mevcut süredeki etkisi gözlemlenmiştir. Buradan alınan sonuçlar Önerilen Bütünleşik SMED tablosunda (Tablo 4.5.) gösterilmektedir.

Ergonomik risk analizi yapılırken ilk olarak kurulum sürecindeki tüm proses bileşenleri Sue Rodgers Proses Kartı'na yazılır. Bu karta göre tüm proses bileşenleri yüksek – orta - düşük olarak nitelendirilir. Bu nitelendirme uzman görüşüne göre değerlendirilen objektif bir karardır. Parçanın değişimi esnasındaki proses bileşenleri ve değerlendirme sonuçlarının yer aldığı Sue Rodgers Proses Kartı Tablo 4.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Sue Rodgers proses değerlendirme kartı

| Proses No. | Proses Bileşeni | Değerlendirme |
|------------|--|---------------|
| 1 | Tavan vincinin tezgahın önüne getirilmesi | Düşük |
| 2 | Tezgah üzerindeki fikstürün tezgahtan indirilmesi | Yüksek |
| 3 | Sol difizörün tezgahtan indirilmesi | Orta |
| 4 | Tezgahtan alınan fikstürün fikstür rafına konulması | Orta |
| 5 | Yeni fistürün raftan alınıp tezgah yanına getirilmesi | Orta |
| 6 | Tezgahın temizlenmesi | Düşük |
| 7 | Fikstürün tablanın üzerine konulması | Yüksek |
| 8 | Fikstürün tabla üzerinde pozisyonunun belirlenmesi ve sabitlenmesi | Orta |
| 9 | X ekseninde referans noktası için dayama oluşturma | Orta |
| 10 | Fikstür üzerindeki pistonların 1. işleme uygun hale getirilmesi | Düşük |
| 11 | Programdaki kesici takımların kontrolü ve magazine takım takılması | Orta |
| 12 | X ekseninde parça sıfırı alınması ve programın çağırılması | Düşük |
| 13 | Profilin fikstür üzerine setlenmesi | Orta |
| 14 | İlk parçanın üretilmesi | - |
| 15 | Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü | Yüksek |
| 16 | Üretilen parçanın 3D muayenesine götürülmesi | Orta |
| 17 | Üretilen ilk parçanın 3D tarafından muayenesi | - |
| 18 | Üretilen ilk parçanın 3D'den alınıp atölyeye geri getirilmesi | Orta |
| 19 | İşlenecek ikinci parça için programda düzeltme yapılması | Düşük |

Sue Rodgers Proses Kartına göre belirlenen öncelikler doğrultusunda her bir proses bileşeni için zordan kolaya doğru Sue Rodgers Risk Değerlendirme Formuna göre risk değerlendirmesi yapılır. Her proses bileşeni için Sue Rodgers Risk Skalasına göre proses bileşeninin risk derecesi bulunur.

Tüm proses bileşenleri için tek tek Sue Rodgers ergonomik risk analizi yöntemine göre risk analizi yapılarak her bir proses bileşeninin risk seviyesi bulunmuştur. Bu bulgular Önerilen Bütünleşik SMED tablosuna “Başlangıç durumum risk seviyesi / derecesi” adı altında kaydedilmiştir.

Sue Rodgers Ergonomik Risk Değerlendirme yöntemine özel olan risk skalası tablosunda risk dereceleri düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde dilsel olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada mevcut risk skalası tablosuna göre risk derecelerine 1-5 arasında değerler verilerek risk seviyelerinin sayısal değerleri elde edilmiştir. Düşük risk seviyesi için 1, orta risk seviyesi için 2, yüksek risk seviyesi için 3, çok

yüksek risk seviyesi için 4 ve 4xx, x4x, xx4 risk dereceleri için risk seviyesi 5 olarak belirlenmiştir.

Tüm proses bileşenine ait yapılan risk değerlendirmelerine göre “Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü” proses bileşeni diğer proses bileşenlerine göre 4 çok yüksek risk seviyesine sahip olduğu için Tablo 4.4.’te bu proses bileşeninin risk seviye değeri gösterilmiştir. Tüm proses bileşenleri için yapılan ve risk seviyelerini gösteren tablolar EK 1’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 3 | 2 | 3 | 323 | 4 |
| Boyun | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 3 | 2 | 2 | 322 | 3 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 3 | 223 | 3 |
| Bacaklar ve Dizler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |

Her bir proses bileşeninin ilk durumundaki risk seviyeleri bulunup Önerilen Bütünleşik SMED tablosuna kaydedildikten sonra ergonomik riskin azaltılması yönünde öneriler geliştirilmiştir. Bu öneriler Tablo 4.5.’te “risk azaltma önerisi” adı altında gösterilmektedir. Geliştirilen önerilerin operatör üzerinde uygulanarak işin tekrar yapılması sırasında aldığı yeni risk değeri ve işin yapılış süresinin de ne ölçüde azaldığı Tablo 4.5.’te “iyileşme sonrası durum” başlığı altında verilmektedir.



Şekil 4.5. Birden fazla major kas grubu için harcanan efor örneği

Burada (Şekil 4.5.) operatörün 9925 no'lu parçanın kurulum süresindeki proses bileşenlerinde biri olan “tezgahtan alınan fikstürün fikstür rafına konması” proses bileşeni üzerindeki operatörün duruş pozisyonu gösterilmiştir. Burada sırt, boyun, kollar ve dirsekler, bacaklar ve dizler, bilekler eller ve parmaklar değerlendirilerek her biri için risk seviyesi bulunmuştur.



Şekil 4.6. Bilekler - eller – parmaklar için harcanan efor örneği

Burada (Şekil 4.6.) magazine takım takılması sırasında operatörün ellerini ve parmaklarını kullanım durumu gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Önerilen bütünlük SMED tablosu

| No | Proses Bileşen Adı | Başlangıç Durumu | | | İyileştirme Önerisi | | İyileştirme Sonrası Durum | | | İyileştirme Sonrası Kazanılan Zaman (DK) |
|----|--|----------------------|----------|--------------------------|---|--|---------------------------|----------|--------------------------|--|
| | | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | Süre Azaltma Önerisi | Risk Azaltma Önerisi | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | |
| 1 | Tavan vincinin tezgah önüne getirilmesi | 8 | İÇ | 2 / ORTA | Operatörün bir önceki üretim bitmeden tavan vincini hazırlayıp tezgahın önüne getirmesine karar verildi. | YOK | 0 | DIŞ | 2 / ORTA | 8 |
| 2 | Tezgah üstündeki fikstürün tezgahtan indirilmesi | 7 | İÇ | 3 / YÜKSEK | YOK | Ana operatöre yardımcı olacak kişi tayin edildi. İki kişi ile gereksiz zorlamalardan kaçınılacağından mevcut risk derecesi de ve işin yapılması süresi azalmış oldu. | 4 | İÇ | 2 / ORTA | 3 |
| 3 | Sol difüzörün tezgahtan indirilmesi | 5 | İÇ | 2 / ORTA | YOK | Bilekler-eller ve parmaklardaki risk seviyesi bu işi manuel yapmak yerine sol difüzörün halatlara bağlanarak vinç yardımıyla yerinden kaldırılması ile azaldığı görüldü. | 3 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | 2 |
| 4 | Tezgahtan alınan fikstürün fikstür rafına konması | 8 | İÇ | 2 / ORTA | Operatörün yeni parçayı işleme almadan fikstürü yerine götürmesi makinenin boş durmasına neden olduğu için fikstürün ilk olarak makinenin yanına konulmasına ve parça işlenirken rafına taşınmasına karar verildi. | YOK | 0 | DIŞ | 2 / ORTA | 8 |
| 5 | Yeni fikstürün raftan alınıp tezgah yanına getirilmesi | 8 | İÇ | 3 / YÜKSEK | Operatörün yeni parçayı işlemek için gerekli olan fikstürü daha önceden makinenin yanına getirmemesi makinenin boş durmasına neden olduğu için bir önceki üretim bitmeden fikstür tezgahın yanında hazır olarak bekletilmesine karar verildi. | YOK | 0 | DIŞ | 3 / YÜKSEK | 8 |
| 6 | Tezgahın temizlenmesi | 4 | İÇ | 2 / ORTA | YOK | Operatör tezgahı temizlerken kullandığı hava kompresörü tabancasını sabit bir elinde tutmak yerini dönüşümlü olarak elini kullandı. Bu öneriye bağlı olarak efor devam süresi ve dakikadaki efor azalacağı için mevcut risk seviyesi de azalmıştır. | 3 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | 1 |
| 7 | Fikstürün tabla üzerine konması | 9 | İÇ | 3 / YÜKSEK | Tablanın üzerine fikstürün yerine daha kolay yerleşmesi için kızaklar yerleştirilmiştir ve yerine oturacak noktalara yuvalar oluşturulmuştur. | Bu adımda en riskli vücut bölümünün kollar ve eller olduğu tespit edilmiştir. Bunun için tezgaha yerleştirilen kızaklara kol desteği alternatifi düşünülerek bu destekler kızaklara monte edilmiştir. Böylece çalışanların sürekli dirseklerini ve kollarını buraya dayayarak işlerini rahatça yapmaları sağlanmıştır. | 4 | İÇ | 2 / ORTA | 5 |

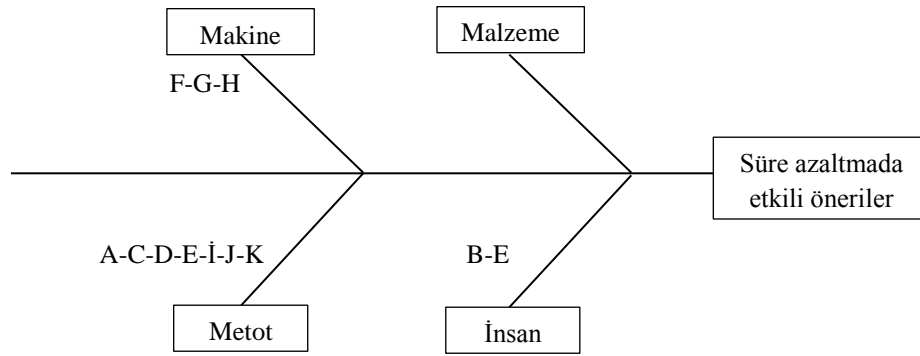
Tablo 4.5. (Devamı)

| No | Proses Bileşen Adı | Başlangıç Durumu | | | İyileştirme Önerisi | | İyileştirme Sonrası Durum | | | İyileştirme Sonrası Kazanılan Zaman (DK) |
|----|--|----------------------|----------|--------------------------|---|---|---------------------------|----------|--------------------------|--|
| | | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | Süre Azaltma Önerisi | Risk Azaltma Önerisi | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | |
| 8 | Fikstürü tabla üzerinde pozisyonunun belirlenmesi ve sabitlemesi | 14 | İÇ | 2 / ORTA | Yatay da ve dikeyde referans alınacak düzlemler olmadığı için fikstürün pozisyonun ayarlanması uzun sürmektedir. Bu işlem için referans alınacak düzlemler tasarlandı. Bu düzlemler fikstürün daha hızlı ve daha kolay yerleşmesini sağlamıştır. | YOK | 2 | İÇ | 2 / ORTA | 12 |
| 9 | X ekseninde referans noktası için dayama oluşturma | 11 | İÇ | 2 / ORTA | X ekseninde referans noktası için dayama oluşturma işlemi operatör tarafından ölçülerek yerleştiriliyordu. 8. İşlemdeki tasarlanan aynı düzlem ile x eksenini içinde referans alınacak nokta belirlenmiş oldu. | YOK | 0 | İÇ | 2 / ORTA | 11 |
| 10 | Fikstür üzerindeki pistonların 1. işleme uygun hale getirilmesi | 6 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | Tezgahın üzerinde yer alan ve içinde üretimde kullanılan sıvı maddenin yer aldığı bu pistonlar yeni üretime geçmeden yani bir önceki üretimin sonunda sıvı ilave edilip gerekli düzeltmeler yapılarak yeni üretime geçildiğinde hazır olması gerektiğine karar verildi. | YOK | 0 | DIŞ | 1 / DÜŞÜK | 6 |
| 11 | Programdaki kesici takımların kontrolü ve magazine takılması | 17 | İÇ | 2 / ORTA | YOK | magazine mevcut takımların sökülüp takılması işlerinde manuel aletler yerine otomatik sökme aleti/tornavida kullanıldı. Bu öneri ile efor devam süresi, harcanan efor ve dakikadaki efor sürelerinin de azalması beraberinde süreninde kısalmasını sağladı. | 11 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | 6 |
| 12 | X Ekseninde parça sıfır alınması ve programın çağırılması | 4 | İÇ | 2 / ORTA | X Ekseninde referans alınacak dayamalar olmadığı için 8. Adımda tasarlanan dayama düzlemi bu işlemden de kullanıldı. | YOK | 2 | İÇ | 2 / ORTA | 2 |
| 13 | Profilin fikstür üzerine setlenmesi | 6 | İÇ | 2 / ORTA | YOK | Operatör fikstür üzerinde yerleştirme işinde kas gücünden oldukça yaralandığı ve orulduğu gözlemlenmiştir. Sonrasında işi manuel yapmak yerine vinç kullanarak gerçekleştirmiştir. | 4 | İÇ | 2 / ORTA | 2 |
| 14 | İlk parçanın üretilmesi | 25 | İÇ | YOK | YOK | YOK | 25 | YOK | YOK | 0 |

Tablo 4.5. (Devamı)

| No | Proses Bileşen Adı | Başlangıç Durumu | | | İyileştirme Önerisi | | İyileştirme Sonrası Durum | | | İyileştirme Sonrası Kazanılan Zaman (DK) |
|-----------------------------------|--|----------------------|----------|--------------------------|--|--|---------------------------|---|--------------------------|--|
| | | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | Süre Azaltma Önerisi | Risk Azaltma Önerisi | Faaliyet Süresi (DK) | İÇ / DIŞ | Risk Seviyesi / Derecesi | |
| 15 | Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü | 21 | İÇ | 3 / YÜKSEK | Bu adımın dış ayar işlemi olarak görünmesine karşın devamındaki adımları etkileyeceği için iç ayar olarak kalmasına karar verilmiştir. Süre ve riski ortak değerlendirecek hibrit model geliştirildi. | Bu proses adımı için hem işin yapılış süresini hem de yapılan işin risk seviyesini azaltacak faktörler belirlenmiş ve bu faktörler çalışmanın devamında ayrı olarak Gri esaslı Taguchi yöntemi ile hesaplanarak mevcut süresinin daha da kısaldığı gösterilmiştir. | 15,5 | İÇ | 2 / ORTA | 5,5 |
| 16 | Üretilen parçanın 3D muayenesine götürülmesi | 6 | İÇ | 2 / ORTA | Yeni parçayı işleme için tezgahı başlatmadan önce işlenen parçanın kalite bölümüne götürülmesinin yerine yeni parçanın tezgaha takılıp işlenmeye başlandığında işlenen parça kontrol bölümüne götürülmesine karar verilmiştir. | YOK | 0 | DIŞ | 2 / ORTA | 6 |
| 17 | 3D muayenesi | 25 | İÇ | YOK | Operatör kontrol edilen parçayı boş beklemesi yerine bir sonraki üretim için gerekli olan hazırlıkları yapmasına karar verilmiştir. | YOK | 0 | DIŞ | YOK | 25 |
| 18 | Parçanın tekrar atölyeye getirilmesi | 6 | İÇ | 2 / ORTA | 16. adımda olduğu gibi operatörün tezgahı boş bırakıp kontrol edilen parçayı alması yerine 2. Parçanın işlendiği sırada tezgah çalışır durumdayken kontrol edilen parça atölyeye getirilmesine karar verilmiştir. | YOK | 0 | DIŞ | 2 / ORTA | 6 |
| 19 | İşlenecek 2. Parça için gerekirse programda düzeltme yapılması | 6 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | Bu proses adımının da operatörün 3D muayenesi sırasında yapması gereken bir adım olduğuna karar verilmiştir. | YOK | 0 | İÇ | 1 / DÜŞÜK | 6 |
| SMED öncesi kurulum süresi (DK) : | | 196 | | | | SMED Çalışması sonrası kurulum süresi (DK): | 73,5 | İyileştirme Sonrası Toplam Kazanılan Zaman (DK) | | 122,5 |

Geliştirilmiş SMED yöntemi uygulanıp tüm olası iç faaliyetleri, dış faaliyetlere dönüştürülüp, iç faaliyet olarak kalıpta üzerinde iyileştirme yapılan proses bileşenleri için geliştirilen öneriler uzmanlarla birlikte beyin fırtınası oluşturularak balık kılıcı diyagramında gösterilmiştir. İç faaliyetleri dış faaliyetlere dönüştürmek ve aynı zamanda iç faaliyetler üzerinde iyileştirme yapmak oldukça zor bir bölümdür. Burada önerilerin yer aldığı Balık kılıcı diyagramı süre azaltmada etkili olabilecek olası çözüm önerilerini işin yapılışı açısından süre ve risk tabanlı insan, makine, metot ve malzeme (4M) perspektifinde incelenerek oluşturulmuştur. Şekil 4.7.'de önerilerin yer aldığı balık kılıcı diyagramı ve öneri kodları verilmiştir. Balık kılıcı diyagramında özetlenen ve Şekil 4.7.'de yer alan süre azaltmada etkili olan öneriler A.-K. arasında ki harflerle kodlanmıştır. Burada anlatılan ve geliştirilen tüm öneriler Önerilen Bütünleşik SMED tablosunda (Tablo 4.5.) “İyileştirme önerisi” başlığı altında gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Balık Kılıcı Diyagramı

Diyagram üzerinde yer alan A önerisine göre, Operatörün bir önceki üretim bitmeden tavan vincini hazırlayıp tezgahın önüne getirmesine karar verildi. Böylelikle makine kapatıldığında yapılan bu işlem ortadan kaldırılmış oldu. B önerisine göre, Ana operatöre yardımcı olacak kişi tayin edildi. İki kişi ile gereksiz zorlamalardan kaçınılacağından mevcut risk derecesi ve işin yapılış süresi azaldığı görüldü. C önerisine göre, Bilekler-eller ve parmaklardaki risk seviyesi bu proses bileşenini manuel yapmak yerine sol difüzörün halatlara bağlanarak vinç yardımıyla yerinden kaldırılması ile azaldığı görüldü. Bu işin tek bir operatör tarafından manuel bir şekilde yapıldığını sırada operatörün zorlandığı ve iş yapış süresinde azaltmalar

görüldüğü kaydedildi. Yapılan öneri risk seviyesini de azalttığı gibi işin yapılış süresini de azaltmıştır. D önerisine göre, Operatörün yeni parçayı işleme almadan fikstürü yerine götürmesi makinenin boş durmasına neden olduğu için fikstürün ilk olarak makinenin yanına konulmasına ve parça işlenirken rafına taşınmasına karar verildi. Yapılan literatür araştırmasına bu şekilde tespitlerin SMED yönteminde kullanıldığı tespit edildiği için mümkün olan diğer proses bileşenlerinde de aynı şekilde uygulanmıştır. E önerisine göre, Operatör tezgahı temizlerken kullandığı hava kompresörü tabancasını sabit bir elinde tutmak yerini dönüşümlü olarak elini kullandı. Bu öneriye bağlı olarak efor devam süresi ve dakikadaki efor azalacağı için mevcut risk seviyesi de azalmıştır. Burada CNC makinesinin içini temizleyen operatöre makineye göre vücut duruşu hakkında kısa eğitim verilmiştir. Yapılan iş basitleştirilerek süre azaltma gerçekleştirilmiştir. F önerisine göre, Tablanın üzerine fikstürün yerine daha kolay yerleşmesi için kızaklar yerleştirilmiştir ve yerine oturacak noktalara yuvalar oluşturulmuştur. Burada fikstürün daha kısa sürede yerleştirilmesi için iç faaliyet işlemi olarak gösterilen bu proses bileşeninde makine içinde yeni bir parça tasarlanmıştır. Kızak mekanizmasında olan bu parça işin yapılışını oldukça kolaylaştırmıştır. Aynı zamanda fikstür sürekli aynı makineye girdiği için makineyle uyumlu olması açısından fikstür üzerine küçük yuvalar oluşturulmuştur. Burada da tasarıma gidilerek yapılan işin süresi kısaltılmıştır. G önerisine göre, en riskli vücut bölümünün kollar ve eller olduğu tespit edilmiştir. Bunun için tezgaha yerleştirilen kızaklara kol desteği alternatifi düşünülerek bu destekler kızaklara monte edilmiştir. Böylece çalışanların sürekli dirseklerini ve kollarını buraya dayayarak işlerini rahatça yapılması sağlanmıştır. Yeni tasarıma gidilerek yapılan iş basitleştirilmiştir. Aynı zamanda operatörün duruşundan kaynaklı risk azalması sonucu yapılan işin de kısaldığı tespit edilmiştir. H önerisine göre, yatayda ve dikeyde referans alınacak düzlemler olmadığı için fikstürün pozisyonun ayarlanması uzun sürdüğü tespit edilmiştir. Bu işlem için referans alınacak düzlemler tasarlandı. Bu düzlemler fikstürün daha hızlı ve daha kolay yerleşmesini sağlamıştır. operatörün bu parça sayesinde daha hızlı bir şekilde x,y ve z ekseninde pozisyon belirlendiği gözlemlenmiştir. Bu da beraberinde mevcut süreyi azaltmıştır. İ önerisine göre, Tezgahın üzerinde yer alan ve içinde üretimde kullanılan sıvı maddenin yer aldığı tezgah pistonlarının yeni üretime geçmeden yani bir önceki

üretimin sonunda sıvı ilave edilip gerekli düzeltmeler yapılarak yeni üretime geçildiğinde hazır olması gerektiğine karar verildi. Böylelikle bu proses bileşeni ortadan kaldırılmıştır. J önerisine göre, magazine/fikstüre mevcut takımların sökülüp takılması işlerinde manuel aletler yerine otomatik sökme aleti/tornavida kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu öneri ile efor devam süresi, harcanan efor ve dakikadaki efor sürelerinin de azalması beraberinde sürenin de kısalmasını sağladı. K önerisine göre, Yeni parçayı işleme için tezgahı başlatmadan önce işlenen parçanın kalite bölümüne götürülmesinin yerine yeni parçanın tezgaha takılıp işlenmeye başladığında işlenen parça kontrol bölümüne götürülmesine karar verilmiştir. Böylelikle makinenin boş durmasının önüne geçilerek tam anlamıyla bir süre azaltma gerçekleştirilmiştir.

4.4. Gri Esaslı Taguchi Metodu Uygulaması ve Analizi

Çalışmanın devamında süresi azaltılamayan ve risk seviyesi çok yüksek seviye yani 4 olan “üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü” proses bileşeni üzerinde süre kısaltma ve ergonomik risk azaltma çalışması yapılmak istenmektedir. Bu proses bileşeni aynı zamanda dış faaliyet olabilecekken iç faaliyetler grubunda kalmıştır. Kalmasının nedeni ise, kendinden sonra işlenecek parçanın kaliteli olup olmama durumunu etkileyebilecek olmasıdır yani operatörün ilk parçayı kontrol etmeden ve kontrol onayı vermeden ikinci parçayı işleme alması daha büyük sorunlara neden olacağından dolayı bu işlemin makine kapalıyken yapılmasının yani iç faaliyet olarak kalmasının, üretim anlamında daha verimli olacağına karar verilmiştir. Analiz işlemleri için Gri esaslı Taguchi metodu kullanılmıştır.

Gri esaslı Taguchi metodu çalışmasında öncelikle proses bileşeninin süre ve risk seviyesini azaltmada etkili olabilecek parametreler belirlenmiş ve bu parametrelere göre deney düzeneği oluşturulurken Taguchi L8 ortogonal dizinini kullanılmıştır. Parametreler ve seviyeleri Tablo 4.6.’da yer almaktadır.

Tablo 4.6. Belirlenen faktörler ve seviyeleri

| Parametreler | Seviyeler | | Birim |
|--|------------|------------|-------|
| | Alt Değer | Üst Değer | |
| Tezgah başındaki operatörün durumu | Operatör A | Operatör B | Yok |
| Atölye içerisinde kullanılan vincin hızı | 8 | 14 | m/dk |
| Kullanılan tornavida durumu | 90 | 2200 | dv/dk |
| Kullanılan kumpas çeşidi | Verniyerli | Dijital | Yok |

Çalışmanın amacına ulaşması için 8 deneme ile aynı sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Tablo 4.7.'de parametrelerin Taguchi Ortogonal dizini tablosuna göre seviye-1 ve seviye-2 değerleri verilmiştir.

Tablo 4.7. L8 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney düzeneği

| Deney No. | Tezgah Başındaki Operatörün Durumu | Atölye İçerisindeki Vincin Hızı | Kullanılan Tornavida Durumu | Kullanılan Kumpas Çeşidi |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Taguchi Deney Tasarımında L8 Ortogonal Dizinine göre oluşturulan tablo, Tablo 4.7.'deki gibidir. Tablo 4.8.'de L8 Ortogonal Dizinine göre oluşturulan tablonun faktörlere ait alt ve üst seviye değerlerinin yazıldığı tablo yer almaktadır.

Tablo 4.8. L8 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney düzeneği

| Deney No. | Tezgah Başındaki Operatörün Durumu | Atölye İçerisindeki Vincin Hızı | Kullanılan Tornavida Durumu | Kullanılan Kumpas Çeşidi |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | Operatör A | Yavaş (8 m/dk) | Manuel (90 devir/dk) | Verniyerli Kumpas |
| 2 | Operatör A | Yavaş (8 m/dk) | Cihaz (2200 devir/dk) | Dijital Kumpas |
| 3 | Operatör A | Hızlı (14m/dk) | Manuel (90 devir/dk) | Dijital Kumpas |
| 4 | Operatör A | Hızlı (14m/dk) | Cihaz (2200 devir/dk) | Verniyerli Kumpas |
| 5 | Operatör B | Yavaş (8 m/dk) | Manuel (90 devir/dk) | Dijital Kumpas |
| 6 | Operatör B | Yavaş (8 m/dk) | Cihaz (2200 devir/dk) | Verniyerli Kumpas |
| 7 | Operatör B | Hızlı (14m/dk) | Manuel (90 devir/dk) | Verniyerli Kumpas |
| 8 | Operatör B | Hızlı (14m/dk) | Cihaz (2200 devir/dk) | Dijital Kumpas |

Buradaki deneyde yapılan kurulum işlemini değerlendirirken 8 deneme yapılmış ve oluşturulan deney düzeneğine göre elde edilen ortalama süreler ve risk seviyesi Tablo 4.9.'da verilmiştir. Bu tablodaki veriler referans alınarak Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile ortalama süre ve risk seviyesi için en ideal olabilecek deneme belirlenmek istenmektedir. Bu denemelerde etkili olabileceği düşünülen tezgah başındaki operatörün durumu parametresi, A operatörü için %5-7 ortama sürede azalma meydana getirirken, B operatöründe %16-20 oranında ortalama sürede azalma meydana getirdiği gözlenmiş ve ortama süreler bu değerlere göre hesaplanıp S/G oranları bulunmuştur.

Tablo 4.9. L8 ortogonal dizinine göre yapılan deneyler ve sonuçları

| Deney No. | Tezgah Başındaki Operatörün Durumu | Atölye İçersindeki Vincin Hızı | Kullanılan Tornavida Durumu | Kullanılan Kumpas Çeşidi | Ortamala Süre (dk) | Ortalama Süreye ait S/G Oranı | Risk Seviyesi | Risk Seviyesine ait S/G Oranı |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 21 | -26,44 | 4 | -12,04 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 19,5 | -25,80 | 2 | -6,02 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 19,75 | -25,91 | 3 | -9,54 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 18 | -25,11 | 2 | -6,02 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 17,25 | -24,74 | 4 | -12,04 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 16 | -24,08 | 2 | -6,02 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 16,25 | -24,22 | 3 | -9,54 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 15,5 | -23,81 | 2 | -6,02 |

Tabloda yer alan ortalama süre ve risk seviyesi değeri çekilen video kaydı incelenerek belirlenmiştir. Aynı işlemler 4 kez video kaydına alınarak ortama süreler belirlenmiştir. İlk deneyde faktör seviyeleri alt seviye seçilirken ortama süre ve risk seviyesi mevcut proses bileşenindeki değerdir. Yani Klasik SMED çalışmasına ait değerlerdir. Yapılan her bir deney için ortama süre ve risk seviyesi video kaydı incelenerek bulunmuştur. Eşitlik 2.1 kullanılarak ortalama süre ve risk seviyesi değerleri S/G oranına çevrilmiştir. Tablo 4.10.'da sekizinci deney sırasındaki bir operatöre ait risk seviyesinin değeri gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Sekizinci deney sonucundaki risk seviyesi tablosu

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 2 | 3 | 2 | 232 | 2 |
| Boyun | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |

Yapılan çalışmada mevcut proses bileşeni süresinin ve risk seviyesinin minimum olması istendiği için Gri İlişkisel Analiz yöntemine göre referans serisi oluşturulurken minimum değerler göz önüne alınır ve normalizasyon işlemi esnasında “en küçük en iyi” şeklinde değerlendirilir. İlk deneydeki ortalama süre değeri için normalizasyon işlemi için eşitlik 2.6 kullanılır ve aşağıdaki değer elde edilir.

$$x_i(1) = \frac{\max x_i(1) - x_i(1)}{\max x_i(1) - \min x_i(1)} = \frac{-26,44 - (-26,44)}{-26,44 - (-23,81)} = \frac{0}{-2,64} = 0$$

İkinci deney düzeneği için ortalama süre değeri için normalizasyon işlemi değeri;

$$x_i(2) = \frac{\max x_i(2) - x_i(2)}{\max x_i(2) - \min x_i(2)} = \frac{-26,44 - (-25,80)}{-26,44 - (-23,81)} = \frac{-0,64}{-2,64} = 0,244 \text{ değeri elde edilir.}$$

Bu şekilde tüm ortalama süre ve risk seviyesi değerleri normalize edilir. Normalize edilen sonuçlar referans serisinden çıkarılarak katsayı matrisi için gerekli olan uzaklık matrisi elde edilmiş olur. Katsayı matrisi hesabı için $x = 0,5$ orta değeri alınır. 1. Deneyin ortalama süre sonuçları için katsayı matrisi eşitlik 2.9 ve eşitlik 2.10'a göre hesaplanır. 1. Deneye ait katsayı matrisi sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

$$\Delta_t(1) = |x_o(k) - x_j(k)| = |1 - 0| = 1$$

$$\varepsilon_{ti} = \frac{\Delta_{min} + \xi \cdot \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \cdot \Delta_{max}} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{1 + 0,5 \cdot 1} = 0,333$$

2. Deneyin ortalama süre sonuçları için katsayı matrisini hesaplayacak olursak;

$$\Delta_k(1) = |x_o(k) - x_j(k)| = |1 - 0,244| = 0,756$$

$$\varepsilon_{ti} = \frac{\Delta_{min} + \xi \cdot \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \cdot \Delta_{max}} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{0,756 + 0,5 \cdot 1} = 0,398$$

Katsayı matrisleri hesaplandıktan sonra, Eşitlik 2.13'e göre ortalama süre ve risk için her bir deneyin gri ilişkisel dereceleri bulunur. Her bir deney için normalizasyon, katsayı matrisi, gri derece ve gri ilişkisel analize göre en iyi sıralama tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Gri ilişkisel analiz sonuçları

| Deney No. | Normalizasyon Değeri | | Gri İlişki Katsayı Değeri | | Gri ilişki Derecesi | |
|-----------|----------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------|----------|
| | Ortalama Süre | Risk Seviyesi | Ortalama Süre | Risk Seviyesi | GİA Derecesi | Sıralama |
| 1 | 0,000 | 0,000 | 0,333 | 0,333 | 0,333 | 8 |
| 2 | 0,244 | 1,000 | 0,398 | 1,000 | 0,699 | 4 |
| 3 | 0,202 | 0,415 | 0,385 | 0,461 | 0,423 | 7 |
| 4 | 0,508 | 1,000 | 0,504 | 1,000 | 0,752 | 3 |
| 5 | 0,648 | 0,000 | 0,587 | 0,333 | 0,460 | 6 |
| 6 | 0,895 | 1,000 | 0,827 | 1,000 | 0,914 | 2 |
| 7 | 0,844 | 0,415 | 0,763 | 0,461 | 0,612 | 5 |
| 8 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1 |

Yapılan hesaplamalara göre, Tablo 4.11.'de görüldüğü gibi gri ilişki derecesi en yüksek (optimum) değer 8 numaralı denemeden elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar göre en yüksek olan değer en ideal değer olarak tanımlanır. Böylece minimum süre ve minimum risk seviyesi değerini elde etmek için kullanılacak en ideal kombinasyonun 8 numaralı deneyde olduğu görülmektedir. GİA yöntemi sonucunda üretilen ilk parçanın kontrol edilmesi süresini ve riskini optimum yapacak faktör kombinasyonu her bir faktörün ikinci seviyesi olarak kabul edilir. Yani operatör durumu olarak B operatörünün olması, vincin hızı 14m/s, kullanılan tornavidanın hızı 2200devir/dk (şarjlı) ve kullanılan kumpas çeşidinin ise dijital olması istenen durumdur.

Gri ilişki derecesine göre etkili faktörleri belirlemek için Minitab 16.0 programında yararlanılarak varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Analiz sonucu Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.12. GİA derecesine ait S/N oranına göre yapılan varyans analizi tablosu

| Faktör | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Varyans | F | Anlamlılık Düzeyi | P (%) |
|------------------------------------|---------------------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|--------|
| Tezgah Başındaki Operatörün Durumu | 1 | 0,0756 | 0,0756 | 44,03 | 0,007 | 19,444 |
| Atölye İçerisindeki Vincin Hızı | 1 | 0,0181 | 0,0181 | 10,55 | 0,048 | 4,655 |
| Kullanılan Tornavida Hızı | 1 | 0,295 | 0,295 | 171,72 | 0,001 | 75,874 |
| Kullanılan Kumpas Çeşidi | 1 | 0,0001 | 0,0001 | 0,06 | 0,824 | 0,026 |
| Hata | 3 | 0,0051 | 0,0017 | | | |
| Toplam | 7 | 0,394 | | | | |
| S = 0,0414 | | R-Sq= %98,69 | | R-Sq (düz.)= %96,95 | | |

Yapılan deneylerden elde edilen verilerle, faktör seviyelerinin performans karakteristiği üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucunda, her bir parametrenin %95 anlam düzeyinde anlam düzeyleri ve test edilen etkileşimli parametrelerin ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya konmuştur.

Burada anlam düzeylerine göre 4 adet hipotez testi kurulmuştur.

H_0 : Operatörün durumu süre ve riski etkilemez.

H_1 : Operatörün durumu süre ve riski etkiler.

Anlam düzeyi 0.05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve operatör durumunun süre ve riski etkilediği kabul edilir. Aynı hipotez testi diğer üç parametre için de yapılır.

H_0 : Atölye içerisindeki vincin hızı süre ve riski etkilemez.

H_1 : Atölye içerisindeki vincin hızı süre ve riski etkiler.

Anlam düzeyi 0.05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve vincin hızının süre ve riski etkilediği kabul edilir.

H_0 : Kullanılan tornavida durumu süre ve riski etkilemez.

H_1 : Kullanılan tornavida durumu süre ve riski etkiler.

Anlam düzeyi 0.05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve tornavida durumunun süre ve riski etkilediği kabul edilir.

H_0 : Kumpas çeşidi süre ve riski etkilemez.

H_1 : Kumpas çeşidi süre ve riski etkiler.

Anlam düzeyi 0.05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir ve kumpas çeşidinin süre ve riski etkilemediği kabul edilir.

Deneyleerde ele alınan faktörlerin performans karakteristiği üzerinde ne derece etkili olduğunu belirlemek için katkı yüzdelerinin bulunması gerekmektedir. Ele alınan her bir faktör için katkı yüzdeleri Eşitlik 2.14, Eşitlik 2.15 ve Eşitlik 2.16 kullanılarak hesaplanmış olup, ilgili değerler de Tablo 4.12.'de verilmiştir.

GİA derecesine göre hesaplanan katkı yüzdeleri Tablo 4.12.'den anlaşılacağı gibi üretilen ilk parçanın kontrolü sırasındaki ortalama süreyi ve risk seviyesini en çok etkileyen 3. parametre olan kullanılan tornavidanın hızı(durumu)dır. Manuel tornavida yerine şarjlı tornavida kullanılması üretilen parçanın kontrol süresini ve operatör üzerinde risk seviyesini %75,85 oranında etkileyecektir. Bu işlemde ikinci önemli olan tezgah başında bulunan operatörün durumu olan 1. Parametredir. A operatör yerine bilgi ve becerisinin gözlemler sonucu daha iyi olduğu belirlenen B operatörünün çalışması parçanın kontrolü sırasındaki süreyi ve operatör üzerine ki risk seviyesini %19,44 oranında etkilemektedir. Üçüncü önemli faktör vincin hızının minimum değil maksimum düzeyde kullanılmasıdır. Bu da işin yapılış süresini ve operatör üzerine ki risk seviyesini %4,65 oranında etkilemektedir. 4. Parametre olan kumpas çeşidinin ortalama süreyi kısaltma da ve risk seviyesini azaltmada etkili olmadığı belirlendiği için, yapılan analiz sonucunda geri kalan katkı yüzdesi hata katkı yüzdesine karşılık gelmekte olup % 0,026'dır.

Varyans analizi yapıldıktan sonra çalışmanın sonucunda doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deneylerini yapmadan önce eşitlik 2.17 kullanılarak optimum parametrelerin beklenen ortalama değeri ve eşitlik 2.18 kullanılarak güven aralığı değeri hesaplanır. Eşitlik 2.17 kullanılarak yapılan deney için bulunan optimum parametrelerin beklenen ortalama değeri 0,986'dır.

$$\mu = (0,746+0,696+0,841) - (2*0,649) = 0,986$$

Eşitlik 2.18 kullanılarak bulunan güven aralığı değeri ise 0,227'dir. Buna göre %95 anlam düzeyinde, optimum şartlarda tahmin edilen güven aralığı ilk üç parametresinin ikinci seviyesi için;

$(0,986-0,227 = 0,759) \leq$ Optimum parametrelere göre uygun deneyler sonucu bulunması beklenen gri ilişki derecesi değeri $\leq (0,986+0,227 = 1,213)$ aralığında olmalıdır.

Optimum parametrelerin beklenen ortalama değeri ve güven aralığı hesaplandıktan sonra “tezgah başındaki operatörün durumu”, “vincin hızı” ve “kullanılan tornavidanın durumu” parametrelerinin ikinci seviyelerindeki durumlara göre 8. deneme dört defa tekrarlanmış ve her bir deneme için proses bileşeninin ortalama süresi ve risk seviyesi bulunmuştur. Tablo 4.13.'te 8. denemeye ait ortalama süre ve risk seviyeleri verilmektedir.

Tablo 4.13. Doğrulama deneyi için yapılan tekrarlara ait sonuçlar

| Tekrar No. | Ortalama Süre | Risk Seviyesi | Gri İlişki Derecesi |
|------------|---------------|---------------|---------------------|
| 1. Tekrar | 10,5 | 2 | 1 |
| 2. Tekrar | 10,75 | 2 | 0,976 |
| 3. Tekrar | 10,75 | 2 | 0,976 |
| 4. Tekrar | 10,5 | 2 | 1 |

Tezgah başındaki operatörün durumu, vincin hızı ve kullanılan tornavidanın durumu parametrelerinin optimum seviyelerinde yapılan doğrulama deneyi sonucu ile ortalama süre ve risk seviyesi arasındaki ilişki doğrulanmak istenmiştir. Yapılan işlemde B operatörünün seçilmesi, vincin hızının 14 m/sn olması ve kullanılan tornavidanın şarjlı olması sonucu beklenen gri ilişki derecesi değeri 0,988 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,759 ile 1,213 arasında olduğu için doğrulama deneyi kabul edilmiştir ve yapılan çalışmanın uygunluğu bu şekilde test edilmiştir.

4.5. Yeni SMED Yaklaşımı Uygulaması Sonuçları

Geliştirilmiş Önerilen Bütünleşik SMED tablosundan da özetle, ilk durumda klasik SMED yöntemi uygulaması sonucu,

- İç faaliyetleri dış faaliyetlere dönüştürme ile 67 dakika süre kısaltması,
- Bazı proses bileşenlerinin iyileştirilmesi ile 34 dakika süre kısaltması elde edilmiştir.

SMED yöntemi ile kurulum süresi toplam 101 dakika düşülüp ilk etapta 95 dakikalık kurulum süresine ulaşılmıştır. Geliştirilen ergonomik risk azaltma önerilerinin uygulanması ile toplam kurulum süresinde 16 dakikalık süre kısaltması meydana gelmiştir. SMED yönteminin ergonomik risk azaltma yöntemiyle birlikte kullanılması sonucu 79 dakikalık kurulum durumuna ulaşılmıştır. İç faaliyet durumundan dış faaliyet durumuna dönüşümü yapılamayan bir proses bileşeninde Gri esaslı Taguchi yöntemi ile iyileştirme çalışması yapılmıştır. 21 dakika süren proses bileşenin işlem süresi yaklaşık 15,5 dakikaya azaltılmıştır. Gri esaslı Taguchi yöntemi ile mevcut proses bileşeni üzerinde %26,19 değerinde bir iyileşme elde edilmiştir. Yapılan tüm iyileştirmeler sonucunda ise 73,5 dakika süren kurulum durumuna ulaşılmıştır. Tablo 4.14.'te son durumu gösteren ve yapılan iyileştirmeler ile kademeli olarak mevcut sürenin azaltıldığını gösteren özet tablo gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Yeni SMED yaklaşımı uygulamasının kademeli sonuçları

| SMED öncesi toplam kurulum süresi | SMED yöntemi uygulandıktan sonra toplam kurulum süresi | Ergonomik risk değerlendirme çalışmasından sonra toplam kurulum süresi | Gri esaslı Taguchi yöntemi uygulandıktan sonra toplam kurulum süresi | Yeni SMED yaklaşımının kazandırdığı toplam süre |
|-----------------------------------|--|--|--|---|
| 196 dakika | 95 dakika | 79 dakika | 73,5 dakika | 122,5 dakika |

BÖLÜM 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Rekabet ortamının yoğun bir şekilde yaşandığı günümüzde, kuruluşlar varlıklarını sürdürebilmek için müşterilere ihtiyaç ve beklentilerinin üzerinde ürün ya da hizmet sunmalıdır. Bunun yanında termin tarihine uyma, düşük maliyet, etkinlik, verimlilik, müşteri şikâyetlerini zamanında cevaplama ve çalışanlardan gelen öneriler doğrultusunda çalışan verimliliğine de önem vererek faaliyetlerini sürdürme, kuruluşların sektörde tutunmasına etki eden faktörlerdir.

Yalın üretim günümüzde işletme ihtiyaçlarına cevap veren bir üretim yöntemidir ve SMED'in yalın üretim uygulamalarında önemli bir yeri olduğu yapılan çalışmalar ile kanıtlanmış ve kabul edilmiştir. Yalın üretim sistemine geçen her firma SMED yöntemi ile kayda değer iyileştirmeler elde ettiği gibi tez kapsamında anlatılan çalışmada da etkin bir süre kısaltılması gerçekleştirilmiştir.

SMED yönteminin tek başına kullanıldığında tam anlamıyla verim elde edilemediği başta Shingo tarafından da kabul edilmiştir. SMED yönteminin de, diğer yöntemlerde olduğu gibi farklı araçlar ve yöntemlerle birlikte kullanıldığında daha iyi sonuç vermesi söz konusudur. SMED tekniği ve ergonomik risk değerlendirme yöntemi birlikte kullanılarak çalışan üzerindeki risk seviyesinin azaltılması ve aynı zamanda toplam süre üzerinde daha etkin süre azaltma gerçekleştireceğini gösterilmiştir. SMED uygulamasında süre kısaltmayı sağlayacak en uygun iyileştirme önerilerin belirlenmesinde sürenin yanı sıra iş emniyeti, maliyet ve kalite gibi faktörlerde etkili olacaktır. Bu çalışmada işin yapılış süresinin yanı sıra çalışanların ergonomik risk faktörleri de göz önüne alınmıştır. Bu doğrultuda bütünlük SMED uygulama modeli geliştirilmiştir. Modelde, geleneksel SMED uygulama adımlarına ergonomik risk değerlendirme ve Gri esaslı Taguchi yöntemi dahil edilmiştir. Gri esaslı Taguchi yöntemi süre ve risk azaltılmasında iyileşme

önerisi tanımlamada yararlanılmıştır. Bu yöntemle süre ve risk birlikte düşünülerek her ikisini de azaltıcı öneriler geliştirilerek analizler yapılmış ve hem sürenin hem de riskin azaltıldığı faktörlerin seviyeleri tespit edilmiştir.

İşletmelerde ergonomik risk değerlendirme yapabilmek için işletmedeki risk faktörlerine uygun bir yöntem seçimi uygulamadaki en büyük problemdir. Sue Rodgers Ergonomik Risk Değerlendirme yöntemi öğrenilmesi ve uygulamasının çok zaman gerektirmediği ve analizlerinin diğer yöntemlere kıyasla daha kısa sürdüğü ve vücudun tüm bölümlerini değerlendirebildiği için seçilmiştir. Bu yöntemin uygulama adımları ile her bir proses bileşeni için risk derecesi bulunarak risk derecesi yüksek olanlar proses bileşenleri belirlenmiş Önerilen Bütünleşik SMED tablosunda riski azaltmak için geliştirilen önerilere yer verilmiştir. Yorulma ve yaralanmaların risk seviyelerinin belirlenerek önüne geçilmesi işin yapılış süresini kısaltacağı gibi çalışanın motivasyonunu ve beraberinde verimliliğini arttıracaktır. Sadece işin işlem süresi kısaltılmakla kalmayacak uzun dönemde çalışan memnuniyeti de artacaktır.

Çalışmada Taguchi Deneysel Tasarımının kullanılmasındaki amaç asgari deney sayısı ile başarılı analiz sonuçlarını elde etmektir. Burada ki faktörlere bağlı minimum deneme yanılma ile değil doğrudan daha az deneme ile en iyi sonuç verecek SMED adımı ile ilgili olması gereken değerlerin belirlendiği, dolayısı ile daha etkin süre iyileştirme önerisinin elde edildiği optimum sonuç elde etmek amacıyla Taguchi Deneysel Tasarımı yönteminden faydalanılmıştır.

Tez kapsamında anlatılan uygulama ile Yalın Üretim tekniklerinden SMED'in ergonomik risk değerlendirme kullanılmasıyla atölye içerisindeki en uzun kurulum süresine sahip 9925 no'lu parçanın kurulum süresinin azaltılmıştır. Çalışmaya başlamadan önce 196 dakika olan kurulum süresi geleneksel SMED uygulaması sonunda 95 dakikaya indirilmiştir. Bu aşamada %51,53 değerinde bir iyileştirme gerçekleşmiştir. Ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile birlikte SMED çalışması yapıldıktan sonra ise 16 dakika kazanç elde edilmiştir. Gri esaslı Taguchi yönteminin uygulanması ile yaklaşık 21 dakika süren "üretilecek ilk parçanın operatör tarafından kontrol edilmesi" proses bileşeni yaklaşık olarak 15,50 dakikaya düşmüş ve %26,19

kazanç sağlanmıştır. Sürenin yanı sıra risk derecesinde de azalma olmuştur. İlk durumda risk derecesi 4 (çok yüksek) iken yapılan deneylerin sonucunda uygun seviyeler kullanılarak çalışan pozisyonlarının azda olsa değiştiği ve daha az efor sarf ettikleri durumlar olduğu için risk derecesi 2 (orta)'ya düşmüştür. Yapılan çalışmalar nihayetinde toplam 122,5 dakikalık azalmayla süre azaltmasında 73,5 dakikalık kurulum süresine ulaşılmış ve toplamda %62,5 değerine bir iyileştirme sağlanmıştır. Özetle, ilk durumda 196 dakika olan kurulum sadece SMED yönteminin uygulanması ile 95 dakikaya, SMED yönteminin ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile birlikte uygulanması ile 79 dakikaya ve son olarak Gri esaslı Taguchi yönteminin uygulanması ile 73,5 dakikalık kurulum süresine ulaşılmıştır. Burada geliştirilen Bütünleşik SMED modelinin en çok süre kısalması sağladığı açıktır. Bu çalışmanın uygulama kapsamında, alüminyum imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin, yalın üretim sisteminin metodu olan SMED ve ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan Sue Rodgers Ergonomik Risk değerlendirme metodu ayrı ayrı uygulanmıştır. Daha sonra bu iki yöntemle birlikte Gri esaslı Taguchi metodu entegre bir şekilde uygulanmıştır ve istenilen düzeyde başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Aynı zamanda bu çalışmaya özgü olan Önerilen Bütünleşik SMED tablosu geliştirilmiş ve yapılan tüm iyileştirmelerle birlikte çalışmanın tek bir tabloda özetlenmesi sağlanmıştır. Burada elde edilen sonuçlar uygulamanın yapıldığı işletmeye özeldir. Yapılan çalışma sonucunda 9925 no'lu parçanın kurulumunda 196 dakikadan 73,5 dakikaya ulaşılarak toplamda 122,5 dakika süre kısaltma meydana gelmiştir. Yapılan aylık plana göre bu parça ayda 5 kez bu makinede farklı zamanlarda işlenmektedir. Yapılan çalışmanın aylık sağladığı kazanç 612,5 dakikadır. Burada yaklaşık 10,2 saatlik bir tasarruf sağlamıştır. Yıllık planda bu parçanın yılda 60 kez CNC tezgahında değiştirildiği düşünülürse yapılan çalışma ile yılda yaklaşık 122 saatlik bir kazanç elde edilmiştir.

Bu çalışmada kapsamında geliştirilen Önerilen Bütünleşik SMED tablosu önemli bir yere sahiptir. Tüm çalışmanın tek bir tablo üzerinde gösterilmesi hem özet hem de bütünlük açısından oldukça yararlı ve önemli bir yenilik olmuştur. Bu tablo işletmelerin analiz sonuçlarını kaydetmesini ve yaptıkları çalışmaların bütünü bir

yerde görmelerini sağlayacaktır. Aynı zamanda ileride yapılacak diğer hibrit SMED çalışmalarında kullanılabilir.

Çalışma sonucunda işletmeye öneri olarak gelecek zamanda yapılan çalışmanın benzerini tezgahların tamamında işlenen tüm parçaların kurulum işlemlerinde uygulanması ile daha etkin bir iyileştirme sağlayacağı sunulmuştur. Ayrıca yapılan işlemlerin standartlaştırılması ve tüm çalışanlar tarafından benimsenmesi ile bu iyileştirmelerin devamlılığını ve kalıcılığını sağlayacaktır.

Gelecekte yapılan çalışmalara öneri ise Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yönteminin risk puanlamasında uzman görüşlerinden yararlanıldığı için bulanık mantıkla birlikte yeni bir modelinin oluşturularak Bulanık-Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme yönteminin geliştirilmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Thomas A. K., After Lean Production, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [2] Womack, J. P. and Jones, D. T., Yalın Düşünce (Lean Thinking), Sistem Yayıncılık, İstanbul, 1998.
- [3] Ahltrom, R., “Sequences in the implementation of lean production”, European Management Journal, Sayı.16, No.3, 1998.
- [4] Brett, W.B. ve Kenneth, R.M., “Lean Manufacturing optimization of automotive motor compartment system”, Computers and Industrial Engineering Magazine, Sayı.31, No.1, 1996.
- [5] Cesur, N., “İşletmelerde Yeni ilke; Yalın Üretim”, Verimlilik Dergisi, No.4, 2000.
- [6] Acar, N., Tam Zamanında Üretim, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, s. 45-56. 2002.
- [7] Filiz, H., Yalın Üretim Tekniklerinden Hızlı Kalıp Değişimi ve Bir Uygulama, Dokuz Eylül Üniversitesi, Toplam Kalite Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2008.
- [8] Ersoy, A., Yalın Üretim Tekniklerinden Hızlı Kalıp Değişimi Ve Bir İmalat İşletmesi Uygulaması, Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, İzmir, 2007.
- [9] Shingo, S., “Quick Changeover For Operators: THE SMED SYSTEM” , Productivity Press Portland, 1996.
- [10] Shingo, S., A Revolution in Manufacturing: The SMED System, Productivity Press, Oregon, 1985.
- [11] Demir, F., Yalın Üretimde Toplam Üretken Bakım ve Hızlı Kalıp değiştirme Uygulaması, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2009.

- [12] Shingo, S., A Study Of The Toyota Production System, Productivity Press, Portland, 1989.
- [13] Cinoğlu F., Yalın Felsefe Ve Bir Otomotiv Yan Sanayi Firmasındaki Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [14] Ana Britannica, s. 249, 1988 Basımı
- [15] Akay, D., Dağdeviren, M. ve Kurt, M., “Çalışma duruşlarının ergonomik analizi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2003.
- [16] <http://www.fop.org/downloads/OSHA%20Ergonomics.pdf> Erişim Tarihi: 16.04.2016.
- [17] Jones, T., ve Kumar S., Comparison of Ergonomic Risk Assessments in a Repetitive High-Risk sawmill, International Journal of Industrial Ergonomics, 2007.
- [18] Village, J., An Analysis of Physical Work of Care Aides, Reducing Injuries in Intermediate Care, 2008.
- [19] David, C., Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related, Occupational Medicine, 2005.
- [20] Rodgers, S., A functional job evaluation technique, Occupational Medicine: State of the Art Reviews, 1992.
- [21] Stanton, N., Hedge A., Brookhuis K., Salas E., Hendrick H., Handbook of Human Factors and Ergonomics Method, Bölüm: 12, Muscle Fatigue Assessment: Functional Job Analysis Technique, CRC Press, TA166.H275, 2004
- [22] Durmuşoğlu, B. A., Altısigma yöntemi ile imalat sektöründe ergonomik risk indirgeme uygulaması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2015.
- [23] Karaca, T., Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Kritik Yolun Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2011.
- [24] Baynal, K., Taguchi Yöntemi'nde Çok Yanıtlı Kalite Karakteristikleri Ve Literatür İnceleme, Makine Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16 Sayı:2.

- [25] Yılmaz, O., Standart Seramik Yapıştırıcılarının Önemli Kalite Göstergelerinin Analizinde Taguchi Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
- [26] Taylan, D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [27] Üstünişik, N.Z., Türkiye'deki iller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri ilişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [28] Haq, N.A., ve Marimuthu, P., Multi Response Optimization Of Machining Parameters Of Drilling Al/Sic Metal Matrix Composite Using Grey Relational Analysis In The Taguchi Method, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008.
- [29] Kuşar, J., ve ark. Reduction of Machine Setup Time. Strojnski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 56 (12): 833–845, 2010.
- [30] Grzybowska, K., ve Gajdzik B., “Optymisation Of Equipment Setup Processes in Enterprises”, ISSN 0543-5846, METABK 51(4) 555-558, 2012.
- [31] Almomani M. A. ve diğerleri, “A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques”, Computers & Industrial Engineering 66, 461–469, 2013.
- [32] Çakmakçı, M. Ve diğerleri, “Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production” Measurement 47,741–748, 2013.
- [33] Benjamin, S.J. ve diğerleri, “The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm”, Journal of Manufacturing Technology Management, 2012.
- [34] Assaf, R., ve Haddad, T., “Performance Improvement Using the Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in an Aluminum Profiles Extrusion Production System”, The 1st International Conference on Industrial, Systems and Manufacturing Engineering (ISME'14), 2014.
- [35] McInstosh R.I. ve diğerleri, “A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology”, International Journal of Production Research, 38:11, 2377-2395, 2000.

- [36] Hay, E. J., “Any machine set-up time can be reduced by 75%.” *Industrial Engineering*, 19, 6267; 1989, Driving down downtime. *Manufacturing Engineering*, 103, 41- 44. 1987.
- [37] Rawlinson, M. ve Wells, P., “Taylorism, lean production and the automobile industry”, In *Beyond Modern Times* edited by P. Stewart (London: Frank Cass), 1996.
- [38] Shantharam, A., ve Adanna, I. W., “Improvement of Setup Time and Production Output with the use of Single Minute Exchange of Die Principles (SMED)”, *International Journal of Engineering Research*, Sayı No. 2, Yayın No. 4, 2013.
- [39] Ribeiro. D., ve diğerleri, “An Application of the SMED Methodology in an Electric Power Controls Company”, *Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development*, sayı 3, 2011.
- [40] Tanık, M., “ Kalıp Ayar Sürelerinin SMED Metodolojisi İle İyileştirilmesi: Bir Yalın Altı Sigma Uygulaması”, *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 25, 2010.
- [41] Ulutas, B., “An application of SMED Methodology” *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, Sayı:5, No:7, 2011.
- [42] Deros, B.M., “Setup Time Reduction İn An Automotive Battery Assembly Line”, *International Journal Of Systems Applications, Engineering & Development* Yayın No: 5, Sayı:5, 2011.
- [43] Mondal S., ve diğerleri, “Application of Taguchi-based gray relational analysis for evaluating the optimal laser cladding parameters for AISI1040 steel plane surface”, *Int J Adv. Manuf. Technol.* 66:91–96, 2013.
- [44] Bengin, Ö., “Multi-Objective Simulation Optimization Using Grey-Based Taguchi Method With Fuzzy AHP Weighting”, *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences*, Republic of Turkey Ministry of Science, Industry and Technology, Ankara, 2011.
- [45] Vellaiyan S., ve Amirthagadeswaran K. S., “Taguchi-Grey relational-based multi response optimization of the water-in-diesel emulsification process”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Sayı: 30, No:3, 2016.

EKLER

EK 1: Tüm proses bileşenleri için Sue Rodgers ergonomik risk değerlendirme tabloları

Üretilen ilk parçanın operatör tarafından kontrolü proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 3 | 2 | 3 | 323 | 4 |
| Boyun | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 3 | 2 | 2 | 322 | 3 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 3 | 223 | 3 |
| Bacaklar ve Dizler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |

Tezgah üzerindeki fikstürün tezgahtan indirilmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 2 | 2 | 3 | 223 | 3 |
| Boyun | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Omuzlar | 1 | 3 | 1 | 131 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Fikstürün tablanın üzerine konulması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Kol ve Dirsekler | 3 | 2 | 1 | 321 | 3 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |

İşlenecek ürünün fikstür rafından alınıp tezgahın yanına getirilmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Boyun | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 3 | 2 | 1 | 321 | 3 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 3 | 1 | 1 | 321 | 3 |
| Bacaklar ve Dizler | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |

Sol difüzörün tezgahtan alınması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Boyun | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 3 | 1 | 2 | 312 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Profilin fiştür üzerine setlenmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 3 | 1 | 2 | 312 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |

Programdaki kesici takımların kontrolü ve magazine takım takılması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |

Tavan vincinin tezgahın önüne getirilmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Boyun | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Tezgahtan alınan fiştürün fiştür rafına konulması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 3 | 1 | 1 | 311 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |

Fikstürün tabla üzerinde pozisyonunun belirlenmesi ve sabitlenmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Boyun | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |

X ekseninde referans noktası için dayama oluşturma proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Üretilen ilk parçanın 3D'ye götürülmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Boyun | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Üretilen ilk parçanın 3D'den alınıp atölyeye geri getirilmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 2 | 112 | 1 |
| Boyun | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

Tezgahın temizlenmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 2 | 2 | 222 | 2 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

X ekseninde parça sıfırı alınması ve programın çağırılması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 2 | 2 | 1 | 221 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 1 | 2 | 212 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |

Fikstür üzerindeki pistonların 1. işleme uygun hale getirilmesi proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Omuzlar | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 1 | 2 | 2 | 122 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |

İşlenecek ikinci parça için programda düzeltme yapılması proses bileşeni

| Vücut Bölümleri | Harcanan Efor | Efor Devam Süresi | Efor Frekansı | Risk Derecesi | Risk Seviyesi |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sırt | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Boyun | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Omuzlar | 2 | 1 | 1 | 211 | 1 |
| Kol ve Dirsekler | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Bilekler - Eller - Parmaklar | 1 | 2 | 1 | 121 | 1 |
| Bacaklar ve Dizler | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |
| Ayak Bilekleri ve Ayak Parmakları | 1 | 1 | 1 | 111 | 1 |

ÖZGEÇMİŞ

Caner EKİNCİOĞLU, 29.06.1992'de Edirne'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Edirne'de tamamladı. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.