

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TAGUCHI METODU KULLANILARAK KAYNAK PROSES
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU: SOMUN KAYNAK
OPERASYONU İÇİN BİR UYGULAMA**

ECEM KAPÇAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Şener AKPINAR
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN

BALIKESİR, HAZİRAN-2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Taguchi Metodu Kullanılarak Kaynak Proses Parametrelerinin Optimizasyonu: Somun Kaynak Operasyonu İçin Bir Uygulama**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ecem KAPÇAK

(imza)

Bu tez çalışması Yarış Kabin Sanayi ve Ticaret A.ř. tarafından desteklenmiştir.

ÖZET

**TAGUCHI METODU KULLANILARAK KAYNAK PROSES
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU: SOMUN KAYNAK OPERASYONU
İÇİN BİR UYGULAMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ECEM KAPÇAK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, HAZİRAN - 2022

Kaynak metotlarında kaynak kalitesinin istenen düzeyde olabilmesi, kaynak proses parametrelerinin ve değerlerinin doğru seçilmesiyle mümkün olmaktadır. Taguchi metodu, ortogonal dizileri kullanarak ölçülen çıktı değişkeni (yanıt) üzerinde etkili kontrol edilemeyen girdi değişkenlerinin (faktörlerin) etkisini minimize, kontrol edilebilen faktörlerin etkisini ise maksimize etmeye yarayan bir istatistiksel deney tasarım tekniğidir. Bu tez çalışmasında, traktör kabini üzerine montajı yapılan taban sacına punta kaynak operasyonu ile kaynatılan somunların taban sacı üzerinden kopması problemi ele alınmıştır. Punta kaynak prosesindeki kalitesel problem sebebi ile, sebep sonuç mantığı gereği, ilişkili operasyonlarda katma değer yaratmayan yeniden işlem süresi, hurda kayıpları, yeniden işlem prosesine taşıma esnasında yaşanan lojistik kayıpları, hat duruşu kayıpları, makine / hat verimlilik kayıpları, işgücü kayıpları ve plansız ayar kayıpları da oluşmaktadır. Punta kaynak prosesinde faktör parametreleri olarak kaynak basıncı, kaynak süresi, kaynak akımı ve yaklaşma belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda somun kopma tork değeri yanıt değişkeni Taguchi'nin en büyük en iyi metodolojisiyle incelenmiş, deney tasarımı metodu ile optimize edilmesi sağlanmıştır. Literatürde ilgili konuda yapılan çalışmalar ve gözlemler incelendiğinde kullanılan faktörlerin kombinasyonları ve seviyeleri bu çalışmayı diğer benzer çalışmalardan ayrı kılmaktadır. Bu çalışmanın ilk aşamasında belirlenen faktörler ve seviyeleri için Minitab programı modellemesi ile ortogonal deneyler tasarlanmıştır. Deneylerin yanıt değerlerini yorumlamak için Taguchi'nin en büyük en iyi metodolojisinden yararlanılarak somun kopma tork değeri optimize edilmiştir. Sonraki aşamada ise Taguchi kombinasyonlarına dayalı faktörler optimum faktör seviyelerine ayarlanarak üretimde doğrulama çalışmaları tamamlanmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deney tasarımı ve optimizasyon çalışmaları sonucunda, üretici firma tarafından uygun görülen maksimum tork değerini sağlayan süreç parametreleri belirlenerek optimizasyon çalışmaları üretim sürecine uygulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Punta kaynak prosesi, deney tasarımı, Taguchi, kalite, optimizasyon.

ABSTRACT

**OPTIMIZATION OF WELDING PROCESS PARAMETERS USING TAGUCHI
METHOD: AN APPLICATION FOR NUT WELDING OPERATION
MSC THESIS
ECEM KAPÇAK
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC.PROF.DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, JUNE - 2022

The desired level of welding quality in welding methods is possible with the correct selection of welding process parameters and its levels. Taguchi method is a statistical experiment design technique that uses orthogonal arrays to minimize the effect of the uncontrollable factors and maximize the effect of controllable input variables (factors) on the measured output variable (response). In this thesis, the problem of the nuts welded on the floor sheet mounted on the tractor cabin by spot welding operation, breaking off from the floor sheet is discussed. Due to the quality problem in the spot welding process, due to cause and effect logic, rework time that does not add value in related operations, scrap losses, logistics losses during transport to the rework process, downtime losses and machine / line efficiency losses, labor losses, unplanned set-up losses also occur. Welding pressure, welding time, welding current and approach were determined as input parameters in the spot welding process. As a result of the experiments, the nut breaking torque value output was examined with Taguchi's larger is better methodology, and it was optimized with the experimental design method. When the studies and observations on the related subject in the literature are examined, the combinations and levels of the factors used distinguish the related study from other similar studies. Orthogonal experiments were designed with Minitab program modeling for the inputs and levels determined in the first stage of the study. To interpret the outputs of the experiments, the nut breaking torque value was optimized by utilizing Taguchi's larger is better methodology. In the next stage, the factors based on Taguchi combinations were adjusted to optimum input levels and verification studies were completed in production. As a result of the experimental design optimization studies carried out using the Taguchi method, the values that provide the maximum torque value deemed appropriate by the manufacturer were determined and optimization results were applied to the manufacturing process.

KEYWORDS: Spot welding process, design of experiment, Taguchi, quality, optimization.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgün Katkısı.....	2
1.3 Çalışmadaki Kısıtlar ve Varsayımlar	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. MATERYAL VE METOD	22
3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Kısa Tarihçesi	22
3.2 Deney Tasarımının Temel İlkeleri	23
3.3 Deney Tasarımında Kullanılan Temel Terimler	24
3.4 Yaygın Olarak Kullanılan Deney Tasarım Metotları.....	26
3.5 Taguchi Yöntemi	28
3.5.1 Taguchi Yöntemi Felsefesi	29
3.5.2 Taguchi Kalite Kontrol Sistematiği	29
3.5.3 Taguchi Metodu Aşamaları.....	32
4. UYGULAMA	39
4.1 Sistemin ve Problemin Tanımlanması	39
4.2 Deneysel Çalışma ve Tartışma.....	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
6. KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Taguchi'nin kalite yönetim sistematığı.....	30
Şekil 3.2: 2 ^k tasarımı.....	35
Şekil 3.3: Taguchi tasarımı deney planları.....	36
Şekil 4.1: 5N1K problem tanımı analizi.....	40
Şekil 4.2: Balık kılçığı diyagramı	41
Şekil 4.3: Emniyet kabin taban saclarının makine önüne konumlandırılması	42
Şekil 4.4: Punta kaynak makinesi.....	43
Şekil 4.5: Taban sacı punta kaynak işlemi.....	43
Şekil 4.6: Punta kaynak bölgesi kesiti.....	44
Şekil 4.7: Punta kaynak aşamaları.....	45
Şekil 4.8: Taban sacı emniyet kabini üzerinde gösterimi.....	46
Şekil 4.9: Taban sacı üzerindeki punta kaynak noktaları incelemesi.....	47
Şekil 4.10: Punta somun kopma problemi gösterimi.....	47
Şekil 4.11: Problemin taban sacı üzerinde gösterimi.....	48
Şekil 4.12: Taguchi deneylerinin uygulanması için deney düzeneği.....	51
Şekil 4.13: Ortalamalar için ana etkiler grafiği.....	53
Şekil 4.14: S/N oranları için ana etkiler grafiği.....	53
Şekil 4.15: Minitab S/N oranları analiz raporu.....	54

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Literatür taraması özet tablo.....	16
Tablo 3.1: Deney tasarımı yöntemleri özet tablo.....	27
Tablo 4.1: Punta somun kaynak makinesi ayar parametreleri.....	49
Tablo 4.2: L_{27} ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tablosu.....	50
Tablo 4.3: Taguchi kombinasyonu sonucu oluşan değerler.....	52
Tablo 4.4: Doğrulama deneyleri.....	55

SEMBOL LİSTESİ

α	: Eksenel noktanın merkez noktadan uzaklığı
atm	: Atmosfer basıncı
A	: Amper
Dev/dk	: Devir/dakika
E	: Kaynak fışkırma ve çapaklanma endeksi
F_k	: Kopma kuvveti
K	: Faktör sayısı
kA	: Kiloamper
kg	: Kilogram
kg-f	: Kilogram-kuvvet
kN	: Kilonewton
kPa	: Kilopascal
kVA	: Kilovoltamper
l/dk	: Litre/dakika
m/dk	: Metre/dakika
mm	: Milimetre
mm/s	: Milimetre/saniye
MPa	: Megapascal
N.m	: Newton metre
sn	: Saniye
V	: Elektrikte kullanılan potansiyel farkı birimi (Volt)
V/Hz	: Volts/hertz

KISALTMALAR LİSTESİ

5N1K	: Ne, nerede, ne zaman, ne kadar, nasıl, kim analizi
ANOVA	: Varyans analizi (analysis of variance)
Ar	: Argon
C0₂	: Karbondioksit
ERP	: Kurumsal kaynak planlama
GA	: Genetik algoritma
MAG	: Metal aktif gaz kaynağı
MIG	: Gaz metal ark kaynağı
M5	: Metrik 5 somun/civata
M6	: Metrik 6 somun/civata
M8	: Metrik 8 somun/civata
O₂	: Oksijen
rpm	: Dakikadaki devir sayısı (revolutions per minute)
S/N	: Sinyal/gürültü (signal/noise)
TIG	: Koruyucu gazaltı tungsten asal gaz ark kaynağı
TRIP	: Dönüşüme bağlı plastisite çelik (transformation induced plasticity)
YSA	: Yapay sinir ağları
YYY	: Yanıt yüzey yöntemi

ÖNSÖZ

Bu çalışma Balıkesir’de faaliyet gösteren traktör ve iş makinesi emniyet kabini üretimi yapılan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar firmanın kaynakhane departmanında yürütülmüştür. Varolan problem işletmede fazladan yeniden işlem, lojistik, bekleme, katma değersiz aktivite ve kalite kayıplarına yol açmaktadır.

Çalışmalarım boyunca bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Aslan Deniz Karaoğlan’a, deney çalışmalarında destek olan çalışma arkadaşlarıma, bana motivasyon sağlayan değerli aileme ve hayat arkadaşım Orçun Kapçak’a sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Balıkesir, 2022

Ecem KAPÇAK

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Günümüz koşullarında ürün veya hizmet üreten işletmelerin, varlığını koruyabilmesi ve pazarda söz sahibi olabilmeleri için; ürettikleri ürün veya hizmeti, düşük maliyetli ve kaliteli olarak piyasaya sunmaları büyük önem taşımaktadır. Bir firmanın üretim girdi maliyetlerini oluşturan birçok kalem bulunmaktadır. Bunların başında; hammadde maliyeti, enerji maliyeti, direk ve endirekt işçilik maliyeti, sarf malzeme maliyetleri, bakım yedek parça maliyetleri, lojistik maliyetleri, genel giderler gibi kalemler yer almaktadır. Firmaların rekabet ortamında fark yaratmaları için işletme genelindeki maliyet yayımlarını detaylı şekilde analiz etmeleri, üretim ve hizmet sahasında yaşanan veya yaşanabilecek israf ve kayıplarını belirleyip bu ana kalemler hakkında veri toplamaları, kayıp ve israfları azaltmada yol gösterici nitelik taşımaktadır. Firma genelinde üretilen hizmet veya ürüne katkısı olan beyaz yaka ve mavi yaka tüm çalışanların katılımıyla, belirlenen bu israf ve kayıpları elemine etmek amacı ile iyileştirme aktiviteleri sürdürülmesi gerekmektedir. Üretim bandından çıkan ürünlerin üretim sürecinde; uygun olmayan metot belirlenmesi ve bu metodun uygulanması, hatalı tedarik edilen ve kullanılan hammadde ve malzemeler, makine ayar parametrelerinden sapmalar, manuel işlemlerde insan hatası (dikkatsizlik, unutkanlık, bilgi beceri eksikliği kaynaklı hata, ürün veya makine tasarım hatası v.b.) nedenlerden dolayı istenilen tolerans aralıklarında üretim yapılamaması durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu hataların düzeltilmesi için personelin yeniden işleme işçilik kayıpları, boşta bekleme ve akabinde fazla mesai giderleri söz konusu olacak, bu durum işçilik maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Oluşan kayıplar sadece işçilik maliyetleri ile kalmayacak fazladan lojistik maliyetlerine, yeniden işleme için fazladan zaman, hammadde ve sarf malzeme kullanımına, hurda maliyetlerinde artmaya, makine boşta beklemelerine ve nihayetinde ilave enerji giderlerine yol açacaktır. Bu durum firmada israf ve kayıp kaynaklı olarak artan işçilik, kalitesizlik, taşıma, enerji, düşen hat verimliliği kaynaklı kayıp maliyetlere sebep olacaktır. Bu istenmeyen durumların sık yaşanması ise, firmanın pazardaki gücünü azaltan bir etken haline dönüşecektir. Bu nedenle, üretim yapan işletmeler, kayıp maliyetlerini en doğru şekilde hesaplamalı ve bu durumu fırsata çevirmek amacı ile kayıp kaynaklı oluşan giderleri iyileştirmek için çalışmalar gerçekleştirmelidir. Böyle bir kayıp ile karşılaşıldığında kayıp maliyetlerinin artmasına sebep olan kalitesizlik sebepli maliyetleri düşürmek şeklinde yol haritası benimsemek ve bu doğrultuda master planlar hazırlayıp aktiviteler için faaliyet

planlarını oluşturmak iyi bir strateji olarak kabul görülmektedir. Üretim hattından çıkan ürünlerdeki bir hata, birçok makinede veya üretim bandında duruşa sebep olabilir. Bu durum müşteriye yapılan sevkiyatta zaman ve kalite açısından problem oluşturabilmektedir. Katma değer yaratmayan bu faaliyetlerin ve kalitesizliğin iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında Taguchi metodu kullanılarak kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışılmış ve somun kaynak operasyonu için bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu yolla traktör emniyet kabini üzerine montajı yapılan taban sacı üzerine punta kaynak operasyonu ile kaynatılan somunların taban sacı üzerinden kopması probleminin önüne geçilerek hatalı üretilen yarı mamulün ortaya çıkartacağı maliyetlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Özgün Katkısı

Kaynak metotlarında kaynak kalitesinin müşteri tarafından arzu edilen toleranslar arasında olabilmesi, doğru kaynak faktör seviyelerinin belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Kaynak operasyonu esnasında yanıt üzerinde etkili olan değişkenlerin birbiri ile etkileşimleri kaynak yöntemlerinde farklılaşma sağlamıştır. Kaynak prosesindeki tek kabiliyet, parçaların çeşitli kaynak metotları ile birleştirilmesi değil, ayrıca birleştirilen bu parçaların sonraki proseslerde ve müşteri sahasında istenilen tutunma gücünde ve mukavemette olabilmesidir. Malzemelerin kaynak edilmesi aşamasında uygulanan kaynak yöntemleri, bazı durumlarda kaynak uygulama bölgesi ve çevresinde istenmeyen mukavemet bağlantı zayıflıklarına sebep olabilmektedir. Kaliteli bir kaynak işleminde birleşimi yapılan iki malzeme arasında tatbik edilecek gerilmelere dayanım sağlayacak metalsel bir bağın oluşması gerçekleşmelidir. Kaynak birleşim noktalarının istenilen mukavemette ve penetrasyonda olmaması durumu, kalitesizlik kaynaklı oluşan yeniden işçilik ve hurda maliyetlerini arttırmaktadır. Bu kapsamda yapılan önceki yıllardaki araştırmalar incelendiğinde, kaynak faktör parametrelerinin tahmin edilmesi ve bu faktörlerin kombinasyonlarının optimize edilmesi sonucunda istenen yanıt seviyesine ulaşılması amacı ile birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde öne çıkan çalışmalar; kaynak penetrasyonu, kaynak mukavemeti, kaynak bölgesinin çapının incelenmesi, kaynak parametrelerinin seviyelerinin belirlenmesi konularında incelemeler yapmıştır. Kalitesizlik hatalarının sonraki adımlara geçmesini engellemek için işletmelerin kullandıkları çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Reaktif kalite kontrol yönteminde, her ara proseste işlem tamamlandıktan sonra kalite kontrol yapılarak hatalı ürünün bir sonraki aşamaya geçmesine engel olmak şeklinde bir yol izlenmektedir. Bir başka metot olan önleyici-koruyucu kalite kontrol yönteminde ise,

üretim başlamadan önce kalitesiz ürün üretmeyecek proses parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda, önleyici-koruyucu kalite kontrol yaklaşımının ulaşılması hedeflenen ve benimsenen bir yöntem haline geldiği görülmüştür. Bu tez çalışması ile bir traktör emniyet kabini üreticisi firmanın kaynakhane departmanında bulunan somun punta kaynak prosesi sürecindeki kopma problemini ortadan kaldıracak proses parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Literatürde yayınlanan ve 2. Bölümde detayları verilen bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bu tez çalışması kapsamında ele alınan faktörler ve seviyelerini birlikte dikkate alan benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.3 Çalışmadaki Kısıtlar ve Varsayımlar

Bu çalışma gerçek üretim koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği firmanın ilgili kaynak prosesinde yoğun müşteri talebine bağlı olarak yaşanan yoğunluk ve buna karşılık kaynak makinesinin kapasite kısıtı sebebi ile üretim planını en az etkileyecek bir deney planı kurgulanmaya çalışılmıştır. Ürün kalitesini bozmamak amacıyla traktör kabinlerinin kendisi yerine problemde adı geçen ve traktör emniyet kabinlerinin taban sacını oluşturan st44 sac malzemesi numuneleri kullanılmış ve deneyler test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler yapılması esnasında kullanılan tork cihazının kalibrasyonunun standartlara uygun şekilde yapılması sağlanmış ve deneylerin uygulanmasını sağlayan personelin tork cihazını kullandığı açının yörüngesini sabitlediği varsayılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Deney tasarımı metodu birçok alanda süreçlerin optimize edilmesi için yararlanılan bir yöntemdir. Özellikle üretim alanında süreç veya ürün tasarım optimizasyonu gerçekleştirilirken yaygın olarak kullanılan bir iyileştirme metodu haline almıştır. Yapılan incelemelerde inşaat sektöründe (Keskin ve Yıldırım, 2016), otomotiv sektöründe (Şahin, 2008), tekstil sektöründe (Yaprak, 2019), kaynak prosesi sektöründe (Aytekin, 2011), gıda sektöründe (Çayır, 2020), toz boya endüstrisinde (Özden, 2020) vb. çok yaygın kullanım alanlarına rastlanmaktadır. Aşağıda bu tezin çalışma alanı olan kaynak prosesi parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar verilmiştir.

Darwish ve Dekhial (1999), punta kaynak operasyonu parametrelerinin optimizasyonu için istatistiksel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ticari alüminyum levhaların nokta kaynağı ile ilgili deneysel araştırmaları rapor edilmektedir. Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti ve sac kalınlığı parametrelerinin punta kaynaklı alüminyum levhaların mukavemetine etkisini incelemek için deneyler yapılmıştır. Optimizasyon amacıyla yanıt yüzey yöntemi (YYY) (response surface methodology-RSM) kullanılmıştır.

Park ve ark. (2002), direnç nokta kaynağı parametrelerinin optimizasyonu için deney tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında YYY kullanmışlardır. Kaynak akımı, kaynak süresi ve kaynak kuvveti faktör değişkenleri olarak; kesme mukavemeti ve girintisi ise yanıt değişkenleri olarak seçilmiştir.

Yavuz ve ark. (2005), tozaltı kaynağı yöntemi kullanılarak kaynak edilmiş parçalar ile ilgili analizler yapmışlardır. Isının etkisi altındaki alan ve bu alanın mekanik bağlamda özelliklerinin belirlenmesi amacı ile deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sonlu eleman modeli tozaltı kaynağı işlemi için çalışılmıştır.

Cho ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada deney tasarımı yöntemi ile alüminyum direnç punta kaynak operasyonunda parametrelerin tahminlenmesi konusuna çalışmışlardır. Faktör parametresi olarak kaynak akımı, döngü zamanı, elektrot kuvveti, elektrot boyutu, uyum fit değeri, aksenal kaçıklık ve eksen açısı hizalama alınmıştır. Tasarlanan deneylerde faktörlerden aksenal kaçıklık ve eksen açısı hizalama 3 seviyeli iken, diğer faktörler 2 seviyeli olarak belirlenmiştir. Yanıt olarak kaynak düğme boyutu (çap) ve kaynak lobu

alınmıştır. Deneyler sonucunda, faktör değişkenlerinin yanıt üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Eşme ve ark. (2006), gazaltı TIG (tungsten ark kaynak) dayanımının Taguchi metodu ile optimizasyonu konusunu ele almışlardır. Faktör parametresi olarak kaynak hızı, kaynak akımı, gaz akış hızı ve ark sıçrama boşluğu kullanmışlardır. Yanıt parametresi olarak kaynak dayanımını incelemişlerdir. Parametreleri Taguchi'nin en yüksek-en iyi metodu ile optimize etmek üzere deneyler organize etmişlerdir. Deneylerde 4 faktör ve bu 4 faktörün 4 seviyesi için L_{18} dizini seçilmiştir. Deney sonucunda optimum kaynak faktör değerlerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda optimum parametreler; kaynak hızı: 1,612 mm/s, akım: 80 A, gaz akış hız değeri: 8 litre/dk, ark boşluğu: 2 mm olarak set edilmiştir. Çekme dayanımı optimum değeri 3672 kg olarak bulunmuştur.

Tseng (2006), en düşük maliyet ile kaynak kalitesi elde etmek için kaynak prosesi parametrelerini incelemiştir. Kaynak akımı, elektrot kuvveti, kaynak süresi ve sac kalınlığı faktörlerini kullanarak, inceleme için genel regresyon sinir ağı yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada hedeflenen, tercih edilen kaynak kalitesini mümkün olan en düşük maliyetle elde etmektir.

Lin ve ark. (2007), Taguchi yöntemi ve yapay sinir ağları (YSA) ile direnç spot kaynak parametrelerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmışlardır. Deneyler tasarlanırken 0,7 mm (milimetre) kalınlıkta çelik sac malzeme kullanılmıştır. Faktör parametresi olarak elektrot ucunun boyutu, kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak süresini deneye dahil etmişlerdir. Yanıt parametresi olarak çekme mukavemet değerini kabul etmişlerdir. Çalışma sonucunda optimum parametre değerleri; elektrot ucu boyutu: 3 mm, kaynak akımı: 7800 A, elektrot kuvveti: 1,8 kN, kaynak süresi: 20 çevrim (cycle) olarak belirlenmiştir. Belirledikleri kaynak prosesi faktör değerleri ile ulaşılan noktada çekme mukavemetinin iyileştiğini ve bu çalışmanın diğer uygulamalarda kullanılabileceğine ulaşmışlardır.

Ünlükal (2007), otomotiv sektöründe uygulanan direnç nokta kaynağın kalitesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Elektrot ucu soğutma suyu parametresinin kaynak kalitesini nasıl etkilediğinin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapmışlardır. Makinede ayarlanan optimum soğutma suyu debisinin altına düşüldüğünde, elektrot ucu değişim frekansının ve kaynak kalitesinin azaldığı görülmüştür. Kuvvet çekirdek çapı ilişkisini incelemek için yapılan deneyde, üç farklı kalınlıktaki saclarda kuvvet artırıldıkça çekirdek çapının azaldığı

görülmüştür. Kaynak prosesi faktörlerinden akım değerinin kaynak çekirdeği yanıt değerine olan etkilerinin gözlemlenmesi için uygulanan deneylerde, akım değeri yükseldiğinde çekirdek çapının küçüldüğü tespit edilmiştir.

Şahin (2008), otomobil imalatında kullanılan çeliğin robotik gazaltı kaynağıyla birleştirmesinde etkili olan kaynak parametrelerinin optimizasyonu konusuna çalışmıştır. Bu çalışmada Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Faktör değişkeni olarak akım, gerilim ve kaynak ilerleme hızı alınmıştır. Yanıt değişkeni olarak çekme mukavemetinin maksimum olması amaçlanmıştır. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda akım: 250 A, gerilim: 22 V, kaynak ilerleme hızı: 0,4 m/dk olarak bulunmuştur.

Thakur ve Nandedkar (2010), direnç punta kaynak faktör değerlerinin Taguchi metodu ile incelenmesi konusunu gözlemlemişlerdir. L₂₇ ortogonal seri ile tasarlanan deneylerde faktör olarak basınç, akım ve kaynak süresi alınmıştır.

Thakur ve ark. (2010), galvanizli çeliklerde direnç punta kaynak prosesinin faktör parametrelerinin iyileştirilmesi için Taguchi metodu uygulamışlardır. Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot çapı ve elektrot kuvveti faktörleri baz alınarak deneysel çalışma yapılmıştır. L₂₇ ortogonal dizisi, optimuma yakın yanıt değerini belirlemek için kullanılmıştır. Doğrulama testleri sonucunda çekme-kesme mukavemeti değerinin %13,43 oranında iyileştirilmesinin mümkün olduğu gözlenmiştir.

Aytekin (2011), sac malzemelerin köşe kaynaklarının robotik gazaltı kaynak prosesinde işlem görmesinden sonra meydana gelen penetrasyon (kaynak nüfuziyeti) problemini çözmek amacı ile Taguchi yöntemi kullanarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında 3 mm saclarda köşe kaynağı nüfuziyet sorununu gidermek amacı ile optimum faktör ve bu faktörlerin seviyeleri belirlenmiştir. Faktör değişkeni olarak kaynak akımı, telin kalınlığı, gaz karışım oranı, zigzag boyu, kaynak hızı alınmıştır. Yanıt değişkeni olarak nüfuziyet değeri alınmıştır. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda kaynak akımı: 220 A, telin kalınlığı: 0,8 mm, gaz karışım oranı: %93 Ar, %2 O₂, %5 CO₂, zigzag boyu: 3 mm ve kaynak hızı: 0,4 mm/sn olarak bulunmuştur. Deney analizlerinden tespit edilen kombinasyonda sahada gerçek veriler ile doğrulama deneyleri sağlanmış ve yanıt üzerinde iyileşme sağlanmıştır.

Bilici ve ark. (2012), yüksek yoğunluklu polipropilenin sürtünmeli karıştırma noktası kaynağının deneysel ve sayısal (nicel) sonuçlarını incelemişlerdir. Takım dönme hızı, dalma derinliği ve kaynak başlangıcında bekleme süresi işlem faktörlerinin kombinasyonlarına göre gerçekleştirilen deneysel testler, Taguchi ortogonal tablo L₉'a göre rastgele şekilde gerçekleştirilmiştir. Sinyal-gürültü oranı ve Varyans Analizi (Analysis of Variance-ANOVA), sürtünme karıştırma noktası kaynak parametrelerinin kaynak kuvveti üzerindeki etkisini elde etmek için kullanılmıştır. İlk kaynak parametrelerinden optimum kaynak parametrelerine geçişte kaynak mukavemetindeki iyileşme yaklaşık %47,7 oranında olmuştur.

Campanelli ve ark. (2012), magnezyum alaşımının sürtünme nokta kaynağı için parametre optimizasyonu konusunda çalışma gerekletirmilerdir. Bindirme kesme mukavemetini maksimize etmek için dönme hızı, dalma derinliği ve bekleme süresi parametreleri araştırılmıştır. Faktör parametrelerinin optimizasyonu Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Takım dalma derinliğinin kaynak mukavemeti üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu, ikinci etkinin dönme hızı ve sonrasında bekleme süresi olduğu tespit edilmiştir.

Muhammad ve ark. (2012), çalışmalarında kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi faktörlerini incelemişlerdir. Deneysel 1,5 mm kalınlığında levha kullanılmışlardır. Optimum kaynak parametreleri, L₉ ortogonal dizisi ile Taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Optimizasyon yaklaşımı olarak çok amaçlı Taguchi yöntemini kullanılmasıyla aynı anda birden çok kalite özelliğini, yani kaynak külçesi ve ısıdan etkilenen bölgeyi dikkate almaya çalışılmıştır. Çoklu S/N (sinyal/gürültü) oranının analizi yapılmıştır. ANOVA kullanılarak kaynak parametreleri seviyesi elde edilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesi gelişimini tahmin etmek için birinci dereceden model, YYY kullanılarak türetilmiştir.

Muhammad ve Manurung (2012), direnç punta kaynak proses parametrelerini merkezi kompozit dizayn YYY ile incelemişlerdir. Kaynak yarıçapı gelişiminde kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti ve tutma süresini ele almışlardır. Tutma süresi dışındaki faktörlerin kaynak yarıçapını etkilediği grlmtir.

Muhammad ve ark. (2012), direnç punta kaynak prosesinde kalite iyileştirme çalışmaları gerekletirmilerdir. Kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi faktörleri ile, kaynak

külçesi ve ısıdan etkilenen bölge yanıt değeri için Taguchi L₉ ortogonal dizi ve YYY kullanılarak deneyler oluşturulmuştur. Doğrulama testi sonuçlarına göre geliştirilen modelin, kaynak kalitesini iyileştirebilecek kaynak bölgesinin boyutunu tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Singh ve ark. (2012), östenitik paslanmaz çelik kaynak optimizasyonu için Taguchi yönteminin uygulanması konusuna çalışmışlardır. Hedefe ulaşmak için kaynak akımı, kaynak döngüsü, tutma süresi ve soğuma döngüsü parametreleri seçilmiştir. L₃₂ ortogonal dizi kullanılmıştır. 32 adet deney tasarlanmıştır. Taguchi yöntemi ile belirlenen 4 faktör değeri için külçe boyutu, çekme dayanımı ve penetrasyon değeri üzerinde iyileştirme sağlamıştır.

Hron ve Macák (2013), gıda ambalajı kaynak sürecinde deney tasarımı uygulaması konusuna çalışmışlardır. Yapılan çalışmada deney tasarımı metodundan faydalanmışlardır. Faktör olarak kaynak sıcaklığı, operasyon süresi, kaynak basıncı, kullanılan teknoloji parametrelerinin kaynak dayanımı yanıtına etkisinin incelenmesi için 16 adet deney tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada kaynak dayanımını maksimize eden faktör değerleri belirlenmiştir.

Pandey ve ark. (2013), çalışmalarında direnç punta kaynak prosesinin parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu konusuna çalışmışlardır. Faktör olarak kaynak akımı, temas direnci ve kaynak süresini incelemiştir. Yanıt olarak gerilme direncinin optimizasyonu konusu ele alınmıştır. 3 faktörlü L₉ ortogonal dizi ile deneyler tasarlanmıştır. Deney sonucunda faktör parametreleri akım: 6,8 kA (kiloamper), temas direnci: 0,79 kPa (kilopascal) ve kaynak süresi: 5 sn olarak belirlenmiştir.

Pieta ve ark. (2013), levhalar için sürtünme punta kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu konusunu incelemiştir. Mevcut çalışmada, 3,2 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımlı levhalar için sürtünme punta kaynak işlemi parametrelerinin optimizasyonu amaçlamaktadırlar. Proses değişkenlerinin dönme hızı, kaynak süresi ve dalma derinliğinin, kaynaklı bağlantıların kesme dayanımı üzerindeki etkisinin Taguchi deneysel analiz yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, düşük veya orta dönüş hızı seviyelerinin proses için daha iyi olduğu görülmüştür. Daha uzun kaynak süreleri ve daha derin dalma derinlikleri, bu tür parametrelerin etkisinin belirli değerlerin üzerinde sınırlı

olduğu bulunmasına rağmen, daha yüksek birleşme mukavemetine yol açtığı tespit edilmiştir.

Prashanthkumar ve ark. (2014), 2 mm kapalı haddelenmiş kapama iş parçasında direnç punta kaynağı kalitesi için optimum faktör parametre değerlerine ulaşmaya çalışmışlardır. Yapılan çalışmada faktör olarak kaynak akımı ve kaynak süresi alınmıştır. Kaynak akımı ve süresi için termal analiz yöntemi ve Tam Faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır. Simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak 2 mm levhanın nokta kaynağı için optimum proses parametreleri belirlenmiştir.

Raut ve Achwal (2014), punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu konusunu ele almışlardır. Faktör olarak elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi incelenmiştir. Yanıt olarak gerilim gücünün maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Deneylerde 0,8 mm ve 1 mm olmak üzere 2 çeşit levha malzemesi kullanılmıştır. Deney L₁₈ ortogonal dizi Taguchi metodu ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda yanıt değeri 0,8 mm ve 1 mm levha için tespit edilmiştir.

Utkarsh ve ark. (2014), MIG (gaz metal ark kaynağı) kaynağının incelenmesi konusunda deney tasarımı metodu kullanarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kaynak akımı, voltaj, hız ve gaz akış oranı faktör parametreleridir. L₉ ortogonal dizi kullanılarak yapılan deney tasarımlarının sonucunda gerilme direnci üzerinde akım ve gerilimin büyük etkisi olduğunu görmüşlerdir.

Hussein ve Barrak (2015), stenitik paslanmaz elik ve alüminyum alaşımlarda punta kaynak parametrelerini incelemişlerdir. Faktör olarak kaynak akımı, elektrot kuvveti, sıkma süresi ve kaynak süresi alınmıştır. Kesme kuvveti ölçümleri için kesme, mikro sertlik testleri ve mikro yapı muayene testleri yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu kaynak akımı ve sac kalınlığındaki artışın kesme kuvvetinde artmaya, elektrot kuvveti, sıkma süresi ve kaynak sresindeki artışın ise kesme kuvvetinde azalmaya yol açtığı görülmüştür. Genel olarak kaynak akımının ve numune kalınlığının artması kesme kuvvetinde bir artışa neden olurken, aynı zamanda elektrot kuvveti, sıkıştırma süresi ve kaynak sresindeki artış sırasında kesme kuvvetinde azalma meydana gelmiştir

Plaineab ve ark. (2015), çalışmalarında sürtünme punta kaynağı parametrelerinin optimizasyonu konusunu incelemişlerdir. Bindirme kesme dayanımı üzerindeki takım

dönme hızı, eklem kayma direnci ve bekleme süresi faktörlerinin etkisi, tam faktörlü deney tasarımı ve ANOVA kullanılarak araştırılmıştır. Takım dönme hızı, eklem kayma direnci üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametredir. Bu veriyi bekleme süresi parametresinin izlediği tespit edilmiştir. YYY deneysel sonuçlarına dayanarak, ikinci dereceden bir polinom fonksiyonu kullanılarak, bindirme kesme mukavemetini tahmin etmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Rostamiyana ve ark. (2015), çalışmalarında sürtünme karıştırma kaynak kalitesini iyileştirmek için parametreleri incelemiştir. Titreşim, dönme hızı, dalma derinliği ve bekleme zamanı işlem faktörlerinin bindirme kesme kuvveti üzerindeki etkisini sistematik olarak analiz etmek için, Taguchi deney tasarımından L_{18} ortogonal dizisi geliştirilmiştir. Sonuçlar titreşim faktörünün, bindirme kesme kuvveti ve sertliği üzerinde olumlu etkiye sahip önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Titreşimin yanı sıra takım dönme hızı, bekleme süresi ve dalma derinliği de mekanik özellikleri önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. İşlem faktörleri olarak titreşim, 1200 rpm takım dönme hızı, 6 mm dalma derinliği ve 6 sn bekleme süresi seçimlerinin uygulanmasının maksimum bindirme kesme kuvvetini garanti ettiğini göstermiştir.

Bıyık ve ark. (2016), projeksiyon kaynağında kaynak civatalarının kaynaklanmasında oluşan kaynak çapağının iyileştirilmesi için proses faktör değerlerinin optimizasyonuna çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada çok amaçlı optimizasyon yöntemleri, çoklu doğrusal regresyon analizi, ANOVA ve Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Faktör olarak; kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti, delik çapı, sac kalınlığı, sac malzeme tipi, kaynak civatası kaplama durumu, kabartı yayı izdüşüm uzunluğu, kabartı taban genişliği, kabartı yüksekliği kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kaynak fişkırmaya ve çapaklanma endeksi (E) ile kopma kuvveti (F_k) optimize edilmiştir. Çalışma sonucunda kaynak akımı, kuvvet, kabartı yüksekliği ve süre faktörünün diğer parametrelere göre yanıt üzerinde daha çok etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bilici ve ark. (2016), sac levhaların sürtünme karıştırma spot kaynağı metodu ile kaynaklanması esnasında oluşan kopma problemlerinin Taguchi analizi ile incelemelerine yer vermişlerdir. Faktör parametresi olarak takım dönme hızı, takım bekleme süresi, takım dalma derinliği ve takım eğim açısı alınmıştır. Yanıt değeri için çekme makaslama deneyi yapılmıştır. Kaynak faktör değerlerinin kopma mukavemet değerine olan etkisi çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda set edilen faktör parametreleri takım dönme hızı: 1500 rpm, takım

bekleme süresi: 10 sn, takım dalma derinliği: 2,45 mm, takım eğim açısı: 3 derece olarak belirlenmiştir. Yanıt değeri olarak belirlenmiş olan kopma mukavemeti değeri %42 değerinde artış göstermiştir.

Çelik ve ark. (2016), sürtünme kaynağı parametre değerlerinin tahminlenmesi konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada YYY kullanılmıştır. Çekme dayanımını ve maksimum sıcaklığı tahmin etmek için sürtünme zamanı, sürtünme basıncı ve yığılma basıncı faktör olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklık değeri ile yığılma basıncının az ilişkisi olduğunu, sürtünme basıncı ve süresinin sıcaklık yanıt değerine önemli ölçüde etkilediğini, sürtünme zamanı ve yığılma basıncının birlikte çekme dayanımını etkilediğini tespit etmişlerdir. Çekme dayanımında %5,8 bir artış gözlenmiştir.

Nasir ve Khan (2016), çalışmalarında kaynak kalitesi üzerinde etkili olan parametreleri incelemiştir. Bu parametreler kaynak akımı, kaynak zamanı, elektrot gücü, malzeme yapısı, elektrot yapısı ve malzeme yüzeyidir.

Pashazadeh ve ark. (2016), otomotiv endüstrisinde oldukça sık kullanılan direnç punta kaynağı işlemini incelemiştir. Tam faktörlü deney tasarım metodu kullanılarak kaynak külçesi boyutlarında kaynak süresi, kaynak akımı ve kaynak basıncını içeren üç kaynak parametresi belirlenmiştir. Daha sonra YSA ve çok amaçlı genetik algoritma (GA)'nın hibrit kombinasyonu kullanılarak parametrelerin optimize edilmiş değerleri belirlenmiştir. Son olarak, elektrot ucu sarma işleminden önce uygulanması gereken kaynak noktalarının kabul edilebilir sayısını tahmin etmek için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yue ve ark. (2016), direnç punta kaynağı için optimum parametrelerin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 0,05 mm kalınlığındaki ince folyolar direnç punta kaynağı ile kaynaklanmıştır. Faktör değişkenleri kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak zamanı alınmıştır. Yanıt değişkenleri kesme kuvveti, absorpsiyon enerjisi, kesme kuvveti varyansı ve absorpsiyon enerjisi varyansıdır. Faktörler ve yanıt değişkeni arasında regresyon denklemlerinin oluşturulmasında Box-Behnken tasarımına dayalı YYY modeli kullanılmıştır.

İş (2017), otomobil fabrikası kaporta departmanında kaynak parametre çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada faktöriyel regresyon analizi incelemesi yapılarak, deney tasarımı tekniği kullanılmıştır. Faktör parametresi olarak akım, basınç, sıkma, kaynama

süresi, dövme, soğuma, darbe, punta sayısı alınmıştır. Yanıt değişkeni olarak çekirdek çapı optimizasyonu hedeflenmiştir. Yapılan bu çalışma ile punta başına %31'lik bir enerji kazanımı oluşmuştur.

Uzun ve ark. (2017), Taguchi yöntemi kullanarak çeliklerin kaynaklanmasında sürtünme kaynağı faktör değerlerini optimize etmek üzere çalışma gerçekleştirmişlerdir. Faktör parametresi olarak yığma basıncı ve sürtünme devri alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre sürtünme devri: 1500 rpm ve yığma basıncı: 6 MPa istenen yanıt değerlerini sağlayan faktör parametreleri olarak belirlenmiştir. Birleşimi yapılan çeliklerin bağlantı noktalarının mekanik anlamda yapılarını tespit etmek için çekme testi ve mikro sertlik ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Deneyler sonucunda en optimum sürtünme devri ve yığma basıncı değerine ulaşılmıştır.

Bilici ve ark. (2018), sürtünme karıştırma nokta kaynağında yapılan çalışmalarında alet dönme hızı, alet dalması derinliği, takım dalma süresi ve kaynak takımının farklı ısı transfer katsayıları incelenmiştir. ANOVA yöntemi kullanılarak en büyük en iyi kalite kontrol sistematüğinden yararlanılmıştır. Deneyler Taguchi'nin L₁₆ ortogonal dizisi kullanılarak düzenlenmiştir. Kaynak aletinin ısı transfer katsayısı ve alet dönme hızı yüksek yoğunluklu polietilenin kaynak mukavemeti üzerinde çok etkili ve önemli olarak görülmüştür. İlk kaynak parametrelerinden optimal kaynağa kadar kaynak mukavemetindeki gelişme yaklaşık %22 bulunmuştur.

Emre (2018), nokta direnç metodu ile kaynaklanmış olan çeliklerin kaynak dayanımı yanıt değeri konusunda yaptıkları çalışmada, Taguchi metodunun L₉ ortogonal dizini kullanılarak kaynak çekirdek çapının ve çekme makaslama dayanımının optimum seviyede olması hedeflenmiştir. Faktör parametreleri kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Yapılan deneyler neticesinde, en optimum mukavemet ve kaynak çekirdeği kalitesini veren en iyi kaynak faktör değerleri tespit edilmiştir. Bu faktör değerlerinden kaynak akımı için 7 kA ve kaynak zamanı için ise 20 çevrim sonucuna ulaşılmıştır. Önem derecesine bakıldığında çekme makaslama dayanımı yanıtı için en etkili ve en önemli kaynak faktör değeri kaynak akımı olarak tespit edilmiştir. Diğer bir yanıt olan kaynak çekirdek çapı için en önemli ve etkili parametrenin kaynak zamanı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kapucuoğlu ve ark. (2018), otomotiv endüstrisinde kullanılan çeliklerin kaynak parametrelerinin optimizasyonu konusuna çalışmışlardır. Faktör parametreleri kaynak akımı

ve kaynak süresidir. Çeliklerin optimum kaynak çekme testinde elde edilen kuvvet, faktörlerin 7 kA ve 300 ms olduğu durumda oluşmuştur. Tahribatlı kontrol sonucunda numunenin kaynak çekirdek çapı 6,595 mm olarak ölçülmüştür. Diğer çelik türü için ise, çekme testinde oluşan kuvveti 12,65 kN olarak, faktörlerin 9 kA ve 250 ms olduğu durumda oluşmuştur. Tahribatlı kontrol sonucunda numunenin kaynak çekirdek çapı 6,325 mm olarak ölçülmüştür.

Özcan ve ark. (2018), çalışmalarında çelik sac parçaların kaynaklanabilirliğinin ve spot kaynak prosesi faktör değişkenlerinin optimum seviyelerinin belirlenmesi konusunda deneyler gerçekleştirmişlerdir. Robot direnç spot kaynak metodunun optimum faktör değerlerini tespit edebilmek için 6 parametre ve bu 6 parametrenin 3 seviyesi ile Taguchi metodunun L_{27} dizini yardımı ile deneyler oluşturulmuştur. Belirlenen faktör değerleri basınç, akım-1, süre-1, akım-2, süre-2 ve tutma zamanı olmuştur. L_{27} dizinine göre 27 adet deney yapılmıştır. Parametrelerin kaynak çapına etkilerini belirlemek için %95 ($\alpha=0,05$) güven aralığında ANOVA çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda tutma zamanı haricindeki diğer faktör değerlerinin kaynak çapı yanıtı üzerinde etkili olduğunun sonucuna varılmıştır. Hedef için amaç fonksiyonu “en büyük en iyi” hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda hedeflenen değere uygun en optimum sonucu veren parametrelerin kombinasyonu belirlenmiştir.

Özgül ve Arslan (2018), elektrik direnç kaynak prosesinde optimum kaynak mukavemeti yanıt değerini elde etmek için prosesin faktör değerlerinin yanıt üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu inceleme esnasında bir deney tasarımı çalışması gerçekleştirilmiştir. Faktör değerleri akım, kaynak süresi ve sıkıştırma yükü olarak belirlenmiş ve deneyler bu faktörler üzerinde yapılmıştır. Yanıt parametresi olarak çekme mukavemeti, çekme uzaması ve çekirdek çapı değerlerini incelemiştir. Deneyler sonucunda belirlenen faktör değerleri ve seviyeleri ile en iyi kaynak mukavemeti değerine ulaşılmıştır. En iyi yanıtı sağlayan optimum faktör parametreleri ise sırası ile kaynak akımı 14 kA, 4 çevrim kaynak çevrimi ve kaynak yükü 180 kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere göre ayarlanan proses parametreleri ile optimum yanıt değeri 1483 N elde edilmiştir.

Richmire ve ark. (2018), sürtünmeli karıştırma kaynağındaki sertlik değişimleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Aletin dönme hızı (rpm) ve enine hız (mm/dk) faktörlerinin, karıştırılan bölgenin gücünü yani sertlik dağılımını etkilediği düşünülerek bu 2 faktör olarak kabul edilmiştir. Takım dönüş hızı (635, 1200 ve 1530 rpm) ve enine hız (48, 220 ve 422

mm/dk) olarak 3 seviye kabul edilmiştir. Bu faktörler için 32 deney dizayn edilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda ana etkilerle uyumlu olarak her 2 faktör de en düşük ayarda olduğunda yanıt olarak belirlenen sertlik değerinin en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.

Tutar ve ark. (2018), punta kaynak yöntemi ile birleştirilmiş çeliklerde kaynak prosesi faktörlerinin optimize edilmesi için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu incelemede, kaynaklanmış olan çeliklerdeki kaynak mukavemet yanıt değerini en büyük yapacak olan faktör değerlerindeki optimizasyonu Taguchi metodu ile sağlamaya çalışılmıştır. S/N (sinyal/ gürültü) analizi sonucunda, faktörün yanıt üzerindeki önem etki derecesinin sırasıyla kaynak akımı, elektrot baskı kuvveti ve kaynak zamanı şeklinde olduğu tespit edilmiştir. S/N değerini en büyük yapan faktör kombinasyonu ise akım: 12 kA, zaman: 300 ms, elektrot baskı kuvveti: 3000 N bulunmuştur. Kaynak parametrelerinin katkı oranlarını belirlemek amacıyla ANOVA metodu uygulanmıştır. Çalışmada çekme testi sonrasında kaynaklı numunelerin kırılma yüzeyleri incelenmiş, ortalama kopma kuvveti en iyilenerek kaynak mukavemeti maksimize edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kaynak mukavemeti yanıt değerini arttıran faktörlerin kaynak akımı ve elektrot baskı kuvveti olduğu tespit edilmiştir. Fakat, yapılan deneylerin analizleri sonucunda kaynak zamanlarının yüksek olduğu deneylerde kaynak mukavemeti yanıt değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Demir (2019), termoplastik malzemenin kaynaklanması ve ultrasonik kaynağın faktörlerinin optimizasyonu konusunda çalışma gerçekleştirmiştir. Faktör parametresi olarak basınç, genlik, kaynak süresi, bekleme süresi alınmıştır. Çekme testi deneylerinden sonra en iyi sonucu veren kaynak faktörü belirlenmiştir. Kaynak makinesi için değerler basınç: 4 bar, genlik oranı: %100, kaynak süresi: 1 sn, bekleme süresi: 1,5 sn olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen faktör kombinasyonları ile en iyi kaynak kalitesi seviyesine ulaşılmıştır.

Selova (2019), elektrik direnç nokta kaynak birleşiminde kaynak parametrelerinin incelenmesine çalışmıştır. Faktör olarak kaynak süresi, kaynak akımı ve elektrot baskı kuvveti alınmıştır. İncelenmek ve iyileştirilmek istenen yanıtlar çekme dayanım değeri, çekme uzaması, çekirdek çapı ve kaynağın çökme miktarıdır. Deneyler sonucunda optimize edilmek istenen yanıtların, birden fazla parametreye bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir.

Yıldırım ve ark. (2019), nokta direnç kaynak yöntemi ile kaynağı yapılan titanyum levha parçaların çekme makaslama dayanım değerlerinin iyileştirilmesi konusu ele alınmıştır. Bu çalışmada Taguchi metodundan faydalanmışlardır. Faktör parametresi olarak elektrot kuvveti, akım ve kaynak süresi alınmıştır. Yanıt olarak çekme makaslama dayanımı değerinin optimize edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilmek istenen en büyük çekme-makaslama dayanımı yanıtı için belirlenen optimum faktör kombinasyonu, elektrot kuvveti 6 kN, akım 7 kA ve kaynak süresi 30 çevrim olduğu durumda oluşmuştur. Makinede uygulanan deneylerin sonuçlarına göre bulunan en büyük yanıt ise 12,713 N olduğu tespit edilmiştir.

Zhao ve ark. (2021), direnç punta kaynak işlemi parametrelerini incelemişlerdir. Deney tasarımı metoduna dayalı olarak oluşturulan testler, nokta kaynaklı titanyum alaşımlı levhalar için üç seviyeli faktör parametresi ile gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda kaynak akımının kaynak kalitesini etkileyen en önemli parametre olduğu ve ardından kaynak süresinin geldiği belirlenmiştir.

Karaoğlan ve Kapçak (2022), punta kaynak prosesinde yaşanan somun kopması problemi için Taguchi L₂₇ ortogonal dizisi kullanarak deneyler tasarlamışlardır. Deneyler için faktörler kaynak akımı, kaynak basıncı, kaynak süresi ve yaklaşma olarak belirlenmiştir. Yanıt olarak somun kopma tork değeri optimize edilmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda faktörler kaynaklı yaşanan somun kopma problemi ortadan kaldırılmıştır. Bu durum kaynaklı yaşanan yeniden işlem, taşıma, bekleme, verimsizlik kayıpları elemine edilmiştir.

Literatür araştırmalarına ait özet Tablo 2.1’de verilmiştir

Tablo 2.1: Literatür taraması özet.

Yazar	Yil	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Darwish ve Al-Dekhial	1999	Punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	YYY	Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti, sac kalınlığı	Alüminyum levhaların mukavemeti
Park ve ark.	2002	Punta kaynağı parametrelerinin optimizasyonu	YYY	Kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak kuvveti	Kesme mukavemeti ve girintisi
Yavuz ve ark.	2005	Tozaltı kaynak bağlantısının termal ve mekanik analizi	Sonlu ekipmanlar yöntemi	Düz çekme numune verileri	Kaynak mukavemeti
Cho ve ark.	2006	Direnç punta kaynak parametrelerin tahminlenmesi	Deney tasarımı	Kaynak akımı, kaynak döngü zamanı, elektrot kuvveti, elektrot boyutu, uyum fit değeri, eksen kaçıklık ve eksen açısı hizalama	Kaynak düğme boyutu (çap) ve kaynak lobu
Eşme ve ark.	2006	Gaz altı ark kaynak dayanımının optimizasyonu	Taguchi	Kaynak hızı, kaynak akımı, gaz akış hızı ve sıçrama boşluğu	Çekme dayanımı
Tseng	2006	En düşük maliyet ile kaynak kalitesinin elde edilmesi	Regresyon sinir ağı	Kaynak akımı, elektrot kuvveti, kaynak süresi ve sac kalınlığı	Kaynak kalitesi
Lin ve ark.	2007	Spot kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi ve YSA	Elektrot boyutu, elektrot kuvveti, kaynak akımı, kaynak süresi	Çekme mukavemeti
Ünlükal	2007	Otomotiv sektöründeki kaynak uygulamaları	Deney tasarımı	Elektrot ucu soğutma suyu, kaynak akımı	Çekirdek çapı
Şahin	2008	Gazaltı kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akımı, gerilim ve kaynak ilerleme hızı	Çekme mukavemeti
Thakur Nanded kar	2010	Punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Kaynak basıncı, kaynak akımı ve kaynak süresi	Kaynak kalitesi
Thakur ve ark.	2010	Galvanizli çeliklerde punta kaynak faktörlerinin optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot çapı, elektrot kuvveti	Çekme-kesme mukavemeti

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yil	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Aytekin	2011	Gazaltı kaynak prosesinde nüfuziyet problemi	Taguchi	Kaynak akımı, kaynak hızı, tel kalınlığı, zigzag boyu, gaz karışımı	Penetrasyon değeri
Bilici ve ark.	2012	Sürtünmeli karıştırma noktası kaynağının deneysel sonuçları	Taguchi	Takım dönme hızı, dalma derinliği ve bekleme süresi	Kaynak mukavemeti
Campanelli ve ark.	2012	Sürtünme nokta kaynağı parametre optimizasyonu	Taguchi	Dönme hızı, dalma derinliği ve bekleme süresi	Bindirme kesme mukavemeti
Muhammad ve ark.	2012	Kaynak kalitesini optimize etmek için faktörlerin iyileştirilmesi	Çok amaçlı Taguchi	Kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi	Kaynak külçesi
Muhammad ve Manurung	2012	Punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	YYY	Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti ve tutma süresi	Kaynak yarıçapı
Muhammad ve ark.	2012	Direnç punta kaynak kalitesinin iyileştirilmesi	Taguchi ve YYY	Kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi	Kaynak külçesi
Singh ve ark.	2012	Östenitik paslanmaz çelik kaynak optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akımı, kaynak döngüsü, tutma ve soğuma döngüsü	Külçe boyutu, çekme dayanımı ve penetrasyon değeri
Hron ve Macák	2013	Gıda ambalajı kaynak dayanımı için faktör optimizasyonu	Deney tasarımı	Kaynak sıcaklığı, operasyon süresi, kaynak basıncı	Kaynak dayanımı
Pandey ve ark.	2013	Direnç punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akımı, temas direnci ve kaynak süresi	Gerilme direnci
Pieta ve ark.	2013	Punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Dönme hızı, kaynak süresi ve dalma derinliği	Kesme dayanımı
Prashanthku mar ve ark.	2014	Punta kaynağı faktör değerlerinin belirlenmesi	Faktöriyel deney tasarımı	Kaynak akımı ve kaynak süresi	Kaynak kalitesi

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yil	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Raut ve Achwal	2014	Punta kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi	Gerilim gücü
Utkarsh ve ark.	2014	MIG kaynağın incelenmesi	Deney tasarımı	Akım, voltaj, hız ve gaz akış oranı	Gerilme direnci
Hussein ve Barrak	2015	Punta kaynak parametrelerinin incelenmesi	Taguchi	Kaynak akımı, elektrot kuvveti, sıkma süresi ve kaynak süresi	Kesme kuvveti
Plaineab ve ark.	2015	Sürtünme punta kaynağı parametrelerinin optimizasyonu	Tam faktörlü deney tasarımı	Takım dönme hızı, eklem kayma direnci ve bekleme süresi	Eklem kayma direnci
Rostamiyan a ve ark.	2015	Sürtünme karıştırma kaynak proses parametrelerinin incelenmesi	Taguchi	Titreşim, dönme hızı, dalma derinliği ve bekleme süresi	Bindirme kesme kuvveti
Bıyık ve ark.	2016	Projeksiyon kaynakta çapaklanmanın azaltılmasına yönelik proses parametrelerinin belirlenmesi	Çoklu doğrusal regresyon analizi, ANOVA ve Taguchi	Kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti, delik çapı, sac kalınlığı, kaynak civatası kaplaması, kabartı yayı izdüşüm uzunluğu, yüksekliği, taban genişliği,	Kaynak fişkırma ve çapaklanma endeksi, kopma kuvveti
Bilici ve ark.	2016	Sürtünme karıştırma spot kaynak tekniği ile birleştirilen alüminyum alaşımlı sac levhaların kaynak analizi	Taguchi	Dönme hızı, bekleme süresi, dalma derinlik ve eğim açısı	Kopma mukavemeti
Çelik ve ark.	2016	Sürtünme kaynağı parametre değerlerinin tahminlenmesi	YYY	Sürtünme zamanı, sürtünme basıncı ve yığılma basıncı	Çekme dayanımı, sıcaklık

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yil	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Nasir ve Khan	2016	Kaynak kalitesi üzerinde etkili olan parametrelerin incelenmesi	Tahribatlı ve tahribatsız test	Kaynak akımı, kaynak zamanı, elektrot gücü, malzeme yapısı ve elektrot yapısı	Kaynak kalitesi
Pashazadeh ve ark	2016	Direnç nokta kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu	Tam faktöriyel YSA ve GA	Kaynak süresi, kaynak akım ve kaynak basıncı	Kaynak noktalarının sayısı
Yue ve ark.	2016	Küçük ölçekli direnç punta kaynağı optimum parametrelerin belirlenmesi	YYY	Kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak zamanı	Kesme kuvveti, absorpsiyon enerjisi varyansı, kesme kuvveti varyansı
İş	2017	Kaynak parametre çalışması	Faktöriyel deney tasarımı	Kaynak akımı, kaynak basıncı, sıkma süresi, kaynama süresi, dövme, soğuma, darbe, punta sayısı	Çekirdek çapı
Uzun ve ark.	2017	Kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Yığılma basıncı, sürtünme devri	Kaynak dayanımı
Bilici ve ark.	2018	Karıştırma nokta kaynağında parametrelerin optimizasyonu	Taguchi	Alet dönme hızı, alet dalma derinliği, alet dalma süresi	Kaynak mukavemeti
Emre	2018	Nokta direnç kaynaklı çeliklerin dayanım optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akımı ve kaynak zamanı	Çekme makaslama dayanımı ve çekirdek çapı
Kapucuoğlu ve ark.	2018	Kaynak parametrelerinin optimizasyonu	Çekirdek çap, ve sertlik ölçümleri	Kaynak akımı ve kaynak süresi	Kaynak çekirdek çapı
Özcan ve ark.	2018	Sac parçaların kaynak faktörlerinin optimizasyonu	Taguchi	Basınç değeri, akım-1, süre-1, akım-2, süre-2 ve tutma zamanı	Kaynak çekirdek çapı

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yil	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Özgül ve Arslan	2018	Elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi	Çekme deneyi	Kaynak akımı, kaynak süresi ve sıkıştırma yükü	Çekme mukavemeti, çekme uzaması ve çekirdek çapı
Richmire ve ark.	2018	Sürtünmeli karıştırma kaynağı sertliği incelemesi	Taguchi	Aletin dönme hızı ve enine hız	Sertlik değişimi
Tutar ve ark.	2018	Çeliklerde elektrik direnç kaynak prosesi faktörlerinin optimizasyonu	Taguchi	Kaynak akım, kaynak zamanı, elektrot baskı kuvveti	Kaynak mukavemeti
Demir	2019	Termoplastik parçaların ultrasonik kaynak faktörlerinin optimizasyonu	Çekme testi	Basınç, genlik, kaynak süresi, bekleme süresi	Optimum kaynak parametreleri
Selova	2019	Elektrik direnç nokta kaynak parametrelerinin incelenmesi	Ultrasonik inceleme, çekme ve sertlik deneyi	Kaynak süresi, kaynak akımı ve elektrot baskı kuvveti	Çekme dayanımı, çekirdek çapı, çökme miktarı
Yıldırım ve ark.	2019	Direnç kaynağı çekme makaslama dayanımı en iyilenmesi	Taguchi	Elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi	Çekme makaslama dayanımı
Zhao ve ark.	2021	Direnç punta kaynak parametrelerinin incelenmesi	Merkezi kompozit deney tasarımı	Kaynak akımı, kaynak süresi	Kaynak kalitesi
Karaoğlan ve Kapçak	2022	Punta kaynak prosesinde puntaların kaynak noktasından kopması (<i>Bu tez çalışmasından üretilen yayın</i>)	Taguchi	Kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak basıncı, yaklaşma	Somun kopma tork değeri

Kaynak yöntemlerinden biri olan punta (kimi kaynaklarda projeksiyon olarak isimlendirilmiştir) kaynak için literatür araştırmalarında faktör parametresi olarak kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti, sac kalınlığı, döngü zamanı, elektrot ucu boyutu, uyum fit değeri, eksen kaçıklık açısı, elektrot çapı, tutma süresi, temas direnci, dönme hızı, dalma derinliği, takım dönme hızı, eklem kayma direnci, bekleme süresi, sac malzeme tipi, civata kaplaması, kabartı yayı izdüşüm uzunluğu, kabartı taban genişliği, kabartı yüksekliği, kaynak döngüsü, sıkıştırma yükü faktörleri çalışmalara dahil edilmiştir. İyileştirilmesi ve incelenmesi gereken yanıt olarak levha mukavemeti, çap boyutu, çekme-kesme mukavemeti, çekme uzaması, gerilme direnci, gerilim gücü, kopma kuvveti, eklem kayma direnci, fişkırma ve çapaklanma endeksi, çekme makaslama dayanımı belirlenmiştir. İlgili tez çalışmasında literatürdeki faktör parametreleri, yanıtlar ve çözüm yöntemleri incelemelerinden alınan bilgilerden yararlanılarak, kaynakhane bölümünde kalite probleminin yaşandığı makine bölgesinde malzeme ve makine incelemesi gerçekteştirilerek kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak basıncı, yaklaşma kombinasyonlarının 3'lü seviyeleri ile deney tasarlanarak somun kaynağı kopma tork değeri en büyüklenmesi hedeflenmiştir. Literatürde yayınlanan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bu tez çalışması kapsamında ele alınan parametreler, parametrelerin seviyelerinin kombinasyonları ile iyileştirilmesi hedeflenen yanıt değeri birlikte dikkate alan benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Kısa Tarihçesi

Deney tasarımı 1920'li yıllarda, Londra'da bulunan Rothamsted Tarım Bölgesi Araştırma Merkezi'nde Ronald Aymler Fisher isimli istatistikçi ve bilim adamı tarafından gübreler üzerinde yapılan çalışma ile başlatılmıştır. İlk etapta farklı alanlarda bulunan topraklar üzerinde farklı gübre türlerinin nasıl bir etki oluşturduğu ile ilgili araştırmalara başlanmıştır. Söz konusu analiz çalışmasında faktör değeri bazında yalnızca gübre türünün etkili olmadığı, bununla birlikte toprağın içinde bulunan nem ve topraktaki bakteri türü faktörlerinin de yanıt üzerinde önemli derecede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ronald Aymler Fisher bu çalışmada deney tasarımı kavramını kullanarak biyoloji alanı da dahil olmak üzere tarım alanında yapılan deney tasarımı çalışmalarında liderlik üstlenmiştir (Montgomery, 2008).

Deney, bir sistemin gözlem yapılmak istenen bir özelliği ile ilgili detayları ve bu özelliğin farklı kombinasyonlarını analiz etmek üzere ilgili başlıktaki verileri toplayıp, sonrasında bu verilerden yanıt üzerinde anlamlı olan bir sonuç elde etmek için verilerin farklı kombinasyonları ile gözlem yapılması işlemidir. Deneyin araştırmacısı tarafından elde edilmek istenen yanıt değerinin üzerinde anlamlı bir etkisi olan ve nicel veya nitel olarak ölçülebilen faktörler belirlenir. Deney tasarımı kavramı, ürün veya hizmet üretme sisteminde, faktörlerin farklı seviyelerinde kontrollü şekilde değişikliklerin sağlanarak, bu değişikliklerin yanıt üzerindeki etkisinin ve bu etkinin boyutunun incelenip, deneyleri yapan araştırmacı tarafından bu etki hakkında verilerin toplanması ve analiz yapılması sürecidir (Giesbrecht ve Gumpertz, 2004).

İkinci dünya savaşının sonlarına doğru, Japon telefon sistemi projesi geliştirilmiştir. Projenin amacı Japonya'ya Amerika'da bulunan Bell laboratuvarlarındaki telefon sisteminin benzerinin kurulması üzerinedir. Nippon telefon ve telgraf araştırma birimi, Bell laboratuvarlarının yaklaşık %2'si büyüklüğünde olduğundan, projenin devamlılığı gereğince gereken kaynaklar düşünüldüğünde bu projenin nihai hale getirilebilmesi için 20 sene termin öngörülmektedir. Genichi Taguchi, tahminlenen bu proje terminini kısaltmayı hedefleyerek, araştırmacı için yöntemlerin standartlaştırılmasını ve deney tasarımı metotlarından faktöriyel tasarımın kullanılmasını önermiştir. Bu yöntem sayesinde proje 20 yıldan çok daha kısa bir süre olan 4 yılda tamamlanmış ve Taguchi bu alanda adını duyurmuştur (Şirvancı, 1997).

Kontrollü ve planlı şekilde kurgulanan deney verilerinin matematiksel olarak modellenmesi yöntemi ile, normal şartlarda çok fazla sayıda deneye tabi tutularak oluşturulan analizler için az sayıda deney tasarlanması ve modele dahil edilmeyen deneyler hakkında da istatistiksel tahminleme yöntemi ile optimum sonuçlar elde edilmesi deney tasarımı metodolojisinin araştırmalara kazandırdığı bir fırsat olarak çalışmalara dahil edilmiştir.

3.2 Deney Tasarımının Temel İlkeleri

İngiliz bilim adamı ve istatistikçi Ronald Aymler Fisher liderliğinde ortaya atılan ve çalışmalara öncülük edilen deney tasarımı metodunda tekrarlama, rassallık ve bloklama olmak üzere üç temel prensip yer almaktadır. Bu kavramların kontrollü şekilde, yaklaşım tarzı olarak bilimsel bir formatta oluşturulan plan kapsamında kurgulanması gerekmektedir. İstatistiksel olarak yorumlanabilecek veriler toplanıp, öznel olmayan ve geçerli kabul edilen sonuçlar istatistiksel yaklaşımlarla elde edilir (Aytekin, 2010).

Deney hatalarının minimum seviyeye indirgenip, deney yanıtlarının istenilen sonuçları oluşturabilmesi, deneyi tasarlarırken en temel amaçlardan biri olmalıdır. Bu hedefe rassallık yöntemi ile ulaşılmaya çalışılır. Rastgeleleştirme yani rassallık, deney tasarımına dahil edilmeyen ama deney yanıtlarına etki edebilecek olan gürültü faktörlerinin etkisini tüm sonuçlara eşit şekilde dağıtabilmek ve bu doğrultuda yanıt analizlerinin deneye tabi tutulamayan değişkenler için de yorumlanabilmesini sağlamak amacı için uygulanmaktadır (Mutluk ve ark., 2009).

Rassallık prensibi, deney tasarlanırken ve uygulanırken deney şartlarının sabit bir metodolojiye bağlı olmadan deneylerin rassal olarak kurgulanmasını ve uygulanmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. Bir diğer amacı ise deneylerin sabit bir sırada uygulanması kaynaklı oluşabilecek insana, makineye, malzemeye, tasarıma veya metoda bağlı olarak gerçekleşebilen sistematik ve çevresel hataların oluşmasının önüne geçmektir. Öğrenilmiş düzenin oluşturabileceği eksik veya hatalı tahminlemeyi, rassallık kavramı ile yok etmek amaçlanmaktadır. Deney tasarlanırken oluşturulan deney tabloları herhangi bir sabit veri, düzen, sıra, standart bir içerik içermemesi durumu anlamlı istatistiksel yanıtlar elde etmek için önem taşımaktadır. Bu prensip gereği deneyin tasarlanmasından, verilerin toplanması ve sonrasında analiz edilmesi sürecine kadar olan tüm süreçlerde rassallık ilkesi benimsenmelidir (Antony, 2003).

Tekrarlama kavramı, tasarlanan deney kombinasyonlarının birden fazla kez uygulanması işlemidir. Tekrarlama prensibi sayesinde veri toplanması ve analiz yapılması kısmında dış etkenler kaynaklı oluşabilecek hataların yorumlanması ve analizlerde kök neden araştırmasına yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Deney üzerinde etkisi olan dış etmenlerin deneylere ve yanıtların yorumlanmasına olumsuz, anlamsız veya yanıltıcı etkisi hata olarak belirtilmektedir. Bu dış etmenlere ise gürültü faktörleri denmektedir. Kombinasyonların tekrarlanması yolu ile deneyde oluşabilecek gürültü faktörlerinin sebep olabileceği hataların fark edilebilmesi amaçlanmaktadır. Bir kümede uygulanan deney sayısı arttıkça, o kümedeki deney örneklerinin yanıt üzerindeki sapma derecesi de azalacağından deney yanıtları ve parametrelerin yorumlanması kısmında daha anlamlı sonuçlar tekrarlama kavramı sayesinde elde edilecektir (Antony, 2003).

Bir diğer kavram olan bloklama yöntemi, benzer deney bölümlerinin kendi içerisinde gruplara ayrılması ile faktörlerin arasındaki bağlantıyı kıyaslamada kullanılan bir metottur. Araştırmacı tarafından yanıt üzerinde dolaylı yönden ilgisi bulunan faktörler kaynaklı oluşabilecek değişkenliği minimize etmek veya birbirleri ve yanıt ile ilgisiz parametreleri yok etmek için kullanılır. Tasarlanmış olan deney yanıtlarındaki değişkenlik, tüm grupların içindeki parametre ve bunların seviyelerinin etkisinin farklılığı bilgisini vermektedir. Bu yöntemle kontrol dışı olan değişkenlerin etkisinin minimum seviyede olması hedeflenmektedir. Faktör parametreleri ve bu parametrelerin seviyelerinde her bloktaki bölgelere rastgele olarak atama yapılır. Bloklar benzer bilgileri içerdiğinden, benzer şartlarda var olan parametre ve seviyelerinin kıyaslanması olanağını sunmaktadır. Örnek vermek gerekirse; kaynak prosesi faktör parametrelerinin optimizasyonu amacı ile yapılan deneylerde birden fazla punta kaynak makinesi var ise her bir makineyi farklı blok olarak kabul edip deney tasarımları gerçekleştirilmelidir. Bloklama metodunda deneyler homojen bölgelere ayrılarak uygulanmalıdır. Bloklama metodunda belirlenen faktör parametreleri blok içerisinde konumlandırılarak yanıt üzerinde etkili olan diğer parametreler elenmiş olur. Böylece oluşabilecek deneysel hatanın en küçüklemesi amaçlanmaktadır (Montgomery, 2008; Şenoğlu ve ark., 2010).

3.3 Deney Tasarımında Kullanılan Temel Terimler

Bir prosesin işlevini yerine getirmesi için gerekli olan faktörlerin ne olduğu, bu faktörlerin proses yanıt değeri ve müşteri üzerindeki etkilerinin derecesi, her bir faktörün alabileceği değerler ve bunların aralıkları hakkında bilgilerin toplanması deney tasarımı çalışmasının

en temel ihtiyacıdır. Deney tasarımı çalışmasının deneyimli ve konu hakkında bilgi sahibi ekip birlikteliği ile yürütülmesi, deneyler esnasında veya öncesinde sağlam temelli bir planlama yapılmasında büyük katkı sağlayacaktır. Deney tasarımı çalışmasında yanıt üzerinde etkili olabilecek faktörlerin ve bu etkilerin derecelerinin belirlenmesi kısmında yalın üretim tekniklerinden olan beyin fırtınası metodolojisinden yararlanmak sistematik bir yaklaşımın başlangıç noktası olacaktır. Deney tasarımında sıkça kullanılan terimler; faktör, yanıt, seviye, etkileşim ve etkidir. Bu terimlerden faktör, bir prosesin girdisi olarak tanımlanabilir. Bu faktörler yanıt üzerinde etkili olan, sabit veya değiştirilebilen değerlerdir. Eğer bir faktörün değerlerini değiştirebiliyorsak bu faktörün yanıt üzerindeki olumlu veya olumsuz anlamda etkilerini analiz edebiliriz. Değişiklik yapabildiğimiz parametreler sayesinde, faktörün kendi içerisinde farklı seviyelerinde ve deneye alınan diğer faktörlerle kombinasyonlarının yanıt üzerindeki etkileri gözlemlenebilir. Değişiklik yapılamayan parametreler ise tasarım, makine, metot, müşteri veya çevresel koşullar kaynaklı müdahale edilemeyen sabit değerlerdir. Değiştirilebilen faktörler örnek olarak kaynak makinesi için, kaynak akımı değeri, makine voltaj değeridir. Çeşitli sebeplerle değiştirilmesi fiziken mümkün olmayan değişkenlere örnek vermek gerekirse ortam nemi, ortam sıcaklığı, iklim koşulları, müşteri talebi doğrultusunda oluşturulmuş olan emniyet kabini üzerindeki tasarımsal ürün ağacı bilgileridir. Yanıt, prosesten beklenen performans indikatörü, deneylerin yapılışı sonrasında ulaşılmaya çalışılan amaçlanan spesifikasyon değerleridir. Seviye, deneyler için beyin fırtınası yöntemi ile oluşturulan faktör parametrelerinin her birinin alabileceği değerleri ifade eder. Bu değerler deneyi yapan ekip tarafından ve makinenin müsaade ettiği parametre değerleri doğrultusunda belirlenebilir. Bir deneyde faktör seviyelerinin miktarı doğrultusunda deney tasarım yöntemi ve deney sayıları belirlenecektir. Belirlenen seviye sayısı deney sayısına doğrudan artı yönde etki oluşturmaktadır. Etki, faktör parametrelerinin ve bunların seviyelerinin yanıt üzerindeki anlamıdır. Deneye tabi tutulan değişkenlerin yanıt üzerindeki etkisinin en maksimum seviyede olması istenilen bir durumdur. Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisi ne kadar anlamlı ise sonucun optimuma yaklaşma derecesi bu doğrultuda artacaktır. Etkileşim, deneye tutulan faktör parametrelerinin deney setine göre ayarlanan kombinasyonlarının etkileşiminin yanıt üzerinde sonuç vermesidir. Bu faktörlerin birden fazla etkileşimi varsa o kadar anlamlı bir yanıt dizayn edilmesi hedeflenmektedir (Özden, 2020).

3.4 Yaygın Olarak Kullanılan Deney Tasarım Metotları

Bir sistemin faktör parametre değerlerinin farklı seviyelerinin, sürecin işletme tarafından performans indikatörü olarak belirlenen yanıt değerlerinin üzerindeki anlamının kontrollü ve planlı şekilde denenmesi; parametreler ve yanıt değişkenleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel matematiksel modeller ve çeşitli istatistiksel model programları yöntemleri ile modellenip optimizasyon sağlanması amacı ile deney tasarımı metotlarından faydalanılmaktadır. Deneylerin tasarımı ve optimizasyonu konusunda literatürde bulunan metotlardan yaygın olarak kullanılanlar; YYY, faktöriyel tasarım ve Taguchi metodudur. YYY lineer, karesel ve ikili etkileşim terimleri içeren ve ikinci derecede regresyon denklemleri kullanan, maksimum 10 adet faktör deneye dahil edip çözümler üretebilen istatistiksel bir modelleme ve optimizasyon yöntemidir. YYY'nde, faktör değişkenlerinin ara seviye değerleriyle beraber faktörlerin optimum değerleri hesaplanır. Bu yöntemde matematiksel model sunulur. Kurulan matematiksel modelde ikili kıyaslamalar mevcuttur. Bu yöntemde tüm faktör parametreleri sayısal ve faktörlerin seviyeleri birbirleri ile eşit olmalıdır ($-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$). Tüm yöntemler içerisinde en fazla sayıda deney bu yöntemde tasarlanmaktadır. Faktöriyel tasarım metodunda parametreler sözel (nitel-kesikli değişken) ya da sayısal (nicel-sürekli değişken) olabilme özelliğine sahiptir. Nicel faktörler için ara değerlerle birlikte optimum faktör değerleri oluşturulabilir. Nitel değişkenler için ise deneye dahil edilen parametrelerden yalnızca birini en iyi parametre seviyesi olarak verir. Burada faktör parametresi nitel olduğundan dolayı, deneylerde kullanılan faktör seviyesi dışında ara değer bulunmamakta ve böyle bir yanıt verilememektedir. YYY'nden farklı olarak bu metotta her bir faktör 2 seviyeli (-1 ve $+1$) olarak belirlenmelidir. Birinci derece denklemden oluşan matematiksel modelde lineer terimlerle birlikte değişken sayısı boyutunca etkileşim sayısı mevcuttur. Örneğin 4 adet faktör parametresi varsa, 2'li, 3'lü ve 4'lü etkileşim terimleri içerebilir. Faktöriyel tasarımda optimum değer bulduğu matematiksel model kurulur ve kurulan matematiksel modelde değişken sayısı kadar kıyaslama mevcuttur. Bu metot kullanılırken 15 adete kadar faktör deneye dahil edilebilir ve çözüm sağlanabilir. YYY'ne göre daha az sayıda deney istemektedir. Taguchi metodunda faktör parametreleri nitel ya da nicel olabilmektedir. Taguchi metot kendi içerisinde matematiksel model buldurmamakla birlikte S/N oranını (signal/noise – sinyal/gürültü – kontrol edilebilen değişkenlerin etkisi/kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisi) kullanarak optimuma yakın değerler vermektedir. Taguchi yönteminde 30 adete kadar faktör deneye dahil edilebilir ve çözüm sağlanabilir. Deneylere tabi tutulan parametre seviyelerinin arasından optimum faktör kombinasyonunu oluşturur, ara değer bulma durumu yoktur. Burada faktör seviyeleri

karma şekilde olabilir. Seviyeler eşit adette olabileceği gibi, farklı adetlerde de olabilir. Buradaki esneklik metodun tercih edilmesinin sebeplerinden biridir. Taguchi yöntemi yukarıda verilen yöntemlerin arasında en az adette deney tasarımları oluşturmaktadır. Taguchi metodunun bir diğer avantajı ise, maksimum S/N değerlerinin belirlenmesi yöntemiyle oluşturulan kontrol edilemeyen değişkenlerin yanıt üzerindeki etkisinin minimum, kontrol edilebilen değişkenlerin ise maksimum seviyede olduğu yanıtlar üretmesidir. Deney tasarımlarının açıklamalarına ait özet Tablo 3.1’de verilmiştir (Montgomery, 2013; Roy, 2001; Taguchi, 1993; Taguchi, 2004; Karaoğlan ve Kapçak 2022).

Tablo 3.1: Deney tasarımı yöntemleri özet tablo.

Yanıt Yüzey Yöntemi	Taguchi Yöntemi	Faktöriyel Tasarım Yöntemi
Matematiksel model mevcut	Matematiksel model mevcut değil	Matematiksel model mevcut
Lineer, karesel ve ikili etkileşim terimleri içeren regresyon denklemi vardır	İsteğe bağlı ikili etkileşimler eklenebilir	Lineer ve etkileşim terimleri içeren regresyon denklemi vardır
Regresyon denklemi 2. dereceye kadardır	Denklem bulunmamaktadır	Regresyon denklemi 1. dereceye kadardır
Minitab’da maksimum 10 adet deney tasarlanabilir	Minitab’da maksimum 30 adet deney tasarlanabilir	Minitab’da maksimum 15 adet deney tasarlanabilir
Faktörlerin ara seviye değerleri ile birlikte optimum değerleri hesaplar	Ara değer bulamaz, S/N oranlarına göre optimuma yakın en iyi faktör kombinasyonunu bulur	Nicel faktörler için ara değerler bulur, nitel faktörler için belirtilen değerlerden bulur
Faktörler sayısal olmalıdır	Faktörler sayısal veya sözel olabilir	Faktörler sayısal veya sözel olabilir
Faktörlerin her biri eşit seviyeli olmalıdır	Her faktör farklı seviye olabilir	Her faktör 2 seviyeli olmalıdır
Deney tasarımı çok sayıda deney içerir	Deney tasarımı az sayıda deney içerir	Deney tasarımı az sayıda deney içerir

Bu tez çalışmasında, yanıt değişkeni üzerinde çevresel gürültü faktörlerinin en az etkili olduğu robust proses elde edilmesi amaçlanmaktadır. Deneyler seri imalatın gerçekleştirildiği gerçek bir üretim sisteminde yapılmaktadır. Bu nedenle en az sayıda deneyle kısa sürede bitirilmesi önceliklidir. YYY, Taguchi ile kıyaslandığında çok sayıda

deney içermesi nedeniyle, deney maliyetlerini ve denemeler için ayrılacak toplam süreyi minimize etmek amacıyla Taguchi metodu seçilmiştir. Faktöriyel tasarım da az sayıda deney içerir ancak değişkenler iki seviyeli olmalıdır. Bu tez çalışmasında ele alınan faktörler üç seviyeli olduğundan, faktöriyel tasarım bu problem için uygun bir yöntem değildir.

3.5 Taguchi Yöntemi

Kalite bilincinde ve bakış açısında bulunan işletme yöneticileri müşteri beklentilerini en üst düzeyde karşılamak, fabrikaların verimliliklerini artırmak için kalite faktörünün yalnızca üretim prosesinde değil ürün ve proses tasarımı çalışmalarında da optimum sonuçlar verecek olarak plan oluşturulması gerektiğinin farkındadırlar. Bu bakış açısı ile kaliteyi iyileştirmek için çeşitli yöntemlerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda sanayi alanında gelişmiş organizasyonlar özellikle deney tasarım yöntemlerini tercih etmeye başlamışlardır. Fakat bu yöntemler zaman, kaynak ve maliyet açısından kısıt oluşturan çok fazla sayıda deney önermektedir. Taguchi bu darboğazı yok etmek, zaman, kaynak ve maliyet kaybını azaltmak için ortogonal dizi yöntemini geliştirmiştir. Ortogonal dizi yöntemi, tasarlanan deneylerde faktörlerin seviyelerini teker teker değiştirmek yerine, faktör seviyelerinin eş zamanlı olarak değişimini önermektedir. Taguchi, deneysel tasarımına temel yöntem açısından çok büyük bir yenilik getirmemesine rağmen, başarılı uygulamalar sonucu istenilen yanıtların elde edilmesini sergileyerek, deney tasarımı yönteminin üretim sektöründe kabul görmesine katkı sağlamıştır (Canıyılmaz, 2001).

Taguchi yönteminin temel hedefi; kontrol altında tutulabilen faktörlerin belirlenen değerlerde plan ve bütçe konusunda verimli sonuçlar vermesi, bunun yanı sıra kontrol edilemeyen değişkenlerin ve gürültü faktörlerinin tüm kombinasyonlarına duyarsız prosesler oluşturmaktır. Taguchi metodu; kalite iyileştirmede diğer yöntemlere kıyasla daha az sayıda deney ile güvenilir sonuç elde etme fırsatı sunmaktadır. Taguchi yönteminde, proses ve/veya ürünü optimize etmek için deneyler tasarlanıp gerçekleştirilir. Yapılan gözlemlerde kayıp fonksiyonunun en küçüklenmesi hedeflenir. Bu deneylerin sonrasında yapılan yanıt ölçümlerinde optimize ürün ya da proses tasarımının yanıtını veren değişken kombinasyonları saptanır. Proses faktör değişkenlerinin sayısı ve seviyesi arttığında, çok fazla sayıda ve karmaşıklıkta deney yapılması, diğer deney tasarımı yöntemlerinde gerekmektedir. Bu noktada Taguchi metodu, proses faktör parametrelerini en az adette deneyle gözlemlenmek üzere tercih edilmektedir (Montgomery, 1991; Şirvancı, 1997; Tesu,

2007). İlerleyen anlatımlarda Taguchi yönteminin felsefesi ve uygulama prosedürleri açıklanacaktır.

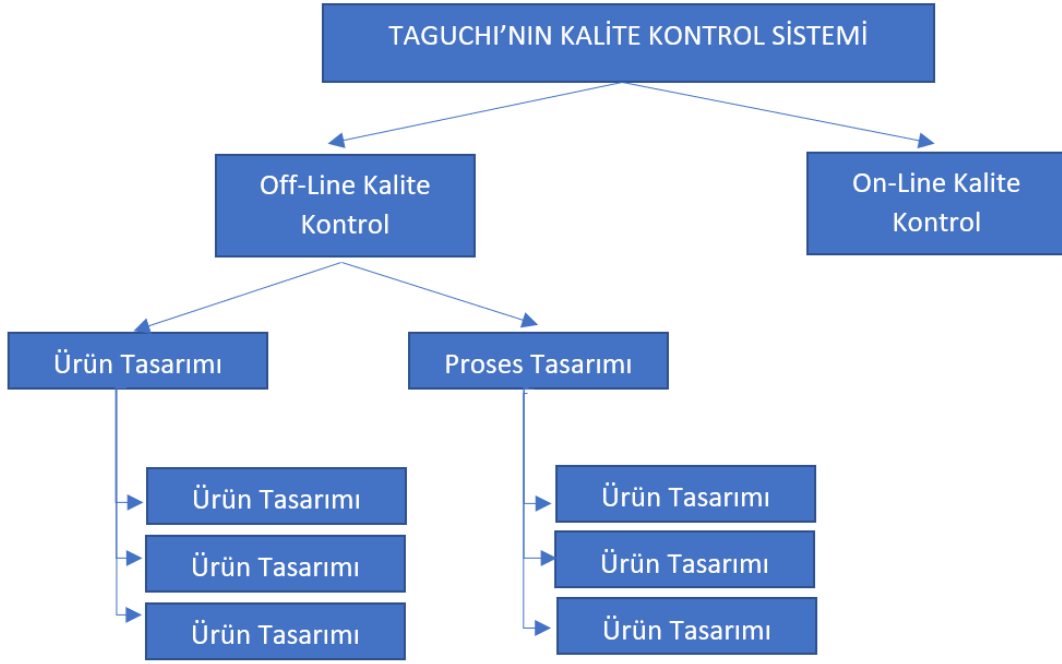
3.5.1 Taguchi Yöntemi Felsefesi

Taguchi yönteminin felsefesi aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir (Canıyılmaz, 2001):

1. Ürünün müşteri tarafında oluşturduğu kayıp, ürünün kalitesinin önemli bir göstergesidir.
2. İşletmelerin rekabetçi market piyasasında kalıcı konumda olabilmesi için kalitelerini sürekli olarak iyiye taşımaları ve bu doğrultuda ürün maliyetlerini azaltmaları zorunluluk arz etmektedir.
3. Ürünlerin hedef spesifikasyonlarından sapma durumlarının sürekli azaltılması sürekli iyileştirme programının bir parçasıdır.
4. Bir ürünün kalite performansında yaşanan sapma sonucu, müşteride oluşan kayıp performansta yaşanan sapmanın karesi ile orantılı olarak artmaktadır.
5. Ürünün kalitesi ve işletmeye maliyeti ilgili ürünün üretildiği proses sorumluları ve dizaynının yapıldığı tasarım mühendisliği aracılığı ile oluşturulur.
6. Bir ürüne ait kalitesel performansta yaşanan sapmaları elemine etmek için kalite performans spesifikasyonları kapsamında yanıtı etkisi olan faktörlerin etkilerini kontrol altında tutmak gereklidir.
7. İstatistiksel yöntemler ile dizayn edilen deneyler, ürün, hizmet veya proseslerin performans hedef sapmalarını elemine etmek amacı ile kullanılmaktadır.

3.5.2 Taguchi Kalite Kontrol Sistematiği

Taguchi, istenilen kalite standartlarını yakalamak için yapılan uygulamaları on-line (çevrimiçi) ve off-line (çevrimdışı) olarak ana kategorilerde incelemiştir. Deney tasarımı metotları, Taguchi'nin kalite performansları yönetimi mantığında, off-line (çevrimdışı) kalite kontrol içerisinde yer almaktadır. Bu durum ürün ve proses dizaynı aşamalarında kullanılan bir yöntemdir. Bu yönetime dair bilgiler Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Kayı, 2006; Canıyılmaz, 2001; Şirvancı, 1997).



Şekil 3.1: Taguchi'nin kalite yönetim sistematığı.

On-line (çevrimiçi) kalite kontrol yöntemi; üretim esnasında ve üretim tamamlandıktan sonra uygulanan kalite aksiyonlarını kapsar. Ürün üretildikten sonra yapılan istatistiksel proses kontrol yöntemi ve muayene istasyonları, çevrimiçi kalite kontrol sınıfına girmektedir. Off-line (çevrimdışı) kalite kontrol yöntemi ise; ürün ve proses geliştirilmesi esnasında yürütülen kalite kontrol faaliyetlerini içermektedir. Çevrimdışı çalışmalar üretimi bitmiş ürüne müdahale veya muayene yerine, ürünün üretiminden önceki tasarım çalışmalarıdır. Taguchi, çevrimdışı yöntemde proses ve ürünün kalitesel açıdan kararlılığını ve güvenilirliğini arttırmak için 3 ana başlıktan oluşan bir yaklaşım sunmuştur. Bu yaklaşıma dair aşama başlıkları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak belirlenmiştir (Şirvancı, 1997; Kayı, 2006).

Sistem Tasarımı

Metodun birinci aşaması olan sistem tasarımı, tasarımcı tarafından belirlenen ürünün müşteri tarafından arzu edilen işlev, estetik ve güvenlik fonksiyonlarına ulaşabilmesi amacı ile yeni teknolojiden de faydalanarak tasarımların yapılması aşamasıdır. Sonrasında ise belirlenen tasarımların içerisinde ürün için en iyi seçimin yapılması gerçekleştirilir. Bu aşamanın temel konuları, üretimi planlanan ürünün pazar araştırmasının yapılması, ürünle ilgili bulguların değerlendirilmesi, mühendislik adı altında bilimsel verilerin toplanması, kullanılacak hammadde ve ekipmanlarla ilgili seçeneklerin değerlendirilerek tercihlerin

gerçekleştirilmesi, hammadde teminlerindeki ilgili ürünün ürün ağacı verilerinde bulunan alt malzemelerin kalitesel anlamda iyileştirilmesi olarak belirlenmiştir (Kayı, 2006).

Parametre Tasarımı

Bu aşama Taguchi metoduna bakıldığında ürün ve proses kalite yanıt değerini optimize etmekte sonuç odaklı uygulamaların uygulanabileceği aşamadır. Ürün ve proses parametre tasarımı aşamasında ana hedef, ürünün spesifikasyonlarında ve ürünün üretiminin yapıldığı proses yanıtlarında hedef değerden olumsuz yönde sapma oluşumuna sebep olan kontrol edilemeyen parametrelere karşı, kontrol edilebilen parametrelerin en uygun seviyelerinin seçilmesiyle ürün ve ürünün üretildiği makinede yaşanan sapma ve varyasyonları minimum seviyeye indirmektir. Taguchi, ürün ve proses tasarım aşamasını sağlam tasarım olarak adlandırmaktadır. Bu adlandırmadaki sağlam terimi, kontrol edilemeyen faktörlere karşı değişkenlik göstermeyen, gürültü faktörlerinden etkilenmeyen ürün veya proses demektir. Sağlam tasarım kavramında, kontrol edilemeyen bir parametrenin yanıt üzerindeki kalitesizlik etkisi, kontrol edilebilen başka bir parametrenin değerlerinin kontrollü şekilde organize edilmesi sonucu azaltılmaya çalışılmaktadır. Maliyet artırmadan kalitesel iyileşme sağlanması bu şekilde mümkün olacaktır (Kayı, 2006; Şirvancı, 1997).

Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı aşaması, önceki ilk iki aşamada yapılan analiz ve çalışmalarda yaşanan sapmaların azaltılması konusu yeterli gelmediği koşullarda kullanılan bir yaklaşımdır. Sapmayı arzu edilen seviyeye çekmek amacı ile tolerans tasarımı faaliyetleri uygulamaya alınmaktadır. Tolerans tasarımı aşamasında üç ana başlıkta kalite parametresi bulunmaktadır. Bu başlıklar aşağıda verildiği şekildedir (Kayı, 2006):

1. En büyük en iyi,
2. En küçük en iyi,
3. Hedef değer en iyi.

En Büyük En İyi

İlgili seçenekte yanıt değerinin herhangi limit noktası bulunmamaktadır, yanıt değerlerinden maksimum olan durum en iyi kabul edilmektedir. Burada hedef değer belirlemekten ziyade yanıt büyüklüğü arttıkça yanıt değerinin arzu edilen verim değeri de artacağı kabul edilmektedir. Bu seçeneğin amaç olarak belirtilebileceği yanıtlara örnek olarak kaynak dayanım değeri, kaynak penetrasyon değeri, kaynak çap büyüklüğü verilebilir (Kayı, 2006).

En Küçük En İyi

Bu seçenekte tolerans azaldıkça yanıt değerinde kalitesel anlamda iyileşme sağlanacaktır. Örnek olarak bir makineden çıkan hurda miktarı, eksik yapılan hamur sıvama miktarı gibi kalitesel yanıtlar verilebilir (Kayı, 2006).

Hedef Değer En İyi

Bu durumda sapmalar hem aşağı hem yukarı yönde değişkenlik gösterebilir. Bu seçenekte iki taraflı tolerans olmaktadır. Bu seçeneğe örnek olarak boya kalınlık ölçüm değeri, lazer kesim açısı değeri verilebilir (Kayı, 2006).

3.5.3 Taguchi Metodu Aşamaları

Taguchi metodu, ürün ve proses tasarımı esnasında, sapmalara ve kontrol altında tutulamayan faktörlere karşı oluşan etkilenmenin en aza indirgenmesi için yararlanılan bilimsel yöntemdir. Taguchi deneyleri doğru bir yöntem ile uygulandığında, proseslerde ve ürünlerde yaşanan istenmeyen kalitesel durumların oluşmasında ve sapmaların yok edilmesinde güçlü bir etkisi bulunan sistematik bir metottur. Taguchi metodunun uygulama sırası aşağıdaki adımlardan meydana gelmektedir (Kayı, 2006; Canıyılmaz, 2001):

1. Problemin belirlenmesi,
2. Hedeflerin belirlenmesi,
3. Varyasyon,
4. Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi,
5. Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi,
6. Etkileşimlerin belirlenmesi,
7. Uygun ortogonal dizinin seçimi,
8. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması,
9. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi,
10. Deneylerin yapılış sırası,
11. Deneylerin tekrarlanması sayısı,
12. Doğrulama deneyinin yapılması.

Problemin Belirlenmesi

Problem çözüme tekniklerinde önem derecesi en büyük olan kısım, atak edilecek problemin doğru bir şekilde belirlenmesi ve uygun metotlarla tanımlanmasıdır. Sağlam temellere dayandırılmadan oluşturulan hatalı bir problem tespiti tüm deney tasarımının ve uygulamaların etkisiz bir sonuç oluşturmasına sebebiyet verecektir. Problemlerin belirlenmesinde firmaların kalite departmanından alınan müşteri şikâyeti verileri, mühendislik ve geliştirme ekiplerinin görüşleri ve ilgili projeye ait proseste görev alan beyaz yaka ve mavi yaka sorumlularının tecrübeleri toplanmalıdır. Problemin tespiti aşamasında sapma ve varyasyonların ne gibi kalite kayıpları oluşturduğu tespit edilir (Kayı, 2006).

Hedeflerin Belirlenmesi

İşletmelerin belirli bir kâr marjına ulaşabilmeleri, müşteri beklentilerini istenen seviyede karşılayabilmeleri ve şirket içindeki kaliteli üretim motivasyonunu arttırabilecek performans yanıtları elde edebilmek için kısa, orta ve uzun vadeli belirlenen hedefleri bulunmaktadır. Hedeflerin spesifik bir alanda, ölçülebilir değerlerle, gerçeği yansıtan, ulaşılabilir olması ve zaman bazlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Taguchi metodunun uygulandığı projelerde kalite ölçütünün arzu edilen seviyelerde ve değerlerde elde edilmesi ve değişkenler üzerindeki varyasyonların azaltılması iki temel hedef olarak kabul görmektedir (Şirvancı, 1997).

Varyasyon

Varyasyon kalite başlığında incelendiğinde, kalitesel olarak belirlenen proses yanıtlarında istenilen hedef değerden sapmadır. Deneyler Taguchi metodu tarafından belirtilen faktör, kombinasyon, seviye ve adette yapıldığında karşımıza ortalama bir değer çıkacaktır. Buradaki kalite başarısı kümenin ortalaması ile değil, kümenin içerisindeki yanıt sonuçlarının dağılımı ile ölçülmektedir. Bu örnek üzerinden anlatmak gerekirse, kaynak mukavemet yanıt değişkeninin deneyler sonucunda elde edilen ortalaması, minimum spesifikasyon sınırının üstünde olarak ölçülmüş olabilir fakat kümenin %30 - %40 gibi büyük bir kısmı varyasyona uğrayıp bunun sonucunda kalite kontrolü geçemeyip reddedilebilir (Şirvancı, 1997; Kayı, 2006).

Kalite Değişkenleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi

Bir ürünün veya hizmetin kaliteli olma durumunu belirleyen özelliklerine ve müşteri tarafından talep edilen işlevlerini fonksiyonel, estetik ve güvenlik açısından yerine

getirebilmesi için gerekli olan spesifikasyonlara kalite değişkeni denilmektedir. Bu maddede müşteri tarafından istenen kalite spesifikasyonları ulaşılmak istenen hedef kalite değişkeni olarak belirlenir. Bu değişkenlerin deneyler esnasında nasıl ölçüleceğine, deney düzeneklerine, ölçüm cihazlarına, ölçüm yapacak kişiye veya alete, ölçüm yöntemlerine karar verildiği aşama burasıdır (Şirvancı, 1997; Kayı, 2006).

Değişkenleri Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerin Tespit Edilmesi

Beyin fırtınası, yaşanan problemin kök nedenini bularak çözüme ulaşmak için probleme ait olası kök sebepleri belirlemek amacı ile konu ile ilgili teknik yeterliliğe, deneyime ve bilgi birikimine sahip kişilerden oluşan ekibin bir araya gelerek, problem üzerinde etki edebilecek parametreleri belirleme yöntemidir. Faktörlerinin belirlenmesi ve belirlenen faktör seviyelerinin tespitinde yalın üretim tekniklerinden beyin fırtınası metodundan faydalanılır. İlgili proses, makine, ürün ile ilgili parametrelerden hangilerinin deneye tabi tutulacağı ilgili konuda deneyimli ekip tarafından yapılan beyin fırtınası, akış şeması ve balık kılçığı diyagramlarının incelenmesi sonucu belirlenmesi önerilmektedir (Canıyılmaz, 2001; Kayı, 2006).

Etkileşimlerin Belirlenmesi

Taguchi deney tasarımı özünde faktör parametrelerinin yanıt üzerinde oluşturduğu etkileri gözlemek üzere kurulmuştur. Taguchi metodu tek yönlünün yanında birden fazla yönlü etkileşim içeren faktörler kapsamında da sonuçlar verebilir. Buradaki etkileşim kavramı iki farklı faktör parametresinin birbirleri ile etkileşim halinde olması yani faktörlerin etkilerinin birbirleri ile bağımlı olması durumudur. Bu faktörler Minitab istatistiksel programı üzerinde çarpan şeklinde gösterilirler. Bu ikili gösterime akım* voltaj örnek verilebilir. Bu duruma en yaygın örnek literatürde sıcaklık ve nem faktörleri verilmektedir. Sıcaklık faktörünün etkisi, nem faktörünün etkisini değiştirebilmektedir. Yanıt değişkeni olarak insanın rahatlık seviyesi düşünüldüğünde, bu iki değer arasında birbirine artı yönde bağımlı olan bir ilişki bulunmaktadır. Sıcaklıktaki yükseliş insanda az derecede bir rahatsızlık hissi yaratır. Sıcaklık artışıyla birlikte nem de yükseldikçe insandaki rahatsızlık daha fazla derecede artacaktır (Kayı, 2006; Canıyılmaz, 2001).

Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

Ortogonal Diziler

Ortogonal diziler deney tasarımında hangi gözlem sırasında hangi parametrenin hangi seviyesinin olacağını belirten dizilerdir. Ortogonal dizi düzeni, parametrelerin en az sayıda test ile değerlendirilmesi için yönlendirme sağlamayı ve faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermektedir. Bu durum klasik yöntemlerde teker teker değiştirmek şeklinde tasarlanmaktadır. Tam faktöriyel deney tasarımında k adet faktöre ve 2 seviyeye sahip bir deneysel düzen tasarlanacağı zaman, seviyelerden biri sabit tutulup diğer değiştirilerek toplamda 2^k adet gözlem planlanır. Taguchi sabit deney tabloları geliştirerek bu tablolardan elde edilecek 2^k adette deneyin çıkaracağı yanıtlar arasında herhangi bir farklılık durumu olmayacağını savunup, pratikte deneylerinde belirtmiş olduğu iddiayı kanıtlamış durumdadır. Buradaki geliştirme, standart deneme planlarında eşzamanlı olarak birkaç parametrenin seviyelerini birbiri içerisinde değişime uğratarak gözlem adedinde fazlaca sayıda azaltım olması şeklindedir. Örnek vermek gerekirse 7 adet parametrenin ve her bir parametrenin 2 seviyeli olduğu bir deney için $2^7=128$ adet deney planlanmalıdır. Taguchi belirlediği standartlarla bu plan için 8 adet denemenin yeterli olacağını göstermiştir. İlerleyen kısımlarda 2 adet deney planı örnekleri tablolarda gösterilmiştir. Şekil 3.2’de 2^k tasarımı, Şekil 3.3’te ise Taguchi deney tasarımı tabloları verilmiştir.

Deney No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
:	:	:	:	:	:	:	:
128	2	2	2	2	2	2	2

Şekil 3.2: 2^k tasarımı.

Deney No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Şekil 3.3: Taguchi tasarımı deney planları.

Tabloda sütun ve satırlarda bulunan 1 sayısı birinci seviyeyi, 2 sayısı ise ikinci seviyeyi göstermektedir. Örneğin Şekil 3.3'teki 3 numaralı deneyde ilk 5 faktör sabitken 6. faktörde seviye değişikliği yapılmış, 7. faktör sabit tutulmuştur. Şekil 3.3'te bulunan yöntemde bütün parametrelerin seviyeleri 128 adet deney gerçekleştirilerek teker teker denenmektedir. Şekil 3.2'de bulunan Taguchi tasarım tablosunda ise ilk denemeden ikinciye geçildiğinde sadece 1 faktörün ikinci seviyesi değil de 7 parametreden 4 tanesinin seviyesi değişikliğe uğratılmıştır. Diğer gözlemler için ise 4'ü 2. seviyede, 3'ü 1. seviyede olarak tabloda her deneyde değişiklik yapılmaktadır. Bu şekilde ilerleyerek 8 adet deneyde istenen yanıt sağlanmaktadır. Taguchi'nin bu çalışması işletmeler ve araştırmacılar için büyük bir maliyet, kaynak ve zaman kazancı olanağı sunmuştur. Bu diziler her parametrede aynı sayıda birbirinden farklı seviye içerdiğinden dolayı, bu dizilere ortogonal dizi denilmektedir. Deney tasarım aşamasında parametrelere uygun bir ortogonal dizi bulunamadı ise parametrelerde veya seviyelerinde düzenlemeler yapılmalıdır. 2 seviyeli deneyler için kullanılan diziler L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} ortogonal dizilerdir. 3 seviyeli deneyler kullanılan ortogonal diziler ise L_9 , L_{18} , L_{27} 'dir. Karma seviyeli yani seviyelerin karışık kullanıldığı deneylerde kullanılan ortogonal dizilerden bazıları L_{18} , L_{36} , L_{54} 'tür (Canıyılmaz, 2001).

Kontrol Faktörleri ve Etkileşimlerin Sütunlara Atanması

Bu aşamada eğer varsa parametreler arası etkileşimlerin atamaları yapılması gerekmektedir. Kontrol ve etkileşimlerin atanmasında ilk önce etkileşimlerin atanması tanımlanmalıdır (Kayı, 2006).

Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi

Proje ekibi ile yapılan beyin fırtınası sonucu belirlenen prosese ait faktör parametreleri Taguchi deney tasarımında kolonlara başlıklar halinde yazılır. Başlıklar ve her bir başlığın seviyeleri belirlenip işlendikten sonra, Taguchi mantığı ile deney tasarımı planı oluşturulur. Oluşturulan Taguchi deney planına uygun bir şekilde deneylerin yapılış sırası belirlenip, deneyler sahada ilgili proseste yapılmaya başlanır. Her bir deney sonucunda elde edilen yanıt değerlerin verileri deney listesindeki her bir faktör kombinasyonun karşısına girilir.

Deneylerin Yapılış Sırası

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken tercih edilen metot, deneylerin rastgele bir şekilde tasarlanmasıdır ve bu metoda rassallaştırma denmektedir. Deneylerin uygulanması esnasında makinenin veya insanın belirli bir yönteme ve kombinasyona alışıarak öğrenilmiş bir şekilde deneylerin yapılmasına sebep olması durumu tercih edilmemektedir. Bu durumda deneylerin sırasının rassallık içermesi uygun bir çözüm sunacaktır. Bu sayede deneyler esnasında en başta öngörülmemiş değişkenlik kaynaklarına karşı bir koruma oluşturabilmek mümkün hale gelecektir (Kayı, 2006).

Deneylerin Tekrarlanma Sayısı

Deneylerin tekrar edilmesi konusu deney kümesinin ortalamasında oluşabilecek değişkenliklerin sapmasının tespitinde fayda sağlayacaktır. Deneylerin tekrar edilmesi sonuçlardaki yorumlamayı daha anlamlı kılacak ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda insan, çevre, vardiya, malzeme vb. etkisi olabilen faktörlerin dahil olduğu deney düzeneklerinde deneylerin tekrarlanması olası hataların ve sapmaların tespit edilmesinde yol gösterici olacaktır. Yapılan gözlemin tipine göre bazı deney çalışmaları yüksek maliyette olmakta, yapılan her bir deney işletmeye büyük hurda, işçilik, fazla mesai veya malzeme maliyeti olarak geri dönmektedir. Bazı deneylerde ise bu durum firmaya ekonomik açıdan herhangi bir kayıp oluşturmamakta ve deneyde kullanılan malzemeler üretime tekrar kazandırılabilir. Deney tekrar sayısına karar verilirken deneyin yapılış kolaylığı, deneyin yöntemi ve deney yapılması esnasında işletmede oluşturacağı maliyetsel kayıp da dikkate alınmalıdır (Kayı, 2006).

Doğrulama Deneyinin Yapılması

Deneylerin ve deneyler sonucu analizlerin yapılmasından sonraki final aşamada, seçim yapılan en iyi yanıt değişkenini sağlayan parametrelerin kombinasyonu için, üretim

şartlarına göre belirlenmiş olan deney sayısı kadar doğrulama deneyleri yapılmaktadır. Doğrulama deneyinde analiz sonuçlarına göre belirlenen ve optimum sonucu veren kombinasyon için belirlenen sayı kadar tekrarlı deneyler gerçekleştirilir. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda yanıt üzerinde gerçekleşen değerlerin hedeflenene ulaşması durumunun doğrulanması için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanır.

Bu adımların sonucunda (Canıyılmaz, 2001):

1. Yapılan doğrulama deneyleri sonucundaki yanıt değerleri kabul edilebilir ortalama ve standart sapmada ise belirlenen faktör parametrelerinin kombinasyonlarının istenilen yanıtı verebilecek kabiliyette olduğuna kanaat getirilerek deney çalışması sonucu olumlu karşılanır. Çalışma bu noktada istenilen sonuçlar elde ettiği kabul edilerek başarılı bir şekilde son bulmuş olur.
2. Bir diğer seçenekte doğrulama deneyi yanıt değişkeni olarak ulaştığımız verilerin, tahmin ettiğimiz veriler ile bir ilgisi yok ve bu verilerden uzaksa çalışma başarılı olarak sonuçlandırılmaz. Modelde bu tarz bir durum ile karşılaşıldığında prosesin en baştan incelenmesi, hata yapılan noktanın araştırılıp tespit edilmesi, faktörlerin ve deney düzeneğinin tekrar kontrolü konuları tekrardan incelenmelidir. Proseste geri izlenebilirlik sonucu ulaşılan veriler ile proje ekibinin de görüşleri alınarak tespit edilen hatalar düzeltilip deneyler ve model en baştan kurgulanmalıdır.

4. UYGULAMA

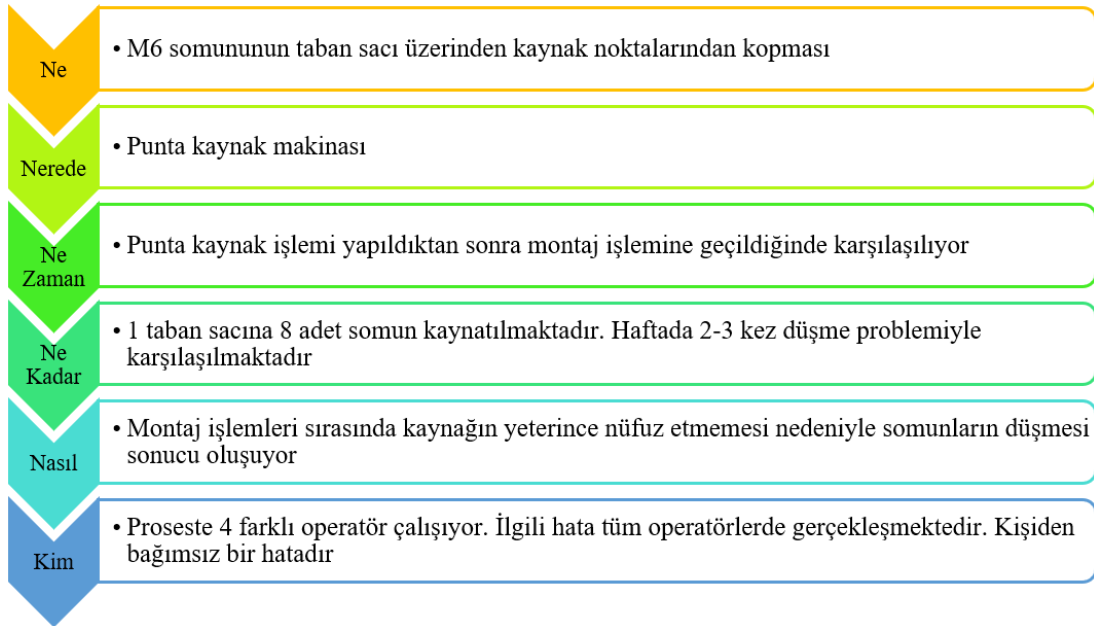
4.1 Sistemin ve Problemin Tanımlanması

Uygulama yurtiçi ve yurtdışı pazarında büyük bir üretim hacmine sahip olan ve traktör, iş makinesi kabinleri ve yedek parça imalatının yapıldığı Balıkesir'deki bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Firma bünyesinde metal işleme, kaynakhane, boyahane ve montaj olmak üzere 4 ana üretim prosesi ve bunun yanında bakım onarım, kalite güvence, kalıphane, üretim planlama, bilgi işlem, lojistik gibi destek prosesler bulunmaktadır. Konusu geçen deney tasarımı çalışması işletmenin kaynakhane departmanındaki punta kaynak prosesinde bulunan 400 kVA güce sahip, 380/50 V/Hz mikro işlemcili, su soğutma sistemli SPR4 tipi punta/projeksiyon kaynak makinesinde gerçekleşen kalite hatası problemini incelemek ve çözüm getirmek amacı ile gerçekleştirilmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

Müşterilerin talepleri doğrultusunda ERP programının malzeme ihtiyaç planlaması modülünden gelen bilgiler ile oluşturulan iş emirlerine göre, ilgili makinelerin kapasite ve verimlilik değerleri baz alınarak makinelere iş atamaları gerçekleştirilmektedir. Sac parçalar metal işleme bölümünde sac lazer kesim makinelerinde işlem görüp sonrasında manuel abkant, robotik abkant, hidrolik pres, egzantrik pres, manuel veya robotik büküm makinelerinde işlem görmüş sac parçalar halini almaktadır. Profil boru parçalar ise robotlu veya manuel profil kesme ve bükme makineleri, testere ve matkap proseslerinde işlem görür. Sac ve profil parçaların metal işlemede işlemleri tamamlandıktan sonra lojistik departmanında yalın üretimin malzeme sınıflandırma kategorisine göre belirlenmiş olan taşıma araçları yardımı ile kabin iskeleti veya yedek parça üretimi için kaynakhane prosesine transfer edilir. Kaynakhaneye gelen metal işleme prosesinde işlem görmüş olan sac ve profil parçaları kaynakhane bölümündeki robotlar ve manuel kaynak makineleri yardımıyla emniyet kabini iskeleti veya yedek parça halini alır. Kaynakhane bölümünde işlem gören parçalar çapak alma, taşlama ve kumlama operasyonlarından sonra boyahane departmanına transfer edilir. Boyahane bölümünde telleme, yüzey işlem, kaplama, kataforez kaplama, mastik hattı, yaş boya ve toz boya işlemlerinden geçen iskeletin, birleştirme işlemleri için final proses olan montaj hatlarına transferi gerçekleştirilir. Çalışmanın gerçekleştirildiği prosesteki kaynak işlemi şu şekilde özetlenebilir; ısı ve/veya basınç faktörü ile, ilave bir materyal kullanılarak veya kullanılmadan malzemelerin, parçaların, ürünlerin bir araya getirilmesi metoduna kaynak operasyonu denilmektedir. İlgili işletmede gaz altı MAG

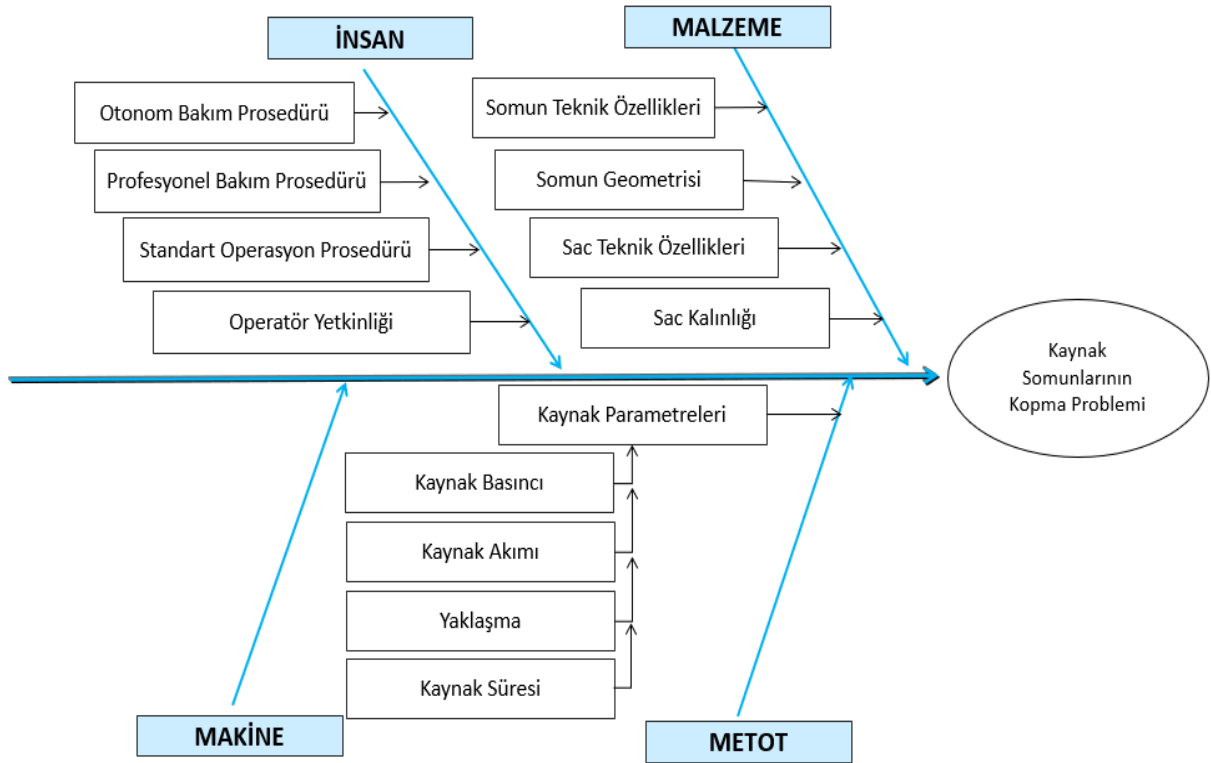
(metal aktif gaz kaynağı), ark kaynağı, projeksiyon punta birleştirme kaynak işlemleri manuel veya robotik olarak uygulanmaktadır. Problemin görüldüğü ve çalışmaların yapıldığı makine SPR4 marka projeksiyon/ punta kaynak makinesidir. Punta kaynak tekniği ile emniyet kabin taban sacı üzerine somun kaynatma işlemi yapılmaktadır. Taban sacı üzerine puntalanan somunların montaj hattına girdikten sonra montajlama esnasında kopması problemi üzerinde çalışılmıştır. St44 sacının üzerindeki M6 (metrik 6) kabartmalı altıgen somunların vasıtasıyla çeşitli parçaların montajlanması işlemi yapılmaktadır. Punta kaynak makinesinde yaşanan bu problemde punta kaynak ile puntalanan somunlarda taban sac levha parça üzerinden kopma problemi yaşanmaktadır. Bu problem kalite problemlerinin yanında sonraki proseste taban sacı üzerine montajı yapılacak ekipmanların yapılamamasına, yeniden işlem, sac malzeme hurdası, fazladan taşıma, plan dışı kalıp değişimi, sonraki veya önceki proses boşa bekleme gibi 7 temel israf kayıplarına da yol açmaktadır (Anık 1991, Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

Problemin tanımlanabilmesi amacı ile ilk olarak kaynakhane bölümünde punta kaynak makinesi gözlenmiştir. Bunun yanında punta kaynak makinesi ve süreçlerine norm ve standartlar incelenerek gemba analizi gerçekleştirilmiştir. Gemba analizleri neticesinde Şekil 4.1’de gösterilen 5N1K problem tanımı analizi ile (ne, nerede, ne zaman, nasıl, ne kadar, kim analizi) problemin tanımlanması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1: 5N1K problem tanımı analizi.

Problem tanımından sonra yanıt üzerinde etkili olabilecek faktörleri belirlemek için proje saha ekibi ile birlikte yapılan beyin fırtınası sonrasında; kaynak noktasından somun kopması problemi üzerinde etkili olabilecek olası kök nedenler tespit edilmiştir. Belirlenen olası kök nedenler Şekil 4.2’de verilen balık kılıçığı diyagramı üzerinde kategoriler halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Balık kılıçığı diyagramı.

Verilen balık kılıçığı diyagramındaki insan başlığı altında otonom bakım prosedürü, profesyonel bakım prosedürü, standart operasyon prosedürü uygulamalarının kullanım durumları ve operatörlerin yetkinlikleri kontrol edilmiştir. Bu başlık altında herhangi bir problem gözlenmemiştir. Bunun yanında, insan faktörü kontrol edilemeyen değişken olduğu için Taguchi deney tasarımı çalışmasında yer almaması gerektiğine karar verilmiştir. Malzeme başlığı altında ise, proste kullanılan somun ve sac malzemelerin teknik spesifikasyon değerleri uzman ekip tarafından incelenmiştir. Firmamızın kalite güvence sistemi altındaki çok sayıda farklı değerlendirme sonunda belirlenen malzeme ve malzemelerin özelliklerinin, bu çalışma kapsamında deneylerin yapılacağı seri imalat sisteminde şuan için değiştirilmesinin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Makine başlığı altındaki ise herhangi bir problem tespit edilememiştir. Son olarak, metot başlığı altındaki

kaynak parametrelerinin (kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak basıncı ve yaklaşma) incelenen problem üzerinde etkili ve kontrol edilebilen değişkenler olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, kontrol edilemeyen çevresel etkilerden en az etkilenen (robust) bir punta kaynak proses tasarımı yapabilmek amacı ile kaynak parametrelerinin deney tasarımında kullanılması gerektiğine karar verilmiştir.

Punta kaynak için işlem sıralaması aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:

- 1- Metal işleme bölümünde kesim ve büküm işlemleri tamamlandıktan sonra kaynakhanedeki işlemler için yönlendirilmiş olan traktör emniyet kabini taban sacları punta kaynak makinesi önüne tanımlanmış alana konumlandırılır. Şekil 4.3'te sacların kaynak makinesi önüne konumlandırılmasına ilişkin gösterim verilmiştir.

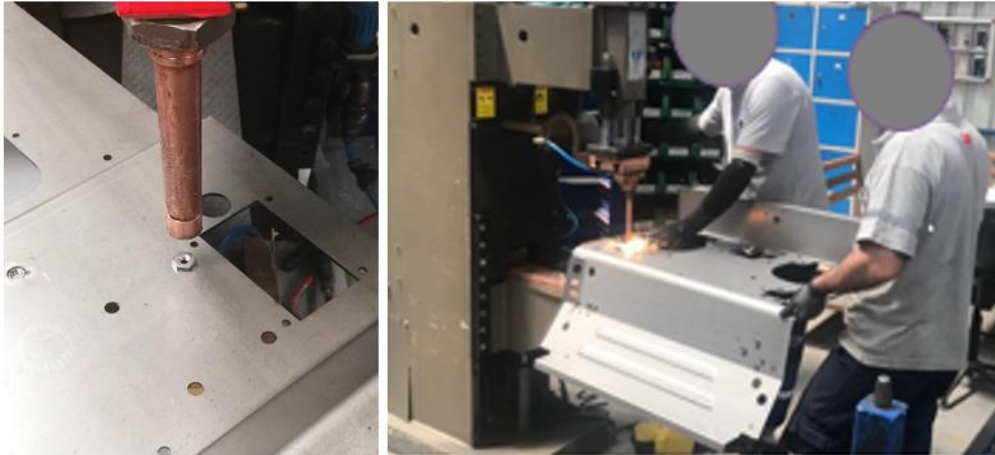


Şekil 4.3: Emniyet kabin taban saclarının makine önüne konumlandırılması.

- 2- Manuel punta kaynak makinesinde ilgili projeksiyon punta kaynak faktör parametreleri makine üzerinde set edilerek taban sacının üzerine somun puntalama işlemi gerçekleştirilir. Şekil 4.4'te punta kaynak makinesine ait görsel verilmiştir. Şekil 4.5'te taban sacı üzerine yapılan punta kaynak prosesinin işlem anındaki görseli verilmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

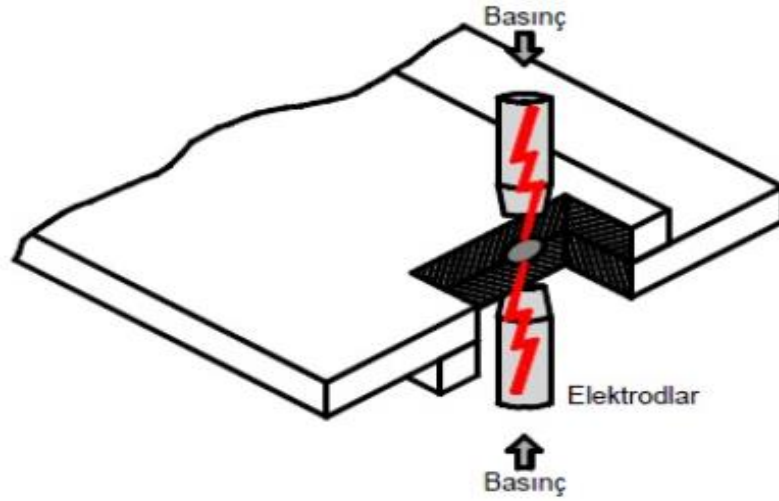


Şekil 4.4: Punta kaynak makinesi.



Şekil 4.5: Taban sacı punta kaynak işlemi.

Problemin yaşandığı punta kaynak prosesindeki kaynak işlemi diğer kaynak türlerinden farklı olarak; ilave bir malzeme gerektirmeden yapılır. Metallerin ısı ve basıncın etkisiyle eritilmesi sonucu parçalar birbiri ile kimyasal bağlamda kaynaşır. İlgili proses metal malzemelerin, basınç ve sıcaklığın etkisi ile eriyerek birbirine kaynamasını sağlayan bir kaynak yöntemidir. Şekil 4.6'da punta kaynak bölgesi kesiti verilmiştir (Baylan, 2015).

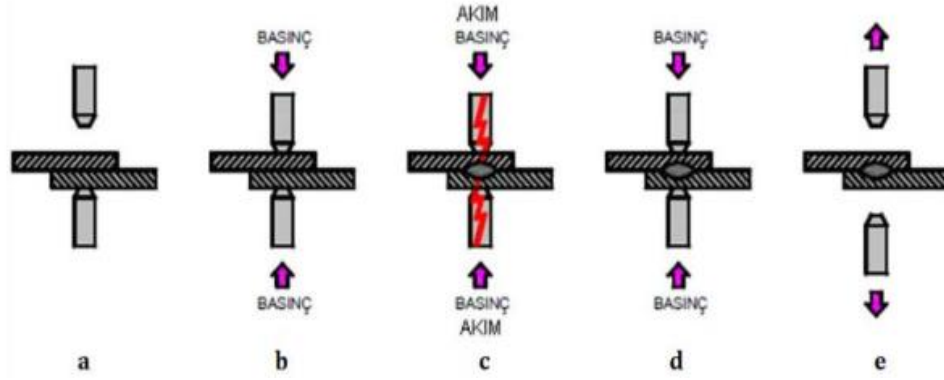


Şekil 4.6: Punta kaynak bölgesi kesiti (Baylan, 2015).

Punta kaynağı, yüksek ısı faktörü yardımı ile birleşimi istenen metal parçaların ergitilmesi ile yapılmaktadır. Nokta direnç kaynağı (punta kaynak), metal malzemedan geçen elektrik akımına karşılık, metal malzemenin göstermiş olduğu dirençten oluşan ısının etkisiyle oluşan bir birleştirme metodudur. Birleşimi yapılacak olan metal malzemelerin içinden geçen yüksek akıma aksi yönde tatbik edilen toplam direnç sonucu yüksek ısı oluşumu gerçekleşir. Tam bu esnada tatbik edilen basınç ile ilgili bölgede birleşme meydana gelerek kaynak oluşumu gerçekleşmektedir. Punta kaynağı işlemi, 4 ana aşamada incelenebilir (İş, 2017):

1. Yanaşma, sıkma adımı: Elektrotlar birbirlerine doğru yaklaşmaya başladığı aşamada yanaşma adımı başlar. Elektrotlar yaklaştıktan sonra aradaki malzemeleri baskı altında sıkıştırırlar. Elektrotların dokunma dirençlerinin optimum noktada olabilmesi için buradaki zamanın makine ayar parametresi olarak giriş işlemi, sekans (elektronik ayarlama paneli) içerisinde programlanarak yapılmaktadır.
2. Kaynak adımı: Set edilen akımın iki metal parça arasından elektrotlar vasıtasıyla geçmesiyle erime oluşturduğu adımdır.
3. Tutma adımı: Kaynak uygulanmış bölgenin soğuyabilmesine süre tanımak için, elektrotların baskıda kalması durumu belirli bir süre boyunca sabit tutulur. Bu işlemin amacı, punta kaynağının mekanik kalitesinin artırılmasıdır.
4. Ayrılma adımı: İki nokta kaynağı arasındaki geçiş süresidir.

Punta kaynak süreçlerini anlatan aşamalar Şekil 4.7’de verilmiştir (Baylan, 2015).



Şekil 4.7: Punta kaynak aşamaları (Baylan, 2015).

Punta kaynağı sırasında,

1. adım pensenin ağız kısmının kapanması esnasında metal cismin üzerine temas ettiği ilk yaklaşma anıdır. 2. adım baskı sürecinde pensenin baskı kuvvetine ulaşabilmesi için geçen süredir.

3. adım rampa ise, kontrol panelinden set edilen kaynak akım değerinin kademeli bir şekilde artmasıyla arzu edilen veriye ulaşması demektir. Bu işlemdeki amaç metal cisimlerin yavaş bir şekilde tavllanmasıyla (yani ısıtılmasıyla) iki metal sac arasında oluşan boşluğun kapanmasıdır.

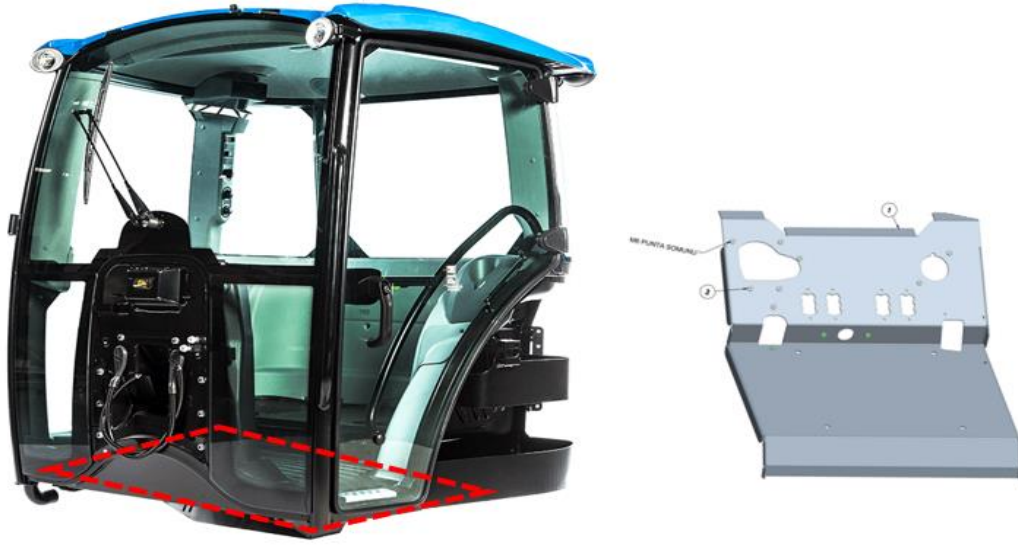
4. adım olan kaynak işleminde istenen baskı kuvvetine ulaşan ve rampa ile tavlanan (ısıtılan) metale akımın faktörünün girişi ile metal cismin bir kısmının erimesiyle sıvı hale dönüşünü ifade eder.

5. adım olan soğuma aşamasında pensenin ağız kısmı kapalı olmalı ve baskı halindeyken eriyik halde olan metal cismin soğumasıyla katı cisme dönüşmesini içerir.

6. adım olan açma adımında kaynağın bitişinden sonra pensenin ağzının bir sonraki işlem için açık bir şekilde hazır konuma geçme durumudur.

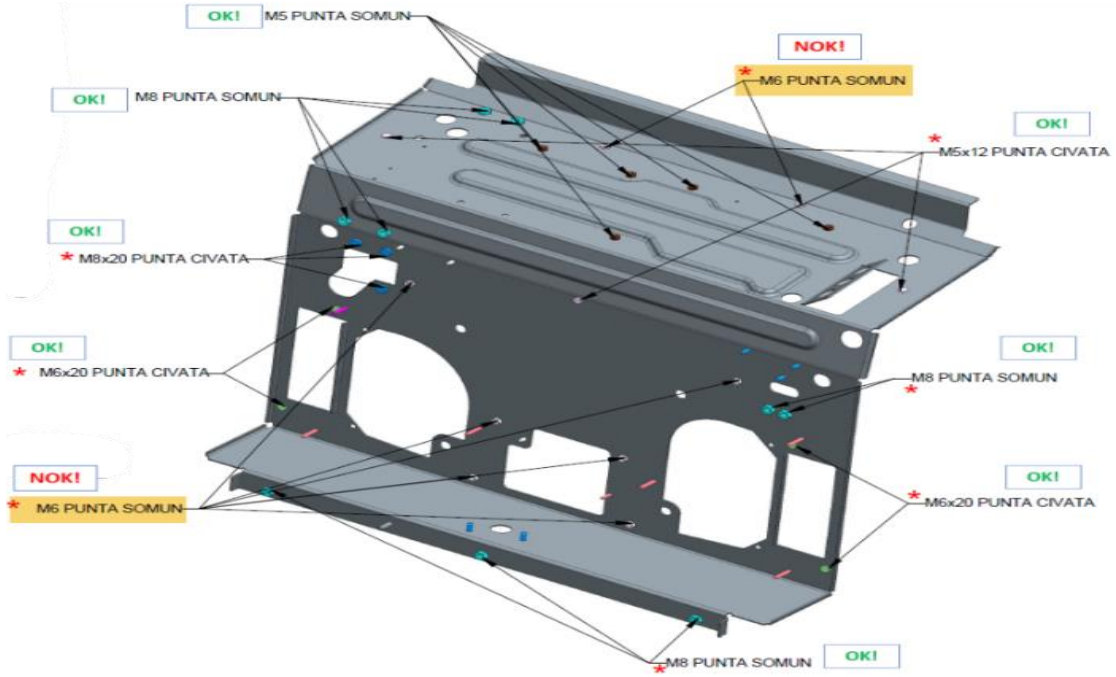
Elektrot uçları metale temas ettikten sonra akımın uygulandığı ve parça üzerinde kaynaklanmanın yaşandığı zamana kaynak zamanı denmektedir. Tutma süresi ise, malzemenin akım uygulanmasından önce basınç kuvvetinin etkisi altında geçirdiği süredir (Ünlükal, 2007).

Deneilerin yapıldığı taban sacının emniyet kabini üzerinden konumlandırılması Şekil 4.8’de gösterilmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).



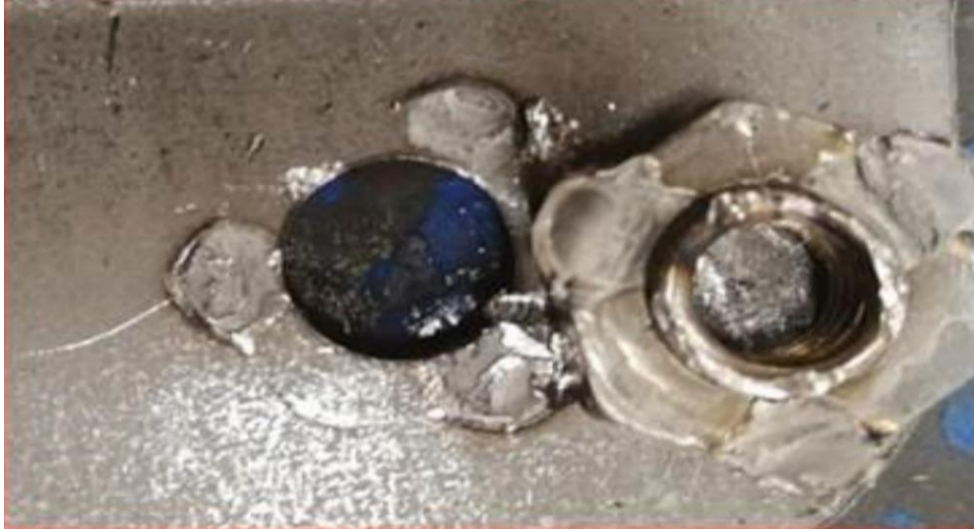
Şekil 4.8: Taban sacı emniyet kabini üzerinde gösterimi.

Traktör emniyet kabini taban sacı üzerine M5 (metrik 5) punta somun, M8 (metrik 8) punta somun, M6x20 (metrik 6 x 20 mm boy) punta civata, M5x12 (metrik 5 x 12 mm boy) punta civata, M8x20 (metrik 8 x 20 mm boy) punta civata ve M6 (metrik 6) punta somun kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. İlgili yarı mamulde geriye yönelik kalite hatası matris verileri, müşteri şikayetleri, saha taramaları verileri incelendiğinde M6 (metrik 6) somun kaynak noktalarında kopmaların olduğu proje ekibi ile birlikte tespit edilmiştir. İlgili kaynak noktaları Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Taban sacı üzerindeki punta kaynak noktaları incelemesi.

Şekil 4.10’da iletilen görselde, üretimde punta somun kaynak operasyonu sonrası taban saclarında meydana gelen M6 (metrik 6) kabartmalı altıgen somunların kopması kaynaklı oluşan kalitesizlik durumundan bir örnek göstermektedir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

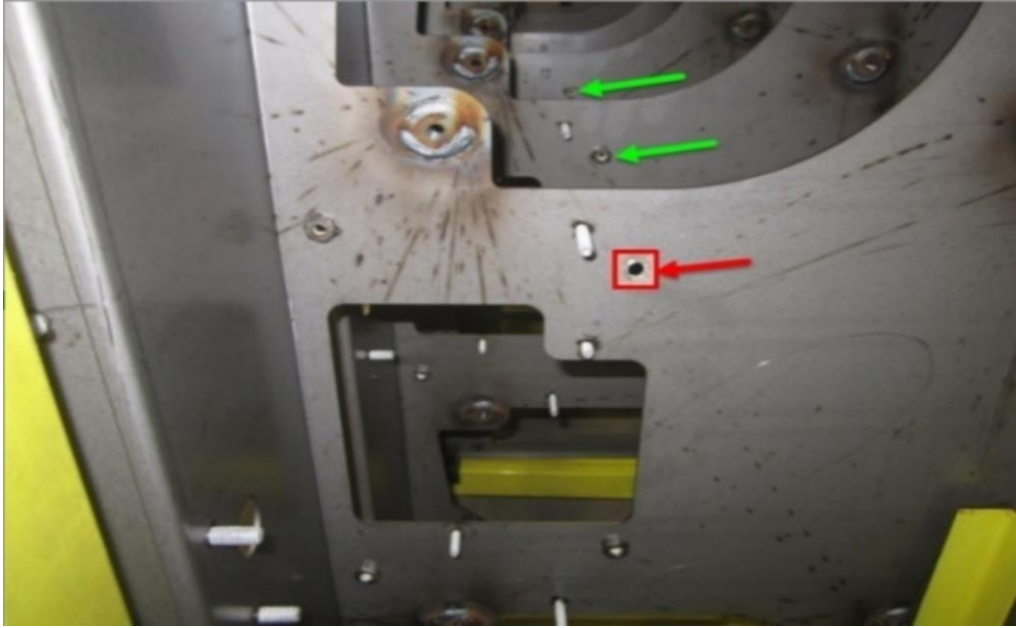


Şekil 4.10: Punta somun kopma problemi gösterimi.

Altıgen şeklindeki somunun sacın üzerine temas eden noktaları bulunmaktadır. Bu noktalar akım ve basıncın etkisiyle eriyerek sac ile kaynaşmaktadır. Şekil 4.10’da birleşme işleminden sonra kopma problemi yaşanmış somun örneği görülmektedir.

4.2 Deneysel Çalışma ve Tartışma

Taban sacı üzerinde aşağıda verilen Şekil 4.11’de yeşil ile gösterilen somun kaynaklar kaynak dayanımını sağlayıp kopma problemi oluşturmayan kaynak noktalarıdır. Örnekte kırmızı ok ile gösterilen kaynak bölgesi ise ilgili prosteşte kopma problemi oluşturarak üzerindeki kaynak hatasından dolayı somunu düşmüş olan problemlili kısmı göstermektedir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).



Şekil 4.11: Problemin taban sacı üzerinde gösterimi.

İlk etapta emniyet kabini taban sacı üzerinde problemlili olan 14096900 part numaralı R40SD malzeme kodlu M6 (metrik 6) kabartmalı altıgen somunların teknik spesifikasyonlarının incelemeleri ve sonrasında doğrulamaları yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılan somunlara ait kimyasal kompozit % Pota Analizi raporu incelenmiş ve kullanılan M6 somunların istenilen spesifikasyonlara uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İlgili tez çalışmasında kullanım alanları gün geçtikçe artış gösteren punta kaynak prosesinin parametrelerinin optimum kombinasyonunun tespit edilmesi hedeflenmiş, tespit edilen parametrelerin Taguchi metodu ile deneyler dizayn edilmiştir. Taguchi'nin en büyük – en iyi yaklaşımı ile punta kaynak faktör değerlerinin somun sıkma kopma tork değeri yanıt değişkeni üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada 2,5 mm kalınlıkta St44 sac malzemesi kullanılmıştır. Temin edilen St44 sacından 40x80 cm (40 cm en, 80 cm boy) ölçülerinde deney düzeneği sac parçası kurmak için levhanın kesim işlemleri sac robotlu lazer kesim makinesinde yapılmıştır. İlgili faktör parametreleri kaynak akımı için seviyeler makinenin elektronik ayar ünitesinden kontrol sağlanarak makine manuel el kitabından bakılarak, kaynak akımı (15, 16, 17) kA, kaynak süresi (2, 3, 4) cycles (çevrim), kaynak basıncı (3, 4, 5) atm, yaklaşma (20, 30, 40) cycles (çevrim) olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler özet şekilde Tablo 4.1’de verilmiştir. Yapılacak deneyler sonucunda kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak basıncı ve yaklaşma değerlerinin en iyi kombinasyonunun bulunması ile somun kopmasını probleminin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 4.1: Punta somun kaynak makinesi ayar parametreleri.

İş Tanımı	Faktör Birim	Minimum	Orta	Maksimum
Kaynak Akımı	Kiloamper (kA)	15	16	17
Kaynak Süresi	cycles	2	3	4
Kaynak Basıncı	Atmosfer (atm)	3	4	5
Yaklaşma	cycles	20	30	40

Deney faktörlerinin seviyelerine karar verilirken kaynak makinesi kullanım talimatında yer alan makine çalışma ayar prensip parametrelerine, kaynaklama esnasında kullanılan somun ve sacların teknik spesifikasyon incelemelerine yer verilip Tablo 4.1’de belirtilen sınır seviye değerleri oluşturulmuştur. Kararlaştırılan sınır değerlerin altında kalındığında veya üstüne çıkıldığında makinenin istenilen indikatörde yanıt oluşturamayacağı bilgisinden yola çıkarak sınır değerlerin dışında kalan değerler değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Belirlenen makine faktörleri için Minitab istatistiksel analiz programı vasıtasıyla faktörlerin 3 seviyeli olduğu 4 faktör için L_{27} ortogonal dizisi ile oluşturulan deney tasarımı oluşturulmuştur. 4 faktör parametresi, her bir parametrenin 3 seviyesi için oluşturulan L_{27} ortogonal dizisine dayalı deney tablosu Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: L27 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tablosu.

No	Kaynak Akımı	Kaynak Süresi	Kaynak Basıncı	Yaklaşma
1	15	2	3	20
2	15	2	3	20
3	15	2	3	20
4	15	3	4	30
5	15	3	4	30
6	15	3	4	30
7	15	4	5	40
8	15	4	5	40
9	15	4	5	40
10	16	2	4	40
11	16	2	4	40
12	16	2	4	40
13	16	3	5	20
14	16	3	5	20
15	16	3	5	20
16	16	4	3	30
17	16	4	3	30
18	16	4	3	30
19	17	2	5	30
20	17	2	5	30
21	17	2	5	30
22	17	3	3	40
23	17	3	3	40
24	17	3	3	40
25	17	4	4	20
26	17	4	4	20
27	17	4	4	20

Oluşturulan deney setine göre, her bir kombinasyondaki 4 parametre değeri için punta makinesi faktör parametreleri ayarlanmıştır. Deneylerin yapılıp sonuçların kaydedilebilmesi için oluşturulan taban sacı ürün parçasından oluşturulmuş deney düzeneği Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Yapılacak deneyler için Şekil 4.12’de görseli bulunan kalibrasyonu doğrulanmış tork cihazı ile sıkılarak maksimum somun kopma tork değeri noktasına göre deneyler organize edilmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).



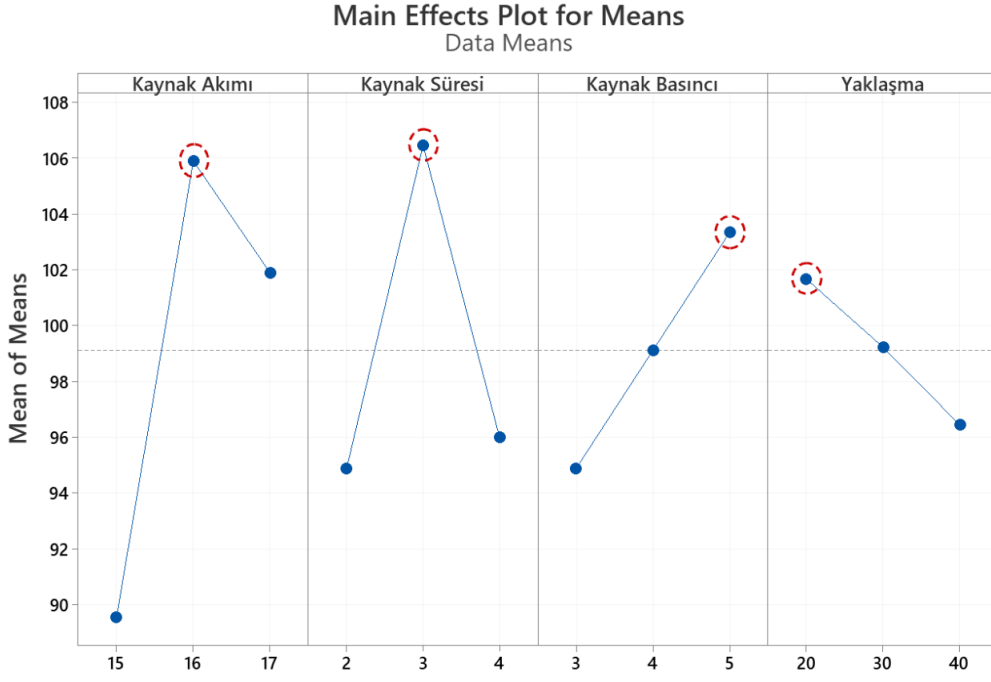
Şekil 4.12: Taguchi deneylerinin uygulanması için deney düzeneği.

Aşağıda verilmiş olan Tablo 4.3'te, parametreler ve bu parametrelerin seviyelerine göre Taguchi yöntemi ile belirlenmiş olan kombinasyon setlerinin sahada kurulan deney düzeneğinde uygulanmasının ardından elde edilen sonuçların deney tablosuna sonuç başlığında girilmiş hali gösterilmektedir. Deneyler esnasında punta kopma dayanımlarını ölçmek için, parametrelerin seviyelerinin kombinasyonundan oluşmuş 27 adet deney baz alınarak, makine ayar parametreleri bu değerlere ayarlanmış ve her noktada bu kombinasyonlara göre punta kaynak işlemi uygulanmıştır. Parametrelerin set edilerek punta somun kaynak yapılan her bir kombinasyonun maksimum kopma noktaları tork cihazı ile sıkılmış, kopma noktası ölçülerek veriler kaydedilmiştir.

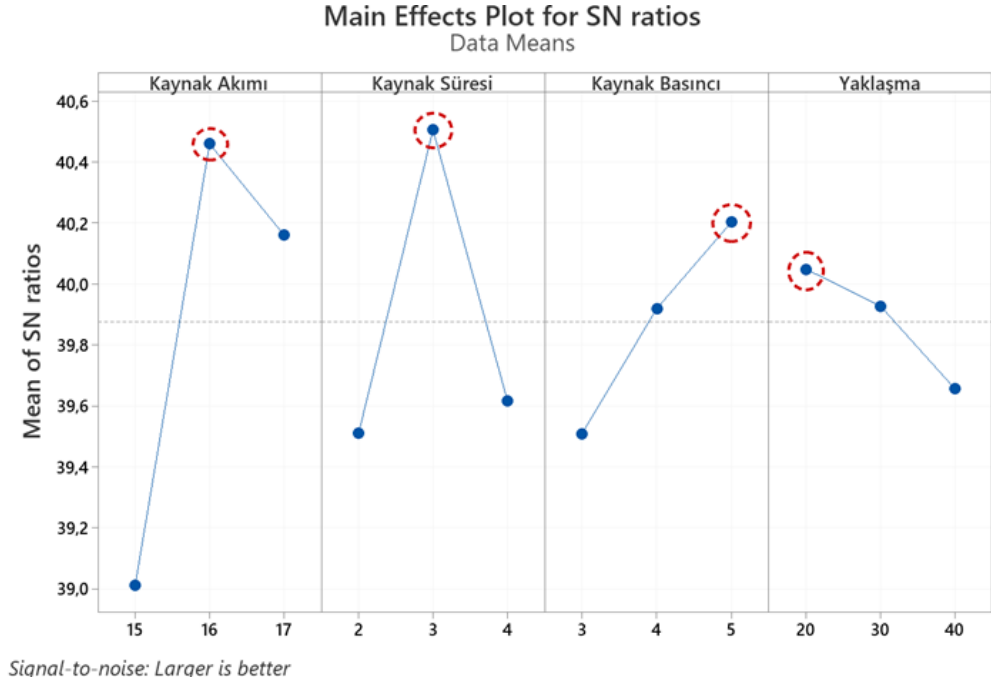
Tablo 4.3: Taguchi kombinasyonu sonucu oluşan değerler.

No	Kaynak Akımı	Kaynak Süresi	Kaynak Basıncı	Yaklaşma	Sonuç
1	15	2	3	20	82
2	15	2	3	20	85
3	15	2	3	20	84
4	15	3	4	30	95
5	15	3	4	30	99
6	15	3	4	30	97
7	15	4	5	40	92
8	15	4	5	40	90
9	15	4	5	40	82
10	16	2	4	40	100
11	16	2	4	40	99
12	16	2	4	40	98
13	16	3	5	20	121
14	16	3	5	20	120
15	16	3	5	20	119
16	16	4	3	30	100
17	16	4	3	30	97
18	16	4	3	30	99
19	17	2	5	30	100
20	17	2	5	30	104
21	17	2	5	30	102
22	17	3	3	40	101
23	17	3	3	40	102
24	17	3	3	40	104
25	17	4	4	20	103
26	17	4	4	20	101
27	17	4	4	20	100

Tabloya girilen değerler baz alınarak ise Taguchi'nin "larger is better" (en büyük en iyi) analiz metoduna ile belirlenmiş olan Şekil 4.13'te verilen "Ortalamalar için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot for Means)", Şekil 4.14'te verilmiş olunan "S/N Oranları için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot for S/N Ratios)" grafiği kullanılarak punta kaynak somun kopma dayanımını en büyükleyen en iyi faktör değerleri kombinasyonu elde edilmiştir.



Şekil 4.13: Ortalamalar için ana etkiler grafiği.



Şekil 4.14: S/N oranları için ana etkiler grafiği.

Taguchi'nin en büyük en iyi metodolojisine göre oluşturulan deney analizlerine göre yanıtının maksimuma yakın bir değer olması hedeflendiğinden, Şekil 4.13'te verilen grafikteki faktör seviyelerinin maksimum olduğu değerler optimum sonuç olarak seçilmiştir. Şekil 4.14'te verilen S/N (kontrol edilebilir değişkenlerin etkisinin kontrol edilemeyen

değişkenlere etkisine oranı) grafiği ise yanıt için hedeflenen maksimizasyon veya minimizasyondan bağımsız olarak, kontrol edilebilen faktörlerin etkisinin minimize edilip, kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin etkisinin maksimize edildiği değer seçilmelidir. Grafikte bu seviyeler kırmızı ile işaretlenen maksimum değerleri ifade etmektedir.

Deneye ait faktörlerin yanıt üzerindeki etki önem sırası (Rank) aşağıda Şekil 4.15'te verilen Minitab analiz raporundaki gibidir. Buna göre faktörlerin yanıt üzerindeki etki derecesi büyükten küçüğe doğru sırasıyla: 1. Kaynak Akımı, 2. Kaynak Süresi, 3. Kaynak Basıncı ve 4. Yaklaşma olarak belirlenmiştir.

Response Table for Signal to Noise Ratios				
Larger is better				
Level	Kaynak Akımı	Kaynak Süresi	Kaynak Basıncı	Yaklaşma
1	39,01	39,51	39,51	40,05
2	40,46	40,50	39,92	39,93
3	40,16	39,62	40,20	39,66
Delta	1,45	0,99	0,69	0,39
Rank	1	2	3	4

Şekil 4.15: Minitab S/N oranları analiz raporu.

Gerçekleştirilen deney tasarımı analizleri kapsamında traktör emniyet kabini taban sacı parçası somunları üzerindeki çalışmalar doğrultusunda 4 parametre ve 3 seviye için Taguchi L_{27} ortogonal dizi seçim tablosuna göre 27 adet deney gerçekleştirildi. Minitab programı aracılığı ile Taguchi metoduna göre oluşturulmuş olan faktörlerin seviyelerine ait kombinasyonlar üretim sahasında uygulanarak yanıt sonuçları elde edilmiştir. İlgili deney çalışmasında, maksimum yanıt değerine ulaşmak hedeflendiği için Ortalamalar için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot for Means) tablosunda faktör bazında maksimum noktalar seçilmiştir. S/N kontrol edilebilen değişkenlerin yanıt üzerine etkisinin (signal), kontrol edilemeyen değişkenlerin yanıt üzerine etkisine (noise) oranını göstermektedir. Tüm çalışmalarda yanıt değişkeni maksimize veya minimize edilmeye çalışılsa da her zaman maksimum S/N oranını veren kombinasyon en iyi çözüm olarak seçilir. Çünkü yanıt üzerinde kontrol edebildiğimiz faktörlerin kontrol edemediğimiz faktörlerden her zaman en büyük olmasını bekleriz. Diğer bir başka analiz olan parametrelerin önem düzeylerinin sıralanması için "Rank" değerleri incelenmiştir. Parametreler önem sırasına göre, 1. Kaynak

Akımı, 2. Kaynak Süresi 3. Kaynak Basıncı, 4. Yaklaşma olarak analiz edilmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

S/N ve Ortalamalar için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot for Means) grafik analiz sonuçları incelendiğinde, problemimiz “larger is better” (en büyük en iyi) olduğundan Ortalamalar için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot for Means) grafiğine göre maksimum, S/N grafiğinde kontrol edilebilen faktörlerin kontrol edilemeyen faktörlere oranının her zaman maksimum olması hedeflenerek oluşturulmuş sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Aşağıdaki parametre değerleri optimum kombinasyon sonucunu vermektedir.

- Kaynak Akımı: 16 kA
- Kaynak Süresi: 3 cycles
- Kaynak Basıncı: 5 atm
- Yaklaşma: 20 cycles

Üretimde punta makinesinde yapılan denemeler esnasında yukarıda belirtilen değerler ile gerçekleştirilen deneylerde süreç parametrelerinin uygun seviyelerini vermektedir. Sahada makine ve ürün üzerinde uygulanan doğrulama deneyleri için sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir. Taguchi ile bulunan optimum faktör seviye kombinasyonu için, üretim sahasında ilgili punta kaynak makinesindeki seri üretimde ilgili proje ekibi, üretim ekibi ve kalite ekibinin eşliğinde 10 adet tekrardan oluşan Tablo 4.4’te verilen doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4: Doğrulama deneyleri.

No	Kaynak Akımı	Kaynak Süresi	Kaynak Basıncı	Yaklaşma	Sonuç
1	16	3	5	20	121
2	16	3	5	20	120
3	16	3	5	20	121
4	16	3	5	20	121
5	16	3	5	20	121
6	16	3	5	20	120
7	16	3	5	20	120
8	16	3	5	20	121
9	16	3	5	20	121
10	16	3	5	20	121

Tablo 4.4'te verilen 10 adet doğrulama deneyi tekrarının ortalaması somun kopma tork değeri için 120,7 N.m (Newton metre) ve standart sapması 0,483 N.m (Newton metre) olarak bulunmuştur. Yanıt değişkenlerindeki 0,483 N.m'lik kabul edilebilir sapmanın proseste varolan kontrol edilemeyen gürültü faktörleri sebebi ile ilgili olduğu tahminlenmektedir. Bu sonuca dayanarak istenen tork değeri spesifikasyonlarında, kontrol edilemeyen faktörlerin yanıt üzerindeki etkisinin minimize edildiği (Taguchi metoduna göre maksimum S/N oranı bunu garanti etmektedir) ve kabul edilebilir derecede düşük bir standart sapma ile belirlenen hedef yanıt değeri olan 100 N.m'nin üzerinde üretim yeteneği bulunan punta kaynak prosesi tasarlanmıştır (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yanıt üzerinde etkili olabilecek faktörlerin belirlenmesi aşamasında takım çalışması ile gamba analizleri yapılmış, problemin tanımlaması için 5N1K analizi, problem üzerinde etkili olabilecek kök nedenlerin tespit edilebilmesi için proje takımı ile beyin fırtınası yapılarak olası kök neden analizi için balık kılçığı diyagramı hazırlanmış ve yalın üretim problem çözme tekniklerinden faydalanılmıştır. Kullanılan bu yalın üretim teknikleri ile problemin tanımlanması ve problemin üzerinde etkili olan kök sebeplerin ve yanıt üzerinde etkili olan parametrelerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Balık kılçığı metodunda belirlenen olası kök sebepler insan, metot, makine, malzeme bazında sahada yapılan analizlerle incelenmiş ve doğrulanması yapılmıştır.

Yapılan araştırmalarda ve literatür incelemelerinde problemin çözümünde deney tasarımı metodundan faydalanabileceği üzerinde hemfikir olunmuştur. Punta kaynak prosesinde kaynak akımı, kaynak süresi, kaynak basıncı, yaklaşma parametreleri kullanılmaktadır. Daha önce punta kaynak prosesinde parametrelerin optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalar araştırıldığında problemin çözümünde kullanılan faktörlerden birkaçının kombinasyonlarının diğer uygulamalarda faktör olarak alındığı görülmüş ancak herbirinin birlikte parametre olarak alındığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. İlgili prosesteki parametreler ile Taguchi yöntemine göre deney tasarlanmış ve yanıt parametresi olarak somun sıkma tork değeri maksimizasyonu sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler nicel yani sayısal faktörlerdir. Bu faktörlerin en iyi kombinasyonlarının değerleri Minitab istatistiksel programı tarafından oluşturulan S/N grafiğine bakılarak alınmıştır. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen parametre kombinasyonu ile seri üretimde doğrulama deneyleri de gerçekleştirilerek analiz programı üzerinde tespit edilen sonucun traktör emniyet kabini üretim fabrikasında punta kaynak makinesinde uygulanabildiği sonucuna varılmıştır.

Operatör desteği ile uygulanan punta kaynak prosesi içerisinde kontrol edilen ve kontrol edilemeyen faktörler barındırmaktadır. İlgili proses talep yoğunluğu sebebi ile çok fazla adette deney yapmaya elverişli bir proses değildir. Deney tasarımı metotlarından en az sayıda deney ile en iyi sonuçları elde etmemizi sağlayacak ve kontrol altında tutulabilen faktörlerin kontrol altında tutulamayan parametreler karşısında etkisiz olmasına yardımcı olacak faktörlerin bulunmasını sağlayacak Taguchi metodu tercih edilmiştir. Minitab

programında parametrelerin minimum, orta ve maksimum değerleri olarak 3 seviyesi girilmiştir.

Deneyler sonucunda bir sonraki proseste beklenen minimum 100 N.m dayanma değerinin üzerinde olan 120.7 N.m değerine ulaşılmıştır. Bu alışma yapılmadan önce tecrübeler dayalı olarak set edilen değerler kaynak akımı 15 kA, kaynak süresi 2 cycles, kaynak basıncı 3 atm, yaklaşma 30 cycles olarak kullanılıyordu. Ayarlanan bu değerler ile puntalanan somunlarda sonraki proseste kopma problemi meydana geliyordu. Bu durum yeniden kaynak, hurda, taşıma, sonraki proses hat duruşu, müşteri sevkiyatlarını geciktirmemek için fazla mesai kayıplarına yol açıyordu. Minitab istatistiksel analiz programına göre belirlenen parametreler somun sıkma tork değerinin maksimum olduğu görülmüştür. Son durumda set edilen değerler kaynak akımı 16 kA, kaynak süresi 3 cycles, kaynak basıncı 5 atm, yaklaşma 20 cycles olarak belirlenmiştir (Karaoğlan ve Kapçak, 2022).

Elde edilen optimum punta kaynak proses parametreleri seri imalatta kullanılmaya başlanmış ve fire oranlarında önemli ölçüde düşme gözlenmiştir (ticari gizlilik nedeni ile oranlar verilmemiştir). 6 ay boyunca yapılan gözlemler sonunda punta kaynak prosesi kaynaklı oluşan herhangi bir somun kopma problemi gözlemlenmemiştir. Gözlemlenen minör hatalar proses üzerinde etkili olan gürültü faktörleri (taşıma, önceki proseslerden kaynaklı apak vb. kalite problemleri) sebebi ile oluşmaktadır. Optimizasyon öncesi gözlenen somun kopması problemi kaynaklı meydana gelen darboğaz kısıtı, fireler, makine verim kayıpları, taşıma, bekleme, yeniden işlem kayıpları ortadan kaldırılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. İstanbul: Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 12-13.
- Antony, J. (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0750647094.
- Aytekin, A.G. (2011). Robotik gazaltı köşe kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile en iyilenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9, 7-28.
- Baylan, O. (2015). Elektrik Direnç Kaynağı [online]. <https://www.metaluzmani.com/elektrik-direnc-kaynagi/>. Erişim Tarihi: 03.01.2022
- Bıyık, A., İnce, U., Ateş, F., ve Yetilmezsoy, K. (2016). Kaynak cıvatalarının projeksiyon kaynağı ile birleştirilmesinde çapaklanmanın azaltılmasına yönelik optimal proses parametrelerinin Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ile belirlenmesi. *Mühendis ve Makine*, 57 (677), 36-52.
- Bilici, M. (2012). Application of Taguchi approach to optimize friction stir spot welding parameters of polypropylene. *Materials and Designs*, 35, 113-119.
- Bilici, M.K., Bakır, B., Bozkurt Y. ve Çalış, İ. (2016). Sürtünme karıştırma nokta kaynak tekniği ile birleştirilen farklı alüminyum levhaların Taguchi analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 17-23.
- Bilici, M.K., Yukler, A.İ., Kurtulmuş, M. ve Kaştan, A. (2018). The optimization of welding tool material and welding parameters in friction stir spot welding of plastics using Taguchi experimental design. *International Journal of Engineering science and application*, 2 (2), 47-53.
- Campanelli, L., Suhuddin, H., Santos, J. ve Alcântara, N. (2012). Parameters optimization for friction spot welding of AZ31 magnesium alloy by Taguchi method. *Scielo technical papers*, 17 (1), 26-31.
- Canıyılmaz, E. (2001). *Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir örnek uygulama* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.114660).

- Cho., Y., LI, W. ve Hu., S. (2006). Design of experiment analysis and weld lobe estimation for aluminum resistance spot welding. *Welding Journal*, 85 (3), 45-51.
- Çayır, E. B. (2020). Varyans analizi (anova) ve kovaryans analizi (ancova) ile deney tasarımı: Bir gıda işletmesinin tedarik süresine etki eden faktörlerin belirlenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 923-941.
- Çelik, S., Karaoğlan D. ve Ersözlü, İ. (2016). An effective approach based on response surface methodology for predicting friction welding parameters. *High Temperature Materials and Processes*, 35 (3), 235-241.
- Darwish, S. M., Al-Dekhial, S. D. (1999). Statistical models for spot welding of commercial aluminium sheets. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39 (10), 1589-1610.
- Demir, A. (2019). *Termoplastik malzemelerin ultrasonik kaynağı ve kaynak parametrelerinin kopma dayanımına etkisi ve optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 561066).
- Emre, H. (2018). Taguchi yöntemi ile nokta direnç kaynaklı TWIP çeliklerin dayanım optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 778- 787.
- Ersözlü, İ., Çelik, S. (2019). Artificial neural network application to the friction welding of AISI 316 and Ck 45 steels. *Kovove Mater*, 57, 199-205.
- Eşme, U., Bayramoğlu, M., Geren, N. ve Serin, H. (2006). TIG kaynağında kaynak dayanımının Taguchi metoduyla optimizasyonu. *TİMAK*, 1, 335-343.
- Giesbrecht, F. G. ve Gumpertz, M. L. (2004). Planning, construction and statistical analysis of comparative experiments, A John Wiley & Sons, Inc, Publication, New Jersey.
- Hussein, K. S. ve Barrak, S. O. (2015). Analysis and optimization of resistance spot welding parameter of dissimilar metals mild steel and aluminum using design of experiment method. *Engineering & Technical Journal*, 34 (7), 1383-1401.
- Hron, J., Macák, T. (2013). Application of design of experiments to welding process of food packaging. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae mendeliana brunensis*, 61 (4), 909-915.

- İş, U. (2017). *Bir otomobil fabrikası kaporta departmanında kaynak parametre çalışması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.497159).
- Karaoğlan, A.D., Kapçak, E. (2022). Taguchi metodu kullanılarak kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu: somun kaynak operasyonu için bir uygulama. VIII. INSAC-International Congress on Natural and Engineering Sciences- ICNES 2022, pp. 52-60, 18-20 Mart, 2022, Konya, Türkiye. **[Tezden türetilmiştir]**
- Kapucuoğlu, Ö.E., Akarçay, E. ve Aydın, İ. (2018). Otomotiv endüstrisinde kullanılan TWIP ve H420LAD çeliklerinin kaynak parametrelerinin optimizasyonu. *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress*, 282, 24-26.
- Kayı, Y. (2006). *Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 181891).
- Keskin, Ş. F. ve Yıldırım, S. T. (2016). Taguchi metoduyla deneysel tasarım kullanarak yalıtımlı harç için perlit ve taban külü kullanılabilirliğinin araştırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3 (1), 91-102.
- Lin, H., Chou, T. ve Chou, C. (2007). Optimization of the resistance spot welding process using Taguchi method and neural network. *Society for Experimental Mechanics*, 31 (5), 30-36.
- Montgomery D. C. (1991). *Design and Analysis of Experiments*, Wiley, Singapore.
- Montgomery, D. C. (2008). *Design and Analysis of Experiments*, 8th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Montgomery, D.C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*, 8th ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc, Hoboken, 449-544.
- Muhammad, N., Manurung, Y., Hafidzi, M., Abas, S., Tham G. ve Haruman, E. (2012). Optimization and modeling of spot welding parameters with simultaneous multiple response consideration using multi-objective Taguchi method and RSM. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26 (8), 2365-2370.
- Muhammad, N., Manurung, Y., Hafidzi, M., Abas, S., Tham G. ve Rahim, R. (2012). A quality improvement approach for resistance spot welding using multiobjective

- Taguchi method and response surface methodology. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 2 (3), 17-22.
- Muhammad, N. ve Manurung, Y. (2012). Design parameters selection and optimization of weld zone development in resistance spot welding. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 71, 1220-1225.
- Mutluk, F.Z., Toktamış, Ö., Kurt, S. ve Karağaoğlu, E., (2009). *Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*. Bornava, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Nasir, Z., Khan, M. (2016). Resistance spot welding and optimization techniques used to optimize its process parameters. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3 (5), 887-893.
- Özcan, A., Peşteli, V. ve Yöntem, O. (2018). Yüksek mukavemetli çelik sacların kaynaklanabilirliği ve direnç spot kaynağı parametrelerinin Taguchi metoduyla optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 333-350.
- Özden, E. (2020). *Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarım yöntemi ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.636096).
- Özgül, H. ve Arslan, S. (2018). Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 673-679.
- Pandey, A., Khan, M., Moeed, K. (2013). Optimization of resistance spot welding parameters using Taguchi method. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 0975 (5462), 234-240.
- Park, H., Kim, T. ve Rhee, S. (2002). Optimization of welding parameters for resistance spot welding of trip steel using response surface methodology. *International Journal of Korean Welding Society*, 43 (21), 47-50.
- Pashazadeh, H., Gheisari, Y. ve Hamed, M. (2016). Statistical modeling and optimization of resistance spot welding process parameters using neural networks and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27, 549-559.

- Pieta, G., Santos, J. ve Strohecker, T. (2013). Optimization of friction spot welding process parameters for aa2198-T8 sheets. *Materials and Manufacturing Processes*, 29 (8), 934-940.
- Plaineab, A., Gonzalezc, A., Suhuddina, U, Santosa, J.F., Alcântarab, N.G. (2015). The optimization of friction spot welding process parameters in AA6181-T4 and Ti6Al4V dissimilar joints. *Materials and Designs*, 83, 36-41.
- Prashanthkumar, V., Venkataram, N. ve Kumarswami, M. (2014). Process parameters selection for resistance spot welding through thermal analysis of 2 mm CRCA sheets. *Procedia Materials Science*, 5, 369-378.
- Raut, M. ve Achwal, V. (2014). Optimization of spot welding process parameters for maximum tensile strength. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research*, 3 (4), 506-517.
- Roy, R.K. (2001). Design of Experiments Using The Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Richmire, S., Hall, K. ve Haghshenas, M. (2018). Design of experiment study on hardness variations in friction stir welding of AM60 Mg alloy. *Science Direct*, 6, 215-228.
- Rostamiyana, Y., Seidanlooa A., Sohrabpoorb, H. ve Teimouric, R. (2015). Experimental studies on ultrasonically assisted friction stir spot welding of AA6061. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15, 335- 346.
- Şahin, E. (2008). *Robotik gazaltı kaynak parametrelerinden akım, gerilim ve kaynak ilerleme hızının Taguchi yöntemiyle optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 233547).
- Selova, L. (2019). *Üçlü Sac Elektrik Direnç Nokta Kaynak Birleştirmelerinde Kaynak Parametrelerinin İncelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 604534).
- Şenoğlu, B., Acıtaş, Ş. (2010). *İstatistiksel Deney Tasarımı: Sabit Etki Modeller*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Singh, N., K. ve Vijayakumar, Y. (2012). Application of Taguchi method for optimization of resistance spot welding of austenitic stainless steel AISI 301L. *Innovative Systems Design and Engineering*, 3 (10), 46-61.

- Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Taguchi, G. (1993). *Taguchi Methods: Design of Experiments (Taguchi Methods Series)*. Amer Supplier Inst.
- Taguchi, G. (2004). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. New York: John Wiley & Sons Inc, Hoboken.
- Tesui, K. (2007). An overview of Taguchi method and newly developed statistical methods for robust design, *IIE Transactions*, 24 (5), 44-57.
- Thakur, A. ve Nandedkar, V.M. (2010). Application of Taguchi method to determine resistance spot welding conditions of austenitic stainless steel AISI 304. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69, 680-683.
- Thakur, A., G., Rao, T., E., Mukhedkar, M. S. ve Nandedkar, V., M. (2010). Application of Taguchi method for resistance spot welding galvanized steel. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5 (11), 22-26.
- Tseng, H. (2006). Welding parameters optimization for economic design using neural approximation and genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 897-901.
- Tutar, M., Aydın, H. ve Bayram, A. (2018). Elektrik direnç punta kaynağı ile kaynak edilmiş twıp çeliklerinde kaynak parametrelerinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (4), 650-657.
- Utkarsh, S., Neel, P., Mahajan, M., Jignesh, P. ve Prajapati, R. (2014). Experimental investigation of mig welding for st-37 using design of experiment. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4 (5), 1-4
- Uzun, A., Eski, Ö. ve Çelik, E. (2017). Taguchi tekniği kullanılarak sae 1021/ dillidur 400/ dillimax 500 çeliklerinin sürtünme kaynağı için işlem parametrelerinin optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 53-62.
- Ünlükal, E. (2007). *Otomotiv sanayinde kullanılan direnç nokta kaynak kalitesinin artırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 223646).

- Yaprak, R.E. (2019). *Tekstil endüstrisi atık sularının yeniden kullanımının taguchi deneysel tasarım metodu ile optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.595996).
- Yavuz, N., Özcan, R. ve Polat, F. (2005). Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10, 9-19.
- Yıldırım, M.S., Kaya, Y., Çakıroğlu, R., Gülenç, B., Kahraman, N. ve Durgutlu, A. (2018). Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen titanyum levhaların çekme makaslama dayanımlarının taguchi metoduyla optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 22 (3), 567-573.
- Yue, X., Tong, G., Chen, F., Ma, X. ve Gao, X. (2016). Optimal welding parameters for small scale resistance spot welding with response surface methodology. *Science and Technology of Welding and Joining*, 22 (2), 143-149.
- Zhao, D., Ivanov, M., Wang, Y., Liang, D. ve Du, W. (2021). Multi objective optimization of the resistance spot welding process using a hybrid approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32, 2219-2234.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ecem Kapçak
Doğum tarihi ve yeri : 06.10.1992 / ANKARA
e-posta : ecemkapcak@outlook.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2022
Lisans	Erciyes Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2014
Lise	Etimesgut Anadolu Lisesi	2010

Yayın Listesi

Karaoğlan, A.D., Kapçak, E. (2022). Taguchi metodu kullanılarak kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu: somun kaynak operasyonu için bir uygulama. VIII. INSAC-International Congress on Natural and Engineering Sciences- ICNES 2022, pp. 52-60, 18-20 Mart, 2022, Konya, Türkiye. **[Tezden türetilmiştir]**