

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA OPTİMUM KAYNAK
PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ**

ALİ SABIRLI

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA OPTİMUM KAYNAK
PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ

ALİ SABIRLI

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Celal ÖZKALE

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CİHAN

Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi : 14.01.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu proje direnç nokta kaynak parametrelerinin deneysel tasarım yöntemiyle optimizasyonu için yapılmıştır.

Bu çalışmada bana destek veren, yönlendiren, tecrübelerini paylaşan ve her aşamada yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn. Prof. Dr. Alpaslan FİĞLALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda her türlü desteği sağlayan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatın her aşamasında desteklerini hissettiğim ve eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2020

Ali SABIRLI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2. DENEY TASARIMI.....	4
2.1. Deney Tasarımının Tarihçesi	5
2.2. Deney Tasarımının Amacı.....	5
2.3. Deney Tasarımı Uygulama Adımları	5
2.4. Deney Tasarımı Metotları	6
2.4.1. Tam faktöriyel deney tasarımı	7
2.4.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı	7
3. TAGUCHI METODU.....	9
3.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi.....	10
3.1.1. Sistem tasarımı.....	10
3.1.2. Parametre tasarımı	10
3.1.3. Tolerans tasarımı	11
3.2. Taguchi Ortogonal Diziler.....	12
3.3. Sinyal / Gürültü (S/N) Oranı	13
3.4. Etkin Parametrenin Belirlenmesi.....	14
4. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMİ	16
4.1. Otomotiv Sektöründe Nokta Direnç Kaynağının Önemi	16
4.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çevrimi.....	18
4.2.1. Sıkıştırma zamanı	19
4.2.2. Kaynak zamanı	19
4.2.3. Tutma zamanı	19
4.2.4. Ölü süre.....	19
4.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Oluşumu	20
4.4. Otomotivde Kullanılan Nokta Direnç Kaynağı Makina Sistemleri	21
4.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Parametreleri.....	23
4.5.1. Kaynak akımı.....	24
4.5.2. Kaynak basıncı (Elektrot kuvveti)	25
4.5.3. Kaynak zamanı	25
4.6. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Kaynak Kalitesini Artırıcı Çalışmalar	26
4.6.1. Kaynak parametreleri (Akım - Basınç - Süre).....	27
4.6.2. Elektrod malzemesi, çapı ve tipleri	29
4.6.3. Elektrod hizalaması ve alt-üst çene uyumu	30
4.6.4. Elektrot soğuması	31
4.6.5. Elektrod tıraşlama ve değişim sıklığı	33

4.6.6. Sac kalınlığı ve temizliği	35
4.6.7. Saclar arasındaki boşluklar ve birleşim yerleri.....	35
4.7. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesi Kontrol Yöntemleri	36
4.7.1. Keski çekici yöntemi	36
4.7.2. Ultrasonik ölçümler	37
5. UYGULAMA	38
5.1. Deneylerin Analizi	43
5.2. Deney Sonuçlarının Sağlaması.....	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	55
ÖZGEÇMİŞ	56



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Proses veya sistemin genel.....	4
Şekil 2.2. Tam faktöriyel deney tasarımı	7
Şekil 2.3. Kesirli faktöriyel deney tasarımı.....	8
Şekil 3.1. Taguchi kayıp fonksiyonu.....	9
Şekil 3.2. Taguchi kalite kontrol sistemi.....	10
Şekil 3.3. Taguchi yöntemi akış şeması	11
Şekil 3.4. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu	12
Şekil 3.5. Etkin parametrenin grafik üzerinde gösterimi	15
Şekil 4.1. Elektrik direnç nokta kaynağı	16
Şekil 4.2. Kaynak işlemi tamamlanmış araç	17
Şekil 4.3. Aracın metal kısmının tamamlanmış hali	18
Şekil 4.4. Elektrik direnç nokta kaynak çevrimi	19
Şekil 4.5. Nokta kaynağında oluşan dirençler.....	20
Şekil 4.6. Nokta kaynağında oluşan direnç değişimi	21
Şekil 4.7. Askı tipi kaynak makinası.....	22
Şekil 4.8. Robotlu kaynak makinası.....	22
Şekil 4.9. Örnek T.C.	23
Şekil 4.10. Akım yoğunluğunun kaynak noktasına etkisi.....	24
Şekil 4.11. Uygulanabilir akım aralığı	24
Şekil 4.12. Kaynak basıncının kaynak noktasına etkisi	25
Şekil 4.13. Kaynak süresinin kaynak noktasına etkisi	26
Şekil 4.14. RSW kaynak kalitesini etkileyen faktörler	26
Şekil 4.15. Çapak sıçramasına örnek gösterim	27
Şekil 4.16. RSW kaynak akımı ve süresi kontrol sistemine bir örnek.....	28
Şekil 4.17. Robot pendantı ve basınç ayarına bir örnek.....	28
Şekil 4.18. 13 mm ve 16 mm küresel tip	29
Şekil 4.19. Farklı tip elektrodlar	29
Şekil 4.20. Saca yapışan çapak örneği	30
Şekil 4.21. Elektrod hizalaması.....	30
Şekil 4.22. Alt - Üst çene	31
Şekil 4.23. Uç yapışmasına bir örnek.....	32
Şekil 4.24. Elektrod soğutma sistemi	32
Şekil 4.25. Uç tıraşlama öncesi ve sonrası Durumu	33
Şekil 4.26. Kopuk punta kaynak noktaları	33
Şekil 4.27. Otomatik uç tıraşlama ekipmanı	34
Şekil 4.28. Manuel ve otomatik uç değişimine örnek	34
Şekil 4.29. Saclar arasındaki boşluk	35
Şekil 4.30. Saclar arasındaki köşe birleşim noktası	36
Şekil 4.31. Keski testi	36
Şekil 4.32. Ultrasonik test	37
Şekil 5.1. X tipi kaynak makinası ve 16 mm uç.....	40
Şekil 5.2. Parça üzerinde sekans numaralarının gösterimi.....	40
Şekil 5.3. Pnömatik hilti.....	41

Şekil 5.4. Koparılmış kaynak noktaları..... 41



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Taguchi ortogonal dizi örnek model.....	15
Tablo 5.1. Faktörler ve seviyelerin değerleri	39
Tablo 5.2. Çekirdek çapı ölçüm sonuçları ve rassallaştırma.....	42
Tablo 5.3. Farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları	42
Tablo 5.4. ANOVA testi sonuçları.....	43
Tablo 5.5. Taguchi S/N oranı	44
Tablo 5.6. Taguchi S/N oranı grafiği	44
Tablo 5.7. Taguchi optimum değerler.....	45
Tablo 5.8. Doğrulama deneyleri	46
Tablo 5.9. Taguchi tahmini	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

Al	: Alimünyum
cm	: Centimeter (Santimetre)
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
CYC	: Cycle (Döngü)
F	: Frekans
Hz	: Hertz (Frekans birimi)
kA	: Kiloamper
Kgf	: Kilogram Force (Kilogram Kuvvet)
mm	: Milimeter (milimetre)
NDT	: Non Destructive Testing (Tahribatsız Muayene Yöntemi)
RSW	: Resistance Spot Welding (Direnç Nokta Kaynağı)
Sn	: Saniye
S/N	: Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
T	: Periyot
T.C.	: Timer Controller (Kaynak Kontrol Paneli)
Zr	: Zirkonyum

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA OPTİMUM KAYNAK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Otomotiv sektöründe kaporta birleştirme işleminde elektrik direnç (punta) kaynağı yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulanan kaynak parametreleri aracın kalitesini doğrudan etkilemektedir. Kaynak parametrelerinin uygun olmaması; yüksek çevrim süresine, istenilmeyen çapakların oluşmasına, kaynak noktalarının kopmasına, enerji ve maliyetlerin artmasına sebep olabilmektedir.

Kaynak parametrelerinin her değerinin kalite üzerine etkisini araştırmak ve deneyleri uygulamak uzun zaman ve uğraş almaktadır ve maliyetli olmaktadır. Daha az deney ile istenilen parametre değerlerini elde etmek için deney tasarımı yöntemleri kullanılabilir.

Bu çalışmada taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak kaynak kalitesinin ve kaynak kopmalarının bir ölçütü olan çekirdek çapı için uygulanması gereken optimum parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekirdek Çapı, Deney Tasarımı, Elektrik Direnç Kaynağı (RSW), Taguchi.

DETERMINATION OF OPTIMUM ELECTRIC RESISTANCE WELDING PARAMETERS BY TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

Electric resistance (spot) welding is used extensively in the automotive industry for body assembly process. Applied welding parameters directly affect the quality of the car. If the welding parameters are not applied appropriately, it can cause high cycle time, unwanted burrs, separation and deformation of welding points and increased energy and costs.

Investigation and applying the experiments of effect each value of the welding parameters on quality takes a long time, effort and cost. Experiment design methods can be used to obtain the desired parameter values with fewer experiments.

In this study, it was aimed to determine the optimum welding parameters that should be applied for the nugget size, which is a measure of welding quality and welding separation, by using the Taguchi experiment design method.

Keywords: Nugget Size, Experimental Design, Electric Resistance Welding (RSW), Taguchi,

GİRİŞ

Deney tasarımı metotları günümüzde farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle çok fazla sayıda deney yapılmasının önüne geçerek maliyetin azaltılmasına ve çok fazla zaman harcamadan gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Deney tasarımı metotları, sisteme ait giriş parametrelerindeki değişikliklerin, sistem çıktılarına nasıl etkilediğinin sentezinin yapılmasını sağlayarak, sisteme en uygun giriş parametrelerinin seçilmesini sağlayan istatistiksel metotlardır. (Aytekin, 2014)

Otomotiv sektöründe sac parçalarının birleştirilmesi işleminde kaynak metotları etkin olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan kaynak yöntemlerin başında ise elektrik direnç kaynağı gelmektedir.

Uzun yıllardır, hafif çelik gövde yapılarının birleştirilmesi direnç nokta kaynağı (RSW) kullanılarak yapılmıştır. Mekanik sabitleme ve perçinleme gibi diğer yöntemlerin aksine, direnç nokta kaynağının işlemi hızlı, esnek ve bakımı kolaydır. Ayrıca, otomotiv endüstrisindeki kullanımı köklü geçmişe dayanmaktadır. Dolayısıyla alüminyum sac parçaların birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı kullanılması güçlü bir tercihtir.

Yüksek tonaj kapasiteli kalıplarda şekil verilen sac parçalar, kaynatılarak ana gövdeyi oluşturur. Bir araçta ortalama 4000 adet kaynak noktası bulunduğunu düşünürsek bu kaynakların kalitesi aracın kalitesini doğrudan etkilemektedir. (Şener, 2019)

Kaliteli kaynak, doğru kaynak parametrelerinin uygulanmasıyla elde edilir. Bu parametrelerin seçimi sac kalınlığına, kaç sacın birleştirildiğine, malzemenin özelliğine göre proseste değişiklik gösterebilir. Elektrik direnç kaynak kalitesini etkileyen diğer bazı faktörler uygulanan akım değeri ve süresi, uygulanan basınç, kullanılan elektrodun çapı, malzemesi ve yapısı, elektrod tıraşlama ve değişim zamanı, kaynak noktasının pozisyonu, kaynatılan sacların temizliği, sacların doğru birleşimi gibi sıralanabilir.

Bu çalışma deney tasarım metodu kullanarak, otomotiv sektöründe en çok kullanılan elektrik direnç kaynak yönteminde en doğru kaynak parametrelerinin seçimine yönelik yapılan bir çalışmadır.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde deney tasarımı ve kaynak kalitesi ile ilgili çok farklı alanlarda çalışma yapılmıştır.

Meral ve diğ., (2011) yaptıkları çalışmada taguchi L9 ortogonal dizisini kullanarak kaplamalı ve kaplamasız matkapların delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin performansını araştırmıştır. Deneyde iki farklı tip ve üç değişik çapta matkap kullanılarak toplam 18 deney yapılmıştır. Kesme kuvvetini etkileyen faktörler, matkap çapı kesme hızı ve ilerleme olarak belirlenmiş, yapılan deneyler sonrasında ise kesme hızının diğer iki faktöre göre daha az etkili olduğu görülmüştür.

CHO ve diğ., (2006) tarafından yapılan çalışmada, değişik kaynak koşullarının alüminyum kaynak kalitesi üzerindeki etkileri deney tasarımı ve istatistiksel modelleme yaklaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Hem kaynak proses parametreleri, hem de kaynak ucunun yanlış hizalanması ve parça uyumsuzluğu gibi anormallikler incelenmiştir. Deney 2mm kalınlığında alüminyum alaşımı malzeme kullanılarak yapılmıştır. Deney tasarımında, anormal proses koşulları ve kaynak akımı (I), kaynak zamanı (T) ve elektrot kuvveti (F) gibi ana kaynak parametreleri dikkate alınmıştır. Kabul edilebilir kaynaklar, ısının %48 ile %65 arasındayken, kaynak süresi 8 döngü olduğunda yapılabilmektedir.

Sonuç olarak, orta derecede elektrot kuvveti uygulandığında, kabul edilebilir akım aralığının en geniş olduğu belirtilmiştir. Hem düşük hem de yüksek elektrot kuvveti, kabul edilebilir akım aralığının genişliğini azaltacaktır, bu da daha az sağlam bir kaynak işlemi anlamına gelmektedir. Anormal proses koşulları arasında, parçaların uyumsuz yerleştirilerek kaynatılması, alüminyum direnç nokta kaynağının kalitesi üzerinde en zararlı etkiye sahip olmaktadır. Bu durumun küçük kaynak çaplarına ve dolayısıyla zayıf bağlantılara neden olduğu belirtilmiştir.

Canıylmaz ve Kutay (2003) yaptıkları çalışmada L16 ortogonal dizisini kullanarak, şalter gövdelerinin üretim prosesindeki en uygun koşulları araştırmıştır. Prosesi

etkileyen 10 farklı faktör belirtilmiş ve bu faktörlerden 3'ü kontrol edilemeyen faktörler olarak belirlenmiştir. Her bir faktör için iki farklı seviye belirlenmiş ve her deney 5 defa tekrarlanmıştır. Varyans analizi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metotları ile en uygun proses koşulları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak en uygun proses koşulları, kalıplama süresinin ve hazırlanan hamurun bekleme süresinin 2. seviye, diğer faktörlerin 1. seviye olduğu koşullar olarak belirlenmiştir.

Taylan (2009) yaptığı çalışmada, 8 serbestlik derecesine sahip taguchi L9 ortogonal dizisini kullanarak, bir fırında yakılacak 3 farklı kimyasal maddenin fırına zarar vermeden en fazla hangi oranda karıştırılarak yakılabileceğini araştırmışlardır. Çalışma 4 farklı faktör ve her bir faktör için 3 seviye belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 81 farklı deney yapmak yerine taguchi metodu ile optimum karışım belirlenmiştir.

Hasgöl (2011) gıda sektöründe yaptığı çalışmada 2^3 faktöriyel deney tasarımı metodunu kullanarak, ısı ile pişirilen ürünlerin ağırlığını etkileyen faktörlerin, ürünün ağırlığını en yüksek düzeyde tutmak için gereken seviyeleri belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda, seçilen bir ürün için pişirmede etkili olan faktörlerin optimum seviyesi belirlenmiş ve bu değerlerde pişirim yapıldığında en yüksek ağırlığın elde edileceği öngörülmüştür.

Ahmad ve diğ., (2019) yaptıkları çalışmada, ark kaynağı prosesini etkileyen parametrelerin optimizasyonunu araştırmışlardır. Deney tasarımı olarak taguchi L16 ortogonal dizisini kullanılmıştır. Prosesi etkileyen parametreler akım, gerilim, ilerleme hızı ve ısı olarak belirlenmiştir. Bu faktörlere bağlı olarak, kopma mukavemeti, sertlik, kaynak teli kullanma oranı, takviye yüksekliği ve tane genişliği sonuçları araştırılmıştır. Bu çıktılara bağlı olarak en ideal kaynak faktörleri taguchi yöntemiyle belirlenmiştir.

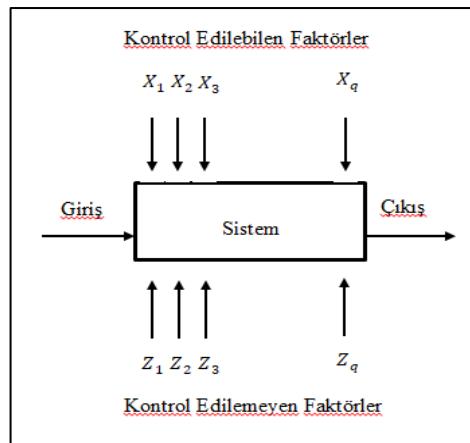
2. DENEY TASARIMI

Deney tasarımı, çeşitli faktörler (değişkenler) ve bunlara verilen cevaplar arasındaki ilişkiyi bulmak anlamına gelmektedir. (Yılmaz, 2017)

Daha az maliyetle daha çok kaliteli ürünlerin elde edilebilmesi için, istatistiksel metotlarla teknolojinin birlikte kullanılmasında fayda vardır. Kalite yükseltme hedefleri doğrultusunda geliştirilen ve uygulanan farklı metotlar bulunmaktadır. Bu metotlardan birisi de deney tasarımıdır. (Akman, 2011)

Deney tasarımı, bir prosesi etkileyen kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerdeki değişimlerin, proses sonucuna etkilerini gösterir. Bu etkiler gözlemlenir, yorumlanır ve prosese uygun girdiler seçilerek uygulanır. (Akman, 2011)

Deney tasarımı, proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve proses değişkenliğinin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Sistemin veya sürecin genel modeli şekil 2.1'de gösterilmiştir. X_1, X_2, \dots, X_q kontrol edilebilir ve Z_1, Z_2, \dots, Z_q kontrol edilemeyen faktörleri temsil etmektedir. (Ramier, 2015)



Şekil 2.1. Proses veya sistemin genel modeli (Ramier, 2015)

2.1. Deney Tasarımının Tarihçesi

Deney tasarımı İngilizler tarafından keşfedilen istatistiksel bir yöntemdir. İstatistik biliminin en önemli isimlerinden biri olan R.A. Fisher tarafından bulunan bu yöntem, 1920'li yılların başlarında tarım alanında uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Fisher, ürün verimliliğine en büyük katkıyı sağlayan gübreyi bulmak için, öncelikle ürünlerin gelişimini gözlemlemek için bloklar halinde toprağı ayırmış, daha sonra bu bloklara rastgele çeşitli ürünler ve gübreler dağıtmıştır. Fisher'in yapmış olduğu bu deneyler, deney tasarımının temelini oluşturmuştur.

Fisher ayrıca deneyleri analiz etmek için günümüzde klasik bir yöntem olarak bilinen varyans analizini de (ANOVA) geliştirmiştir. Deney tasarımı ABD'de kısa sürede yayılmış ve üretimin geliştirilmesi için uygulanarak, Amerika'nın bu konuda lider olmasına katkıda bulunmuştur.

1970'lere kadar batıda bilinmeyen deney tasarımının temel prensipleri, Japonya'da geniş bir uygulama alanına sahipti. Japon mühendisler deney tasarımına yoğun ilgi gösterdiler ve sonunda deney tasarımı yöntemleri Amerika'da olduğu gibi çok daha güçlü bir mühendislik aracı haline geldi. Japon mühendislerden biri olan Taguchi, 1980'lerin başında deney tasarımına yeni bir yaklaşım getirmiş ve kendi adını verdiği, güçlü bir yöntem geliştirmiştir. (Ramier, 2015)

2.2. Deney Tasarımının Amacı

Deney hatalarını en aza indirmek deney tasarımının ana amaçlarından bir tanesidir. Genel olarak deney tasarımı en az kaynak, süre ve maliyet ile en iyi ve doğru verileri toplamayı amaçlar. (Gökçe ve Taşgetiren, 2009)

Herhangi bir konuda deneyleri yapan ve uygulayan araştırmacının amacı, çalışılan konuyla ilgili kesin sonuçlar bulmak veya konuyla ilgili varsayımlarda doğru kararlar vermektir. Deney tasarımı daha az veriyle yapıldığından, verilen kararların doğru olmayabileceği riski unutulmamalıdır. (Çelebi, 2015)

2.3. Deney Tasarımı Uygulama Adımları

Deney tasarımının uygulama aşamaları genel olarak 7 madde ile özetlenebilir.

- 1) Problemin Belirlenmesi ve tanımlanması
- 2) Sistemi Etkileyen Faktörlerin ve Düzeylerin Belirlenmesi
- 3) Deneysel Tasarımın Seçilmesi
- 4) Verilerin Toplanması ve Deneylerin Gerçekleştirilmesi
- 5) Verilerin Analizi
- 6) Sonuçların Analizi
- 7) Doğrulama Deneylerinin Uygulanması

Deneysel tasarımın en kritik adımlarından biri kalite probleminin doğru belirlenmesidir. Problemin en açık haliyle belirlenmesi çözüme giden yolu basitleştirecek ve daha anlaşılır olmasını sağlayacaktır

Sonraki aşamada sisteme etki eden bütün faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bazı faktörlerin etkisi sisteme direkt yansırken bazı faktörlerin etkisi sabit tutulabilmektedir. Deneye dahil edilmeyen faktörlerin nedeni belirtilmelidir.

Deneysel tasarımı, yapılacak olan deney tekrar sayısına, sırasına ve maliyetine göre uygun olarak seçilmelidir.

Sistemi analiz edebilmek için gereken veriler toplanır ve deneysel tasarımı ilkelerine dikkat edilerek deneyler gerçekleştirilir.

Verilerin analiz edilmesi aşamasında farklı metotlar kullanılabilir. Normal olasılık grafiği ve varyans analizi bu metotlara örnek olarak verilebilir. Veri analizi yapabilmek için paket programlar da bulunmaktadır. 'Minitab' bu paket programlarından birine örnek olarak verilebilir.

Veri analizleri yapıldıktan sonra sisteme en uygun faktör düzeylerine ilişkin sonuçlar oluşturulabilir. Belirlenen en uygun parametreler kullanılarak deneyler tekrar gerçekleştirilir ve sisteme etkisi kontrol edilir.

2.4. Deneysel Tasarım Metotları

Deneysel tasarım metotları, tam faktöriyel ve kesirli faktöriyel olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

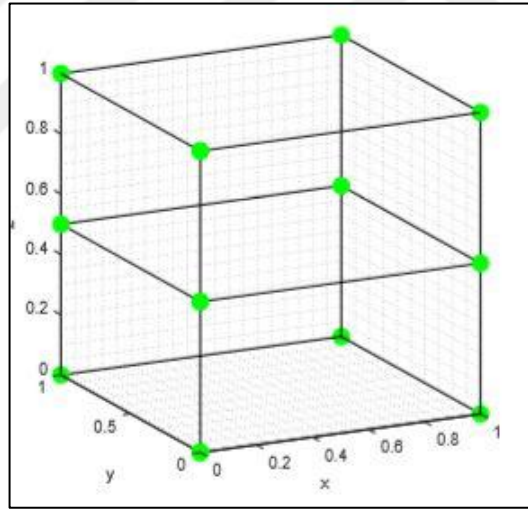
2.4.1. Tam faktöriyel deney tasarımı

En az iki veya daha fazla faktörün , her faktöre ait en az iki seviyesi ele alınarak etkilerinin incelenebildiği deney tasarım metodudur. Tam faktöriyel deney tasarımında yapılacak deney sayısı,

$$N=n^k \quad (N: \text{deney sayısı, } n: \text{seviye sayısı, } k: \text{faktör sayısı}) \quad (2.1)$$

formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. (Zümrüt, 2009)

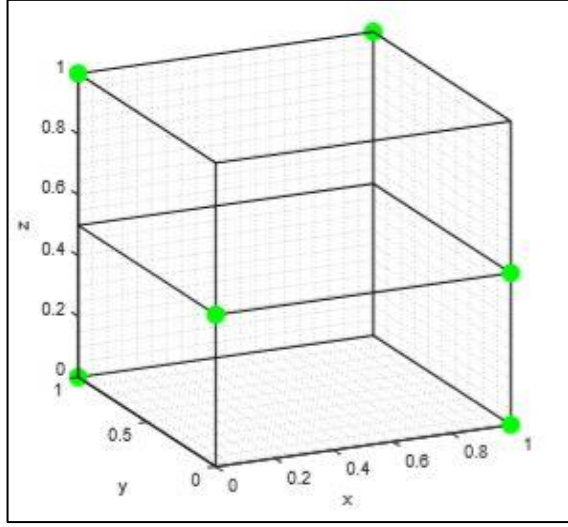
Tam faktöriyel tasarımlar, faktörlerin birbirleriyle etkileştiği olası tüm kombinasyonları dikkate alır. Başka bir deyişle, farklı seviyelere sahip birden fazla faktör olduğunda, parametrelerin etkileşimlerini araştırmak için her faktörü ve bunların değerini birbiriyle kesen deney tasarımlarıdır. Şekil 2.2’de 3 faktörün bulunduğu bir sisteme ait tam deney tasarımı gösterilmektedir. (Savaş, 2019)



Şekil 2.2. Tam faktöriyel deney tasarımı (Savaş, 2019)

2.4.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı

Tam faktöriyel tasarımların aksine, kesirli faktöriyel deney tasarımları tüm muhtemel kombinasyonların alt kümesinden oluşmaktadır. Bu alt küme, faktörler arasındaki etkileşimin ön bilgisi kullanılarak belirlenir. Bu şekilde tüm kombinasyonlar yerine, gerekli olmayan deneylerin yapılmaması harcanacak çaba ve zamanı azaltmaktadır. Şekil 2.3’de 3 faktörün bulunduğu bir sisteme ait kesirli faktöriyel deney tasarımı gösterilmektedir. (Savaş, 2019)



Şekil 2.3. Kesirli faktöriyel deney tasarımı
(Savaş, 2019)

Taguchi deney tasarımı metodu, kesirli faktöriyel deney tasarımına ait bir metottur.

3. TAGUCHI METODU

Ürün ve süreç iyileştirme üzerine sistematik istatistiksel yaklaşım Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik, kalite konularını tasarım aşamasına aktararak süreç iyileştirme yoluyla olumsuz etkilerin önlenmesine odaklanmaktadır. Taguchi, kaliteyi artırmanın birincil aracı olarak varyasyonu en aza indirmenin önemine vurgu yapmaktadır. (Dieter, 2000)

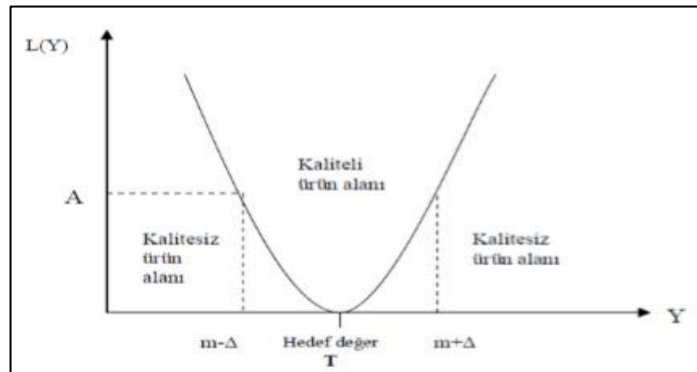
Taguchi, ürünün kalite düzeyini, ürünün beklenen performansı sağlayamaması ve işletme maliyeti de dahil olmak üzere ürünün zararlı yan etkileri nedeniyle toplumun maruz kaldığı toplam kayıp olarak tanımlar. Konseptte, bir ürünün müşteriye sunulduğu andan itibaren bir miktar kayıp kaçınılmazdır fakat en az kayıp olması, müşteri tarafından arzu edilen kalitede ürünler sağlar. Çeşitli ürün tasarımlarını ve üretim süreçlerini karşılaştırarak bu kaybın miktarını belirlemek çok önemlidir. Bu miktar, ikinci dereceden bir kayıp fonksiyonu ile belirlenir. (Kabaklı, 2009)

Taguchi kayıp fonksiyonu denklemi,

$$\text{Kayıp} = k (Y - T)^2 \quad (3.1)$$

olarak belirtilmektedir. Burada Y: ölçülen değer, T: hedef değer, k: sapma katsayısını ifade etmektedir. (Şirvancı, 1997)

Şekil 3.1’de taguchi kayıp fonksiyonu grafiği gösterilmektedir.

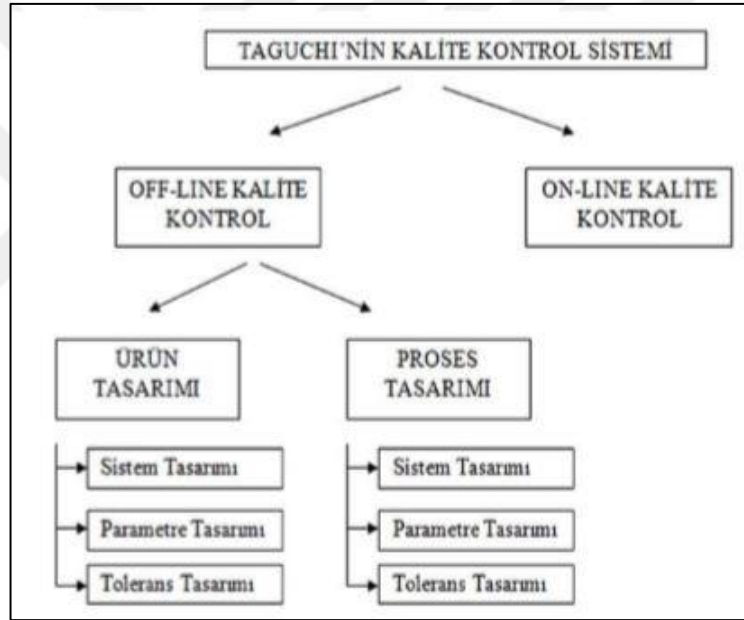


Şekil 3.1. Taguchi kayıp fonksiyonu (Şirvancı, 1997)

3.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

Kalite için yapılan çalışmalar taguchi tarafından çevrim içi (on-line) ve çevrim dışı (off-line) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Deney tasarımı ise taguchi kalite kontrol sisteminin çevrim dışı kontrol içinde ürün ve proses tasarım süreçlerinde kullanılmaktadır. (Koral, 2018)

Şekil 3.2’de taguchi kalite kontrol sistemi gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi kalite sağlama adımları çevrim dışı kalite kontrol altında hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için 3 adıma ayrılmıştır. Bu aşamalar sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak belirlenmiştir. (Mercan, 2019)



Şekil 3.2. Taguchi kalite kontrol sistemi (Şirvancı, 1997)

3.1.1. Sistem tasarımı

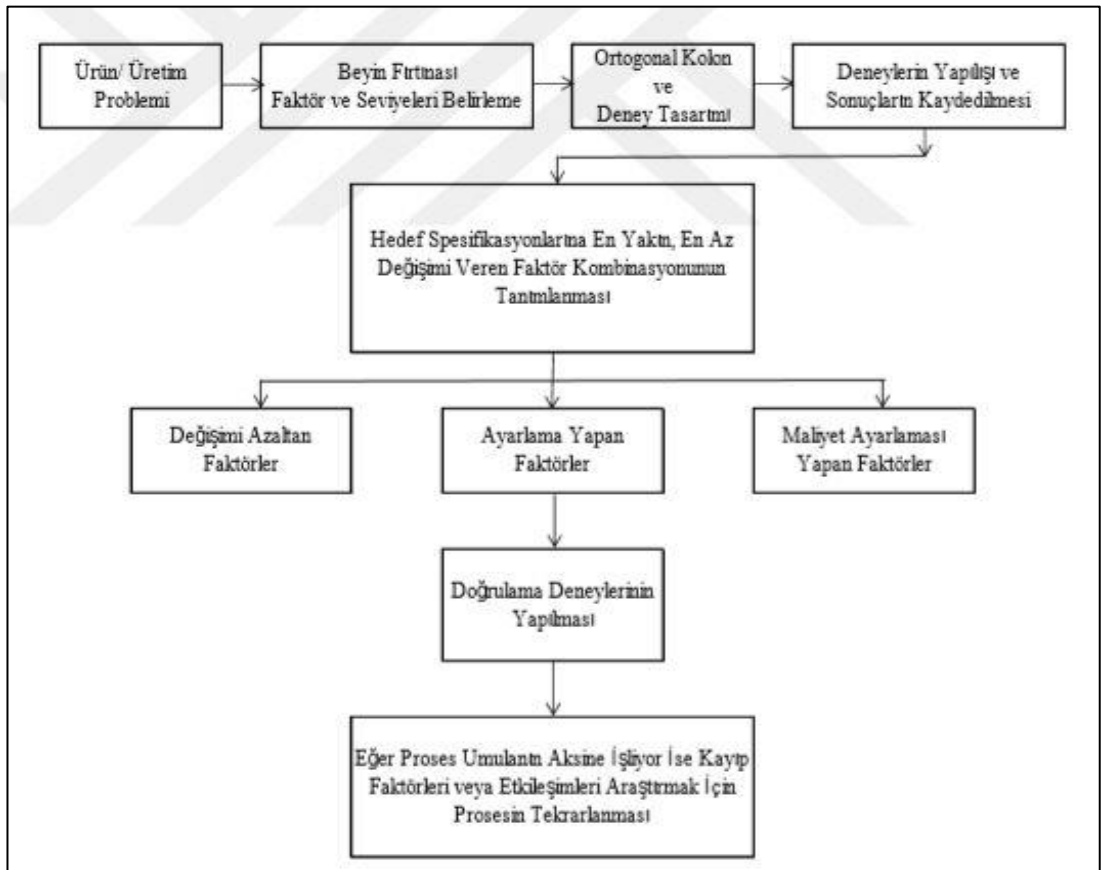
Sistem tasarımı taguchi metodunun ilk adıımıdır. Bu adımda bütün veriler, teknolojik metotlar ve yeni teknolojiler değerlendirilerek sisteme uygunluğu ve kullanılabilirliği araştırılır. (Kamber, 2019)

3.1.2. Parametre tasarımı

Bu adımda sisteme etki eden bütün parametreler belirlenir. Bu parametrelere en uygun seviyeler seçilir. Sisteme etki eden ve kontrol edilemeyen faktörler de

belirlenir ve etkilerinin en aza düşürülmesi hedeflenir. Etkin parametreler bloklanırken Taguchi ortogonal dizilerinden faydalanılmaktadır. Bütün parametreler ve seviyeleri belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizilerinden en uygun dizinin seçilmesi gerekmektedir. Bundan sonra sinyal gürültü oranı (S/N) analizi ile sisteme ait hesaplamalar yapılmaktadır. (Kamber, 2019)

Parametre tasarımının akış şeması şekil 3.3’de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi parametre tasarımına ait faktörler, seviyelerin belirlenmesi ve uygun ortogonal dizilerin seçimi akışın ilk adımlarında olduğu için önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.3. Taguchi yöntemi akış şeması (Merican, 2019)

3.1.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımında, yapılan gözlemler ele alınarak sistemin hedef değerine göre oluşan sapmalar bulunur ve bu sapmalar azaltılır. (Kamber, 2019)

Tolerans tasarımında üç farklı kalite değişkeni bulunmaktadır.

- 1) En küçük en iyi,
- 2) En büyük en iyi,
- 3) Hedef değer en iyi. (Gür ve Kaya, 2017)

3.2. Taguchi Ortogonal Diziler

Ortogonal diziler faktörler ve seviyeleri belirlendikten sonra, hangi deneyde faktöre ait hangi seviyenin kullanılacağını belirlemektedir. (İçen, 2019)

Şekil 3.4'de taguchi ortogonal dizi seçim tablosu gösterilmektedir. Örnek olarak 4 faktör ve 3 seviyeye sahip bir sistem için L9 dizisinin seçilmesi en uygun olacaktır. Görüldüğü gibi tam faktöriyel deney tasarımı yapılırsa $3^4 = 81$ deney yapılması gerekirken, taguchi metodu ile ortogonal dizi kullanarak 9 deney ile bu işlem yapılabilmektedir.

		SEVİYE SAYISI										
		2		3		4		5				
PARAMETRE SAYISI	P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L' 16	P=2	S=5	L25
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
	P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5	
	P=5	S=2		P=5	S=3	P=5	S=4	P=5		S=5		
	P=6	S=2	L8	P=6	S=3	L18	P=6	S=4	L' 32	P=6	S=5	L50
	P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5	
	P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5	
	P=9	S=2	P=9	S=3	P=9		S=4	P=9		S=5		
	P=10	S=2	L11	P=10	S=3	L27	P=10	S=4	L' 32	P=10	S=5	L50
	P=11	S=2		P=11	S=3		P=11	S=4		P=11	S=5	
	P=12	S=2		P=12	S=3		P=12	S=4		P=12	S=5	
	P=13	S=2	P=13	S=3	P=13		S=4	P=13		S=5		
	P=14	S=2	L16	P=14	S=3	L36	P=14	S=4	L' 32	P=14	S=5	L50
	P=15	S=2		P=15	S=3		P=15	S=4		P=15	S=5	
	P=16	S=2		P=16	S=3		P=16	S=4		P=16	S=5	
	P=17	S=2	P=17	S=3	P=17		S=4	P=17		S=5		
	P=18	S=2	L11	P=18	S=3	L27	P=18	S=4	L' 32	P=18	S=5	L50
	P=19	S=2		P=19	S=3		P=19	S=4		P=19	S=5	
	P=20	S=2		P=20	S=3		P=20	S=4		P=20	S=5	
	P=21	S=2	P=21	S=3	P=21		S=4	P=21		S=5		
	P=22	S=2	L16	P=22	S=3	L36	P=22	S=4	L' 32	P=22	S=5	L50
	P=23	S=2		P=23	S=3		P=23	S=4		P=23	S=5	
	P=24	S=2		P=24	S=3		P=24	S=4		P=24	S=5	
	P=25	S=2	P=25	S=3	P=25		S=4	P=25		S=5		
	P=26	S=2	L11	P=26	S=3	L27	P=26	S=4	L' 32	P=26	S=5	L50
	P=27	S=2		P=27	S=3		P=27	S=4		P=27	S=5	
	P=28	S=2		P=28	S=3		P=28	S=4		P=28	S=5	
	P=29	S=2	P=29	S=3	P=29		S=4	P=29		S=5		
	P=30	S=2	L16	P=30	S=3	L36	P=30	S=4	L' 32	P=30	S=5	L50
	P=31	S=2		P=31	S=3		P=31	S=4		P=31	S=5	
	P=32	S=2		P=32	S=3		P=32	S=4		P=32	S=5	
P=33	S=2	P=33	S=3	P=33	S=4		P=33	S=5				

Şekil 3.4. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu

Ortogonal dizilerin seçiminde toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör grubuna ait toplam serbestlik derecesi tüm faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin ayrı ayrı serbestlik derecesi toplamıdır. Toplam deney sayısı, faktör grubuna ait toplam serbestlik derecesinden 1 fazla olmalıdır. (Canıyılmaz ve Kutay, 2003]

Serbestlik derecesi hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

k_A : A faktörünün seviye sayısı , V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

k_B : B faktörünün seviye sayısı , V_B : B faktörünün serbestlik derecesi

k_C : C faktörünün seviye sayısı , V_C : C faktörünün serbestlik derecesi

V_{A*B} : A ile B faktörlerinin etkileşiminin serbestlik derecesi olmak üzere ,

$$V_A = k_A - 1 , V_B = k_B - 1 , V_C = k_C - 1 \quad (3.2)$$

$$V_{A*B} = V_A * V_B = (k_A - 1) * (k_B - 1) \quad (3.3)$$

3.2 ve 3.3 formülleri ile hesaplanmaktadır.

V_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N : Dizinin toplam deney sayısı olmak üzere ,

$$N = V_T + 1 \quad (3.4)$$

olmaktadır. Bu şekilde serbestlik derecesi belirlenen faktörlere uygun ortogonal dizi seçmek oldukça kolaylaşmaktadır.

3.3. Sinyal / Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi, varyasyonu azaltmayı hedefleyen ve deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılan, bir dizi istatistik geliştirmiş ve buna sinyal/gürültü (S/N) oranı adını vermiştir. (Koral, 2018)

Deneyin amaç ve hedeflerine göre; en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi olacak şekilde 3 ayrı S/N değişim fonksiyonu bulunmaktadır. Burada amaç

varyasyonu minimuma indirmektir. Aşağıdaki denklemlerde bu fonksiyonların hesaplamaları belirtilmiştir.

En küçük en iyi fonksiyonu için 3.5 denklemi;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2\right) \quad (3.5)$$

En büyük en iyi fonksiyonu için 3.6 denklemi;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (3.6)$$

Hedef değer en iyi fonksiyonu için 3.7, 3.8 ve 3.9 denklemleri;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3.7)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.8)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.9)$$

kullanılarak hesaplama yapılır. Burada ; y_i : Performans karakteristiğinin i. gözlem değerini, n: Deney sayısını , \bar{y} : Gözlem değerlerinin ortalamasını S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

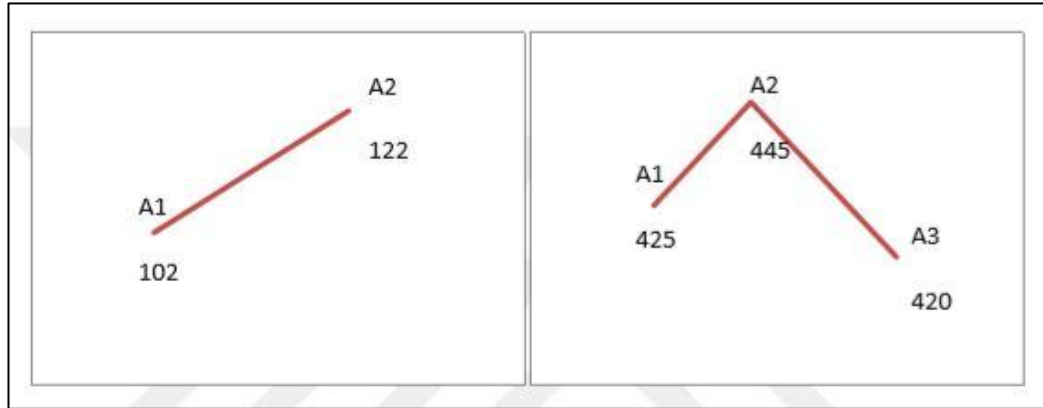
3.4. Etkin Parametrenin Belirlenmesi

Etkin parametrelerin belirlenmesi amacıyla sütun etkisi metodu kullanılmaktadır. Tablo 1'de gösterilen örnek modelde, deneylere karşılık gelen sinyal/gürültü oranı değerleri (S/N değerleri) veya ortalama değerleri, A parametresinin 1. seviyesine karşılık gelenler toplanır. Daha sonra A parametresinin 2. seviyesine karşılık gelen ortalamalar ya da sinyal/gürültü oranı (S/N değerleri) değerleri de toplanıp diğer seviyenin toplamından çıkarılır. Bu işlem sonucunda aradaki farkın işaretine bakılmaksızın büyük farka sahip olan etkili olarak kabul edilir.

Tablo 3.1. Taguchi ortogonal dizi örnek model

L8 Ortogonal Dizi												
Deneme No	Parametreler							Sonuçlar(3 Tekrar)				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Y1	Y2	Y3	Ortalama	S/N Oran
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	*	*	*	*	*

Etkin parametreler belirlenirken, seviyelere karşılık gelen değerler bir grafik üzerinde gösterilir. 2 seviyeli ve 3 seviyeli A parametresinin sütun etkisi metodu aşağıdaki Şekil 3.5’de grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde sol tarafta bulunan şekilde A1 seviyesine ait değerlerin toplamı 102 ve A2 seviyesine ait değerlerin toplamının 122 olduğu görülmektedir. Buna bakılarak yorum yapıldığında A parametresinin en etkili seviyesi 2’dir denebilir.

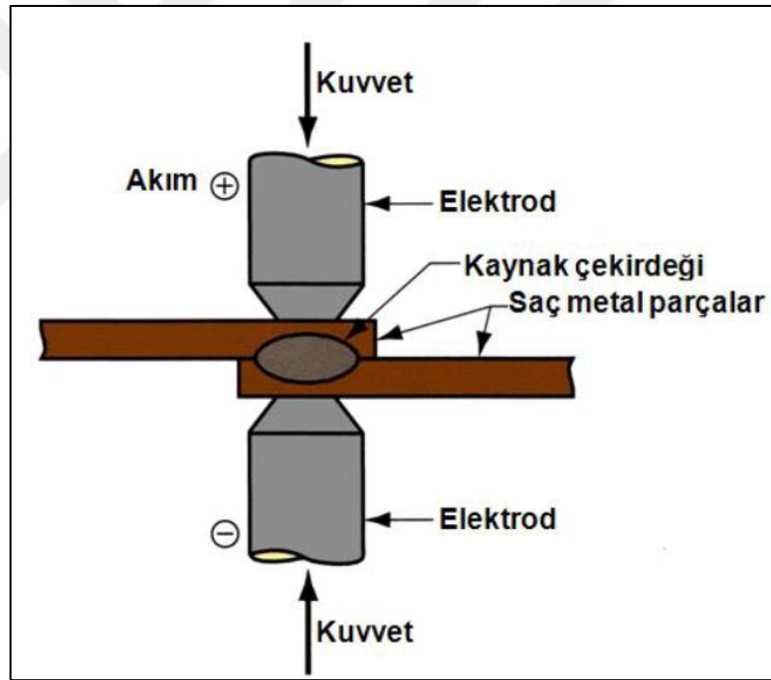


Şekil 3.5. Etkin parametrenin grafik üzerinde gösterimi

4. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMİ

Çok eski yöntemlerden biri olan elektrik direnç kaynağı yöntemi, 1877 yılında tesadüfen ortaya çıkmıştır. Keşfedildikten sonraki zamanlarda az kullanılan bu yöntem ikinci dünya savaşından sonra büyük gelişmeler göstermiş ve daha çok kullanılmaya başlanmıştır. (Kahraman, 2009)

Elektrik direnç kaynağı, elektrik akımının ısı etkisinden yararlanılarak, birleştirilecek metalleri direnç olarak kullanıp, basınç altında birleştirme yöntemidir. Şekil 4.1’de elektrik direnç nokta kaynağının genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Elektrik direnç nokta kaynağı

4.1. Otomotiv Sektöründe Nokta Direnç Kaynağının Önemi

Kaynak işlemi otomotiv sektöründe gövde ya da kaynak atölyesi denilen ve aracın metal kısmının tamamlandığı alanda yapılmaktadır. Bir araç genel olarak taban, ön ve arka tavan çıtaları, tavan ve yan kısımların birleştirilmesi ile oluşur. Bu parçalar da kendilerine ait iç parçaların birleşiminden oluşmaktadır.

Direnç nokta kaynağı robotlu otomasyon sistemlerine uygun, hızlı ve ek malzemeye ihtiyaç duyulmadan uygulanabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, gövdeyi oluşturan parçaların birleşiminde nokta direnç kaynağı yöntemi kullanılmaktadır. Bir araçta ortalama 4000 kaynak noktası bulunmaktadır. Dolayısıyla kaynak kalitesi aracın kalitesi doğrudan etkilemektedir. Otomotiv sektöründe yoğunlukla nokta direnç kaynağı kullanılmakla beraber, farklı kaynak metotları da uygulanabilmektedir. Özellikle nokta direnç kaynağının uygulanamadığı bölgelere gaz altı kaynak metodu uygulanabilmektedir. Şekil 4.2’de aracın kaynak işlemi ile birleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Kaynak işlemi tamamlanmış araç

Kaynak işlemleri bittikten sonra sökülüp takılabilen parçalar olan bagaj kapağı, ön kaput, kapılar ve çamurluk da araca takılarak, gövde bölümünde metal kısım montajı tamamlanmış olmaktadır. Şekil 4.3’de aracın metal kısmının tamamlanmış hali gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Aracın metal kısmının tamamlanmış hali

Elektrik direnç kaynağının avantajları yüksek hızda uygulanabilmesi, otomasyon sistemlerine ve seri üretime uygun olması, ilave metal ve koruyucu gaz gereksinimi olmamasıdır. Bununla birlikte ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, kalın parçalara uygulanamaması, yüksek güç tüketimi gereksinimi ve kontrol edilmesi gereken parametrelerin çok olması dezavantajları olarak sıralanabilir.

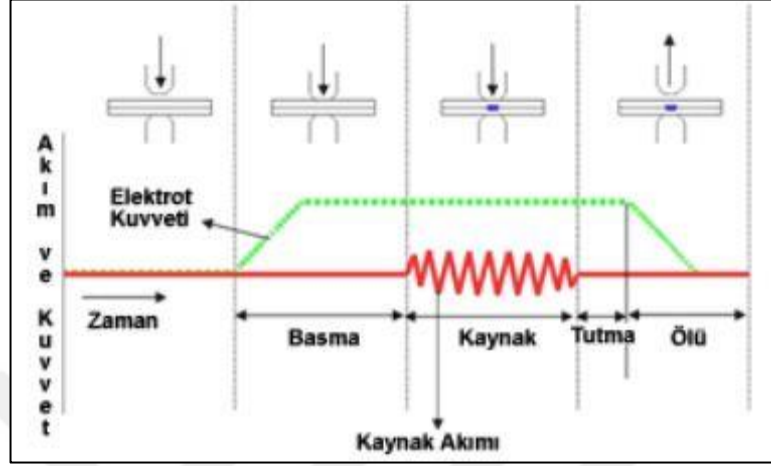
Nokta direnç kaynağı genellikle 3mm kalınlığa olan parçaların birleştirilmesinde kullanılmakla birlikte 6mm kalınlığa kadar uygulanabilmektedir. (Ünlükal, 2007)

Kalınlıkları aynı ya da farklı olan iki veya daha fazla sacın birleştirilmesi işleminde direnç nokta kaynak uygulaması kullanılabilir. Birleştirilen sac sayısı ve kalınlığına bağlı olarak uygun kaynak parametreleri uygulanarak kaynağın yüksek kalitede olması sağlanmaktadır.

4.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çevrimi

Kaynak prosesinde öncelikle iki veya daha fazla parça üst üste bindirildikten sonra elektrotlar kapatılarak parçalara baskı uygulanır. Bu basınç altında elektrotlar tarafından bir akım uygulanır ve daha sonra bu akım kesilir. Akım kesildikten sonra bir süre daha basınç uygulanır ve bu esnada elektrotların soğuması sağlanır. Son olarak elektrotlar açılır ve kaynak işlemi tamamlanır. Bu çevrimler saniyenin ellide biri düzeyinde çok kısa sürelerde gerçekleşmektedir. (Şener, 2019)

Genel olarak kaynak çevrimi; sıkıştırma zamanı, kaynak zamanı, tutma zamanı ve ölü süre olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Şekil 4.4'te kaynak çevriminin genel aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Elektrik direnç nokta kaynak çevrimi

4.2.1. Sıkıştırma zamanı

Elektrotların kapanıp saca baskı yaptığı süre ile elektrik akımının ilk verildiği ana kadar geçen süredir. Bu aşamada elektrotlar kaynak kuvvetine erişmektedir.

4.2.2. Kaynak zamanı

Kaynak akımının olduğu evredir. Akım belirli bir süre uygulanarak, metal sacların kısmi olarak eritilip sıvı hale geçtiği aşamadır.

4.2.3. Tutma zamanı

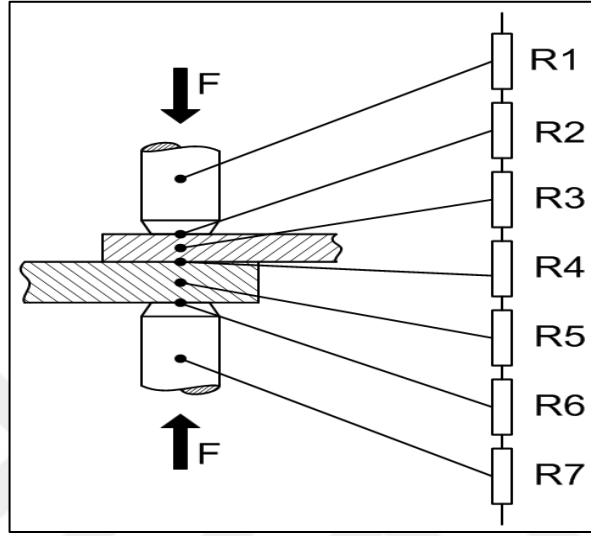
Kaynak akımı tamamlandıktan sonra, elektrotların uyguladığı baskı devam ettirilerek eriyik olan metalin katı hale geldiği evredir. Kaynak çekirdeği bu aşamada oluşmaktadır. (Oğuz, 2018)

4.2.4. Ölü süre

Elektrotların ağızını açarak tutma bir sonraki kaynak çevrime hazır hale getirildiği süredir.

4.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Oluşumu

Kaynak oluşumundaki temel prensip, elektrotlar arasındaki akım geçişinde karşılaşılan direnç ile ısı oluşturmaktır. Şekil 4.5'te nokta kaynağı sırasında oluşan dirençler gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Nokta kaynağında oluşan dirençler

R1 ve R7: Elektrot dirençleri

R2 ve R6: Elektrot ile malzeme arasında oluşan dirençler

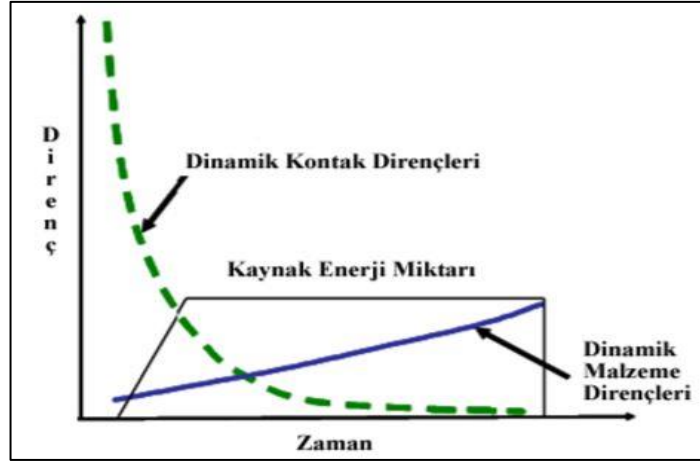
R3 ve R5: Malzeme dirençleri

R4: Malzemeler arasındaki temas direnci olmak üzere,

Nokta kaynağında oluşan toplam direnç aşağıdaki 5.1 formülüyle hesaplanmaktadır.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (4.1)$$

Bu dirençler dinamik kontak direnci ($R_2 + R_4 + R_6$) ve malzeme direnci ($R_1 + R_3 + R_5 + R_7$) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Nokta kaynak sırasında şekil 4.6'da gösterildiği gibi akıma karşı değişken değerli direnç oluşmaktadır. (Altun ve Özcan M, 2015)



Şekil 4.6. Nokta kaynağında oluşan direnç değişimi
(Altun ve Özcan, 2015)

Nokta kaynak sırasında oluşan ısı, joule yasası ile ifade edilmektedir.

$$Q = K \times I^2 \times R \times T \quad (4.2)$$

Oluşan ısı

I: Kaynak Akımı

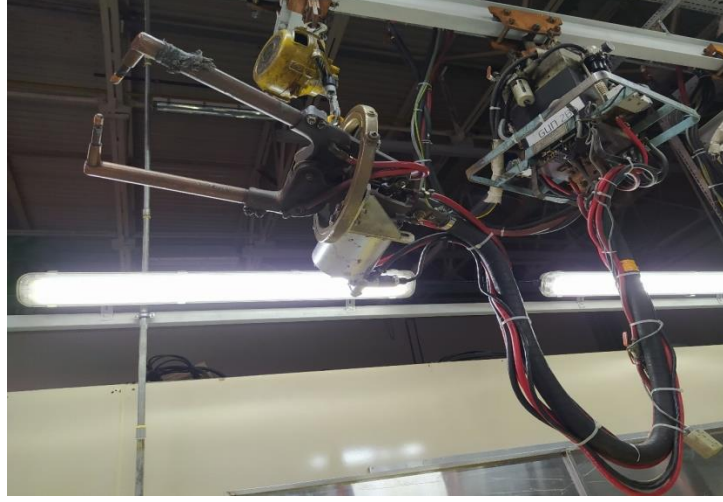
R: Toplam direnç

T: Kaynak akımının uygulandığı süre

Üretilen ısının bir miktarı radyasyon ve kondüksiyon yoluyla kaybolur. Kaynak yapılan parçaların elektrik direnci düşük olduğunda gereken ısıyı üretebilmek için yüksek akım uygulamaya gerek duyulmaktadır. (Kahraman, 2009)

4.4. Otomotivde Kullanılan Nokta Direnç Kaynağı Makina Sistemleri

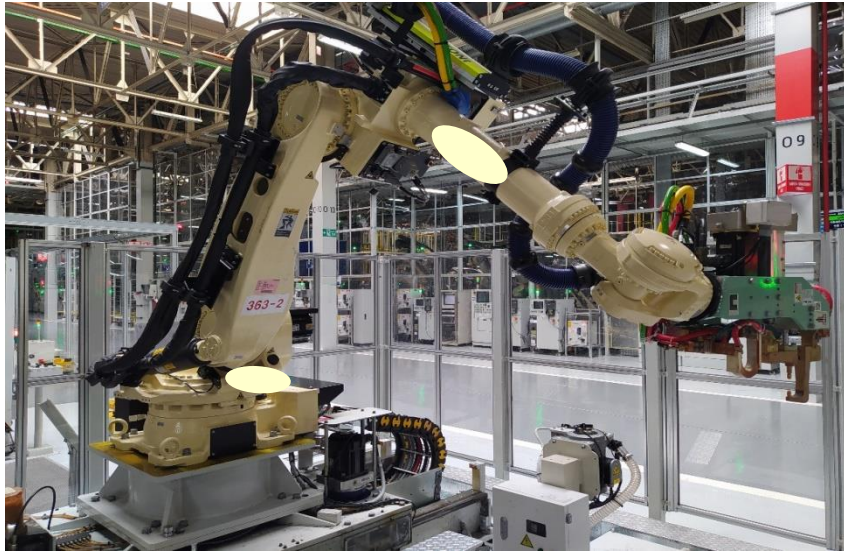
Elektrik direnç kaynağı için kullanılan farklı tip makinalar bulunmaktadır. Otomasyon sistemleri gelişmeden önce sıklıkla kullanılan askı tipi punta kaynak makinalarının yerini günümüzde robotlu sistemler almaya başlamıştır. Otomasyon sistemleri gelişmiş olmasına rağmen askı tipi kaynak makinaları kullanıma devam edilmektedir. Şekil 4.7’de askı tipi kaynak makinalarına bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Askı tipi kaynak makinası

Askı tipi kaynak makinaları bazı otomotiv firmalarında halen aktif olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak makinaları insan gücüyle çalışmakta dolayısıyla işlem hızı daha yavaş olmaktadır. Tümüyle robotlu kaynak sistemleri kullanan kaynak atölyelerinde bile askı tipi kaynak makinaları özellikle tamir için kullanılmaya devam edilmektedir.

Hem askı tipi hem de kaynak robotu sistemlerinde farklı tasarımla ait makinalar bulunmaktadır. Bu makinalar kaynak yapılacak parça ve birleşim noktalarına uygun olarak tasarlanmaktadır. Bu tasarımlara; X tipi, J tipi, C tipi kaynak makinaları örnek olarak verilebilir. Şekil 4.8’de kaynak robotuna bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Robotlu kaynak makinası

Kaynak robotu kullanarak insan hatalarının da önüne geçilebilmektedir. Prosese uygun olarak devreye alınan robot, her araç için aynı noktaya kaynak yapmaktadır. İnsan eliyle yapılan kaynak proseslerinde unutma faktörü bulunurken, robotlar öğretilen noktayı atlamadan ve unutmadan kaynak yapmaktadır.

4.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Parametreleri

Kaynak parametreleri, kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu parametrelerin doğru uygulanması istenilen kaynak düzeyi için önem arz etmektedir. Doğru uygulanmayan parametreler farklı problemlerin yaşanmasına sebep olabilmektedir.

Kaynak akımı ve süresi ayarı kaynak kontrol panelinden (T.C.) yapılmaktadır. Askılı tip kaynak makinaları ile farklı kalınlıklarda sacların kaynatılması işleminde akım değerinin yükseltilip alçaltılması gerekebilir. Robotlu otomasyon sistemlerinde her bir kaynak noktasına ait farklı kaynak akımı ve süresi uygulaması yapılabilmektedir. Kaynak akımıyla ilgili problemler oluştuğunda aynı şekilde T.C. üzerinden akım ayarı yapılmakla birlikte, kaynak parametre ayarı yapılabilen özel bilgisayar programlarıyla uzaktan bağlantı ile istenilen noktaya kaynak akım ve süre ayarı yapılabilmektedir. Şekil 4.9’da kaynak parametrelerini kontrol eden örnek bir T.C. gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Örnek T.C.

4.5.1. Kaynak akımı

Kaynak akımı, kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Kaynak problemlerinin oluşmasında büyük rol oynamaktadır.

Akım düşük olursa kaynak noktasında erime oluşmayacağı için kaliteli kaynak elde edilemez ve buna bağlı olarak kaynak kopmaları meydana gelebilir. Oluşan kaynak minimum çekirdek çapından daha küçük olabilir. Akım değeri yüksek olursa, kaynak bölgesinde eriyen metal bu bölgenin dışına saçılabilir ve kaynak yapılan saclar delinebilir. Şekil 4.10'da akım yoğunluğunun kaynak noktasına etkisi gösterilmektedir.

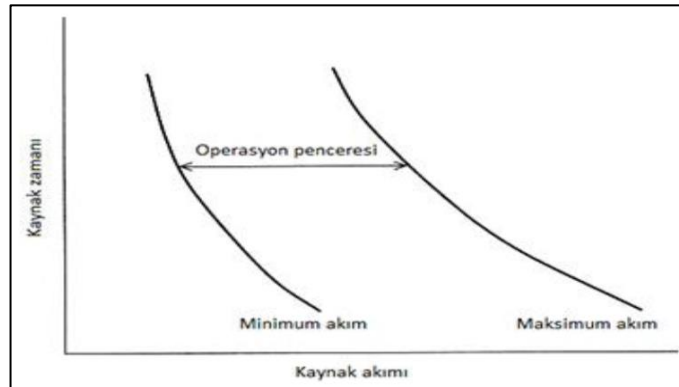
$$\text{Akım yoğunluğu (A/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Akım(A)}}{\text{Alan(cm}^2\text{)}}$$

Yetersiz kaynak çekirdeği $\xleftarrow{\text{azalması}}$ $\xrightarrow{\text{artması}}$ Aşırı ısıdan dolayı çapaklanma
Akım yoğunluğu

Şekil 4.10. Akım yoğunluğunun kaynak noktasına etkisi (Şener, 2019)

Kaynak akımları, birleştirilen sacın kalınlığına göre ayarlanmalıdır. Toplam kalınlığı 2mm olan sacların birleştirilmesinde uygulanan akım ile toplam kalınlığı 4 mm olan sacların birleştirilmesinde aynı akım değeri kullanmak problem yaratabilir çünkü, kaynak sırasında oluşan direnç farklılık göstermektedir. $Q = K \times I^2 \times R \times T$ prensibine göre oluşan ısı dirence bağlı olmaktadır.

Teorik olarak hesaplanan akım değeri uygulamada doğru sonuçlar vermeyebilir. Çünkü bir miktar kayıp yaşanabilmektedir. Şekil 4.11'de uygulanabilir akım aralığı şeması gösterilmektedir. (Başar, 2015)



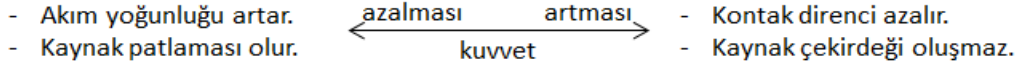
Şekil 4.11. Uygulanabilir akım aralığı (Başar, 2015)

4.5.2. Kaynak basıncı (Elektrot kuvveti)

Kaynak basıncının amacı, kaynak yapılacak sacların sıkıştırılması ve aralarındaki boşluğu kapatarak akımın geçmesini sağlamaktır. (Raut ve Achwal, 2014)

Elektrot kuvveti yüksek olduğunda, düşük direnç ve geliştirilmiş arayüzey temasına yol açar, bu da kaynak yaparken daha az ısı üretimi ile sonuçlanır. Bu durum, kaynak süresi veya akımın yükseltilmesi ile telafi edilmelidir. Ayrıca, aşırı elektrot kuvveti daha yüksek iş parçası girintisine neden olur. (Alzahougi, 2020)

Uygulanan kuvvetin az olması, kaynak dayanımının ve çekirdek çapının azalmasına sebep olmaktadır. Kuvvetin yüksek olması ise, parçalar arasındaki temas direncinin düşmesine, sac deformasyonlarına, elektrotların daha hızlı aşınmasına sebep olmaktadır. Akım ile kuvvet arasında doğru bir orantı vardır. Uygulanan kuvveti artırdıkça buna bağlı olarak akımı da artırmak gerekir. (Ünlükal, 2007). Şekil 4.12’de kaynak basıncının kaynak noktasına etkisi gösterilmektedir.



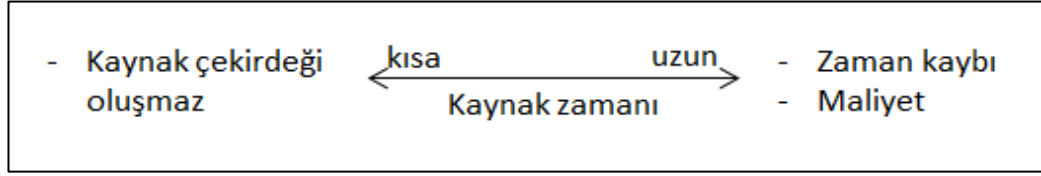
Şekil 4.12. Kaynak basıncının kaynak noktasına etkisi (Şener, 2019)

4.5.3. Kaynak zamanı

Kaynak süresi, kaynak akımının metal saclarla temas ettiği süreyi içeren önemli bir parametredir. Bir döngü (cycle) 50 Hz için, saniyenin 50’de 1’i anlamına gelir ve 0,02 saniyeye eşittir. Kaynak süresi, kaynak noktasıyla bağlantılı olduğundan optimum kaynak süresinin hesaplanması zordur. (Alzahougi, 2020)

Joule yasasına göre, kaynak süresi ve akım ters orantılı olacak şekilde artırılıp azaltılarak istenilen kaynak kalitesi elde edilebilir. Yüksek akım ve az zaman ya da düşük akım uzun zaman kullanılarak istenilen çekirdek çapına ulaşmak mümkün olabilmektedir. Kaynak süresi kısa tutulursa, kaybolan ısı düşecek ve ısıl verimlilik artacaktır. Yapılan kaynak işlemi hızlı gerçekleşeceğinden dolayı, levhaların dış yüzeyleri çok ısınmaz ve sadece istenilen kaynak bölgesinde erime sıcaklığına

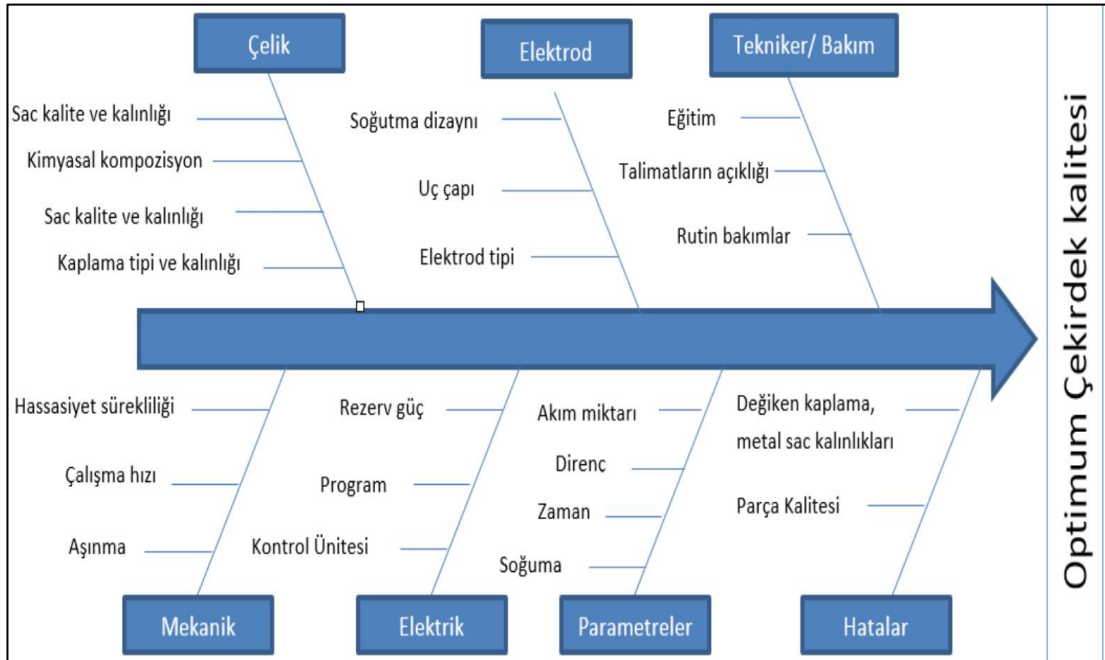
ulaşarak işlem sonlandırılmış olur. Böylelikle elektrotların uçları yıpranmadan daha uzun süre kullanılabilir. (Türkoğlu, 2016) Şekil 4.13'te kaynak süresinin kaynak noktasına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Kaynak süresinin kaynak noktasına etkisi (Şener, 2019)

4.6. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Kaynak Kalitesini Artırıcı Çalışmalar

Kaynak kalitesine etki eden farklı faktörler vardır. Kaynak kalitesinin kötü olması, parça deformasyonuna, kaynak kopmalarına, kaynak sıçramalarına ve daha bir çok probleme sebep olabilmektedir. Bu problemleri çözebilmek için, ana kaynak parametrelerinin doğru ayarlanmasının yanında farklı sebeplerden dolayı gerçekleşen problemler için değişik çözüm yöntemleri de kullanılmaktadır. Şekil 4.14'te kaynak kalitesine etki eden faktörlerin genel gösterimi verilmiştir.

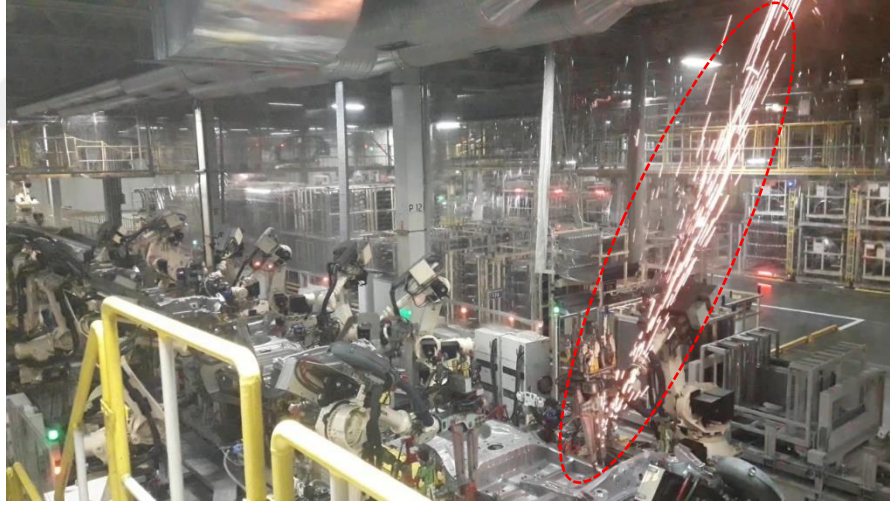


Şekil 4.14. RSW kaynak kalitesini etkileyen faktörler (Uzun, 2016)

4.6.1. Kaynak parametreleri (Akım - Basınç - Süre)

Kaynak parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu parametreler, kaynak yapılan prosese uygun olarak ayarlanmalıdır. Her kaynak noktasında kullanılan parametreler farklı olabilir. Özellikle sac kalınlığı ve kaç adet sacın üst üste kaynatıldığına göre kaynak parametrelerin değerleri farklılık gösterebilir.

Kaynak akımının ve süresinin düşük olması punta noktalarında kopmalara sebep olacaktır. Böyle bir durumda bu parametrelerin değerini yükseltmek gerekmektedir. Bu parametrelerin değeri fazla yüksek olursa kaynak noktasındaki erime artacaktır. Bu durumda yüksek akımdan dolayı istemeyen çapak sıçramaları meydana gelebilmektedir. Şekil 4.15'te çapak sıçramasını gösteren bir örnek bulunmaktadır. Ancak çapak oluşması sadece akım, basınç ve süreye bağlı değildir. Elektrotların açısının düzgün olmaması, saclar arasındaki boşluk ve diğer faktörler bu sıçramaların meydana gelmesine sebep olabilmektedir.



Şekil 4.15. Çapak sıçramasına örnek gösterim

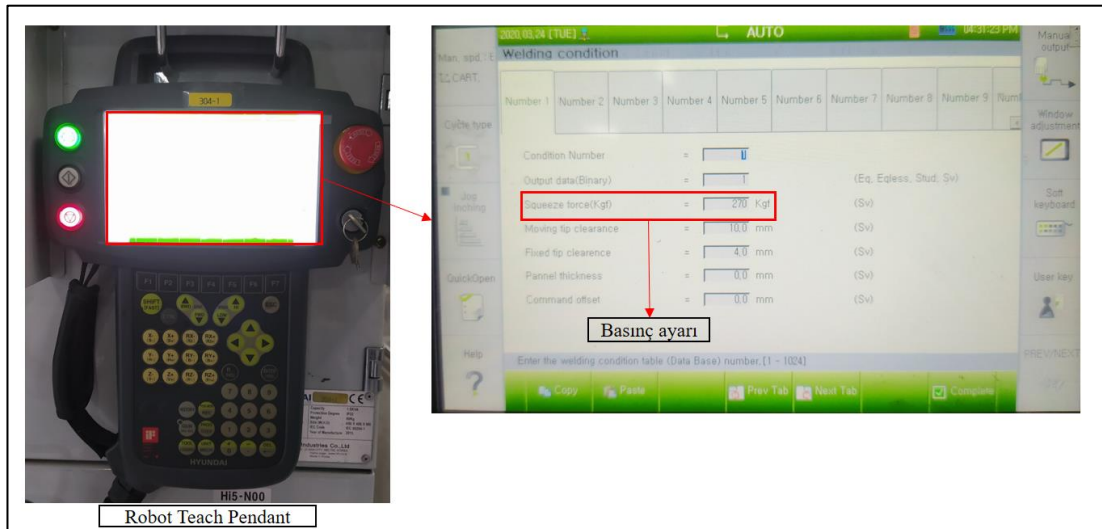
Özellikle, robotlu otomasyon sistemlerinin kullanıldığı otomotiv sektörlerinde kaynak parametre ayarları genel bir bilgisayar sisteminden yapılabilmektedir. Bu şekilde herhangi bir kaynak problemi yaşandığında parametre ayarları kolay şekilde yapılabilmektedir. Aynı zamanda her bir punta kaynak noktasına farklı parametreler girilebilmektedir. Şekil 4.16'da parametre ayarı için kullanılan bir sistem örnek olarak gösterilmiştir.

Address	Item	Range	Kaynak Noktaları							
			X001	X002	X003	X004	X005	X006	X007	X008
Y101	WQS FAULT	0-2[0:OFF/1:FAULT/2:ALARM]	0	0	0	0	0	0	0	0
Y102	WQS FAULT LEVEL	0-100[POINT]	60	60	60	60	60	60	60	60
Y130	AHC MODE SELECT	0-1[0:MODE A/1: MODE B]	1	1	1	1	1	1	1	1
Y131	PPS WELD	0-1[0:OFF/1:ON]	0	0	0	0	0	0	0	0
Y132	EQUIP.PARAM.MEASERE	0-1[0:OFF/1:ON]	0	0	0	0	0	0	0	0
Y133	PPS WELD TIME	0-99[CYC]	8	8	10	8	10	12	9	9
Y134	PPS WELD CURRR	2.0-50.0[kA]	7.5	7.7	7.8	7.5	7.0	7.6	7.8	8.7
Y135	PPS TOTAL THICKNESS	0.1-9.9[mm]	2.3	2.3	3.3	2.3	3.1	2.3	2.3	1.4

Şekil 4.16. RSW kaynak akımı ve süresi kontrol sistemine bir örnek

Örnek olarak X001 olarak adlandırılan punta noktası, toplam kalınlığı 2.3 mm olan sacların olduğu bölgeye yapılmıştır. Bu kaynak noktasına akım değeri 7.7 kA ve kaynak süresi 8 CYC olarak uygulanmıştır. Bu değerler bilgisayar sisteminden kolayca değiştirip uygulanabilmektedir. Şekil 5.16’da görüldüğü gibi kaynak süresi 0-99 CYC aralığında, kaynak akımı 2.0-50.0 kA aralığında uygulanabilmektedir. Kaynak yapılacak sacların kalınlığı 0.1-9.9 mm aralığında olmalıdır.

Robotlu sistemlerde kaynak basıncı yine her punta kaynak noktası için ayrı olacak şekilde robot pendanti üzerinden girilebilmektedir. Şekil 4.17’de bir robot pendanti ve pendant üzerinden yapılan basınç ayarı gösterilmektedir. İlgili kaynak noktasının basınç değeri 270 Kgf olarak belirlenmiştir. Bu parametre istenilen takdirde basit bir şekilde değiştirilerek uygulanabilir.

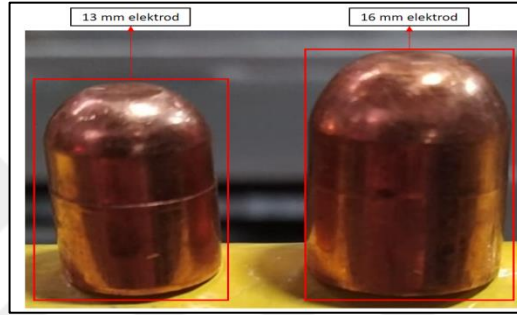


Şekil 4.17. Robot pendanti ve basınç ayarına bir örnek

4.6.2. Elektrod malzemesi, çapı ve tipleri

Elektrod uçları elektrik ve ısı iletimi iyi olan aynı zamanda çabuk soğuyabilen malzemeler olmalıdır. Genel olarak elektrod uçları CuAl, CuZr, CuCr, CuCrZr karışımlarından oluşmaktadır. Otomotiv sektöründe, kullanım ömrü, maliyet ve kalite performansına göre belirlenen elektrod çeşidi standart olarak kullanılır.

Kullanılan elektrodların çapları, prosese ve kaynak yapılan bölgeye uygun olarak seçilmelidir. Genel olarak otomotiv sektöründe 16 mm ve 13 mm uçlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.18'de bu uçlara bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.18. 13 mm ve 16 mm küresel tip elektrodlara örnek

Elektrod uç çapı ile çekirdek çapı arasında doğru orantı vardır. Elektrod uç yüzey çapı küçüldükçe yüksek akım ve yüksek sıcaklık oluşur. Yüzey çapı büyük olursa, birim yüzeye düşen basınç azalır. (Ünlükal, 2007)

Otomotiv sektöründe en çok küresel ve kesik koni (mantar uç) tipte uçlar kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak farklı tasarımları bulunan uçlar da kullanılabilir. Şekil 4.19'da farklı tip elektrotlar gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Farklı tip elektrodlar

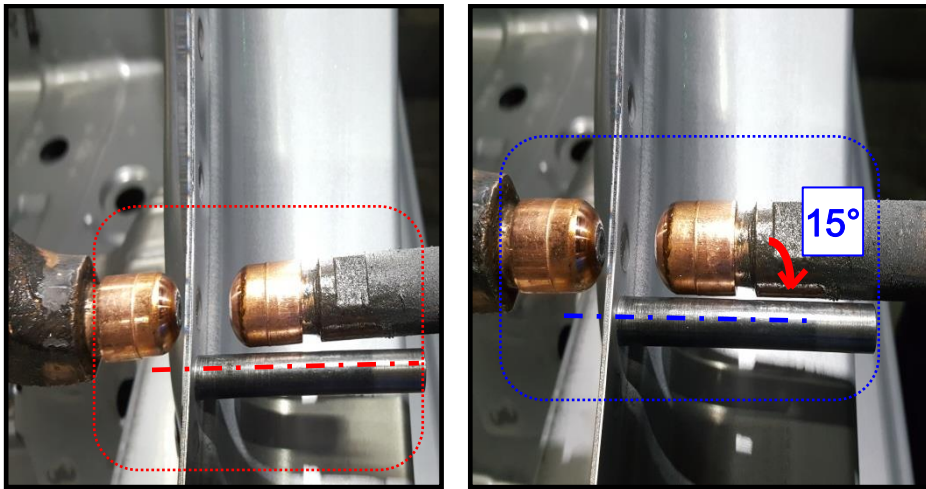
4.6.3. Elektrod hizalaması ve alt-üst çene uyumu

Kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de elektrod hizalamasıdır. Elektrodun sac ile temas ettiği bölge arasındaki açı dik olmalıdır. Elektrodla sac arasında hizalamadan kaynaklı boşluklar oluştuğunda çapak oluşmakta ve saca yapışıp kaliteyi bozabilmektedir.



Şekil 4.20. Sacı yapışan çapak örneği

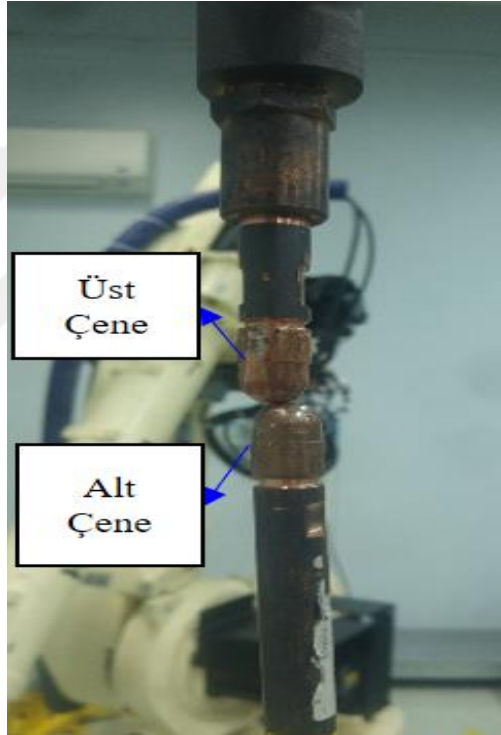
Şekil 4.20’de yanlış elektrod hizalamasından kaynaklanan çapak ve sac malzemeye etkisi gösterilmiştir. Sac üzerinde oluşan bu çapaklar kaliteyi etkilemektedir. Böyle bir durumda elektrod hizalaması kontrol edilir ve saca temas ettiği bölge dik konuma getirilerek çapak oluşması engellenmektedir.



Şekil 4.21. Elektrod hizalaması

Şekil 4.21’de yanlış elektrot hizalaması ve düzeltilmiş haline bir örnek gösterilmiştir. Böyle problemlerde sac ile temas eden elektrotun açısı dik konuma getirilmekte ve arada boşluk oluşması engellenerek çapak sıçramalarının önüne geçilmektedir.

Elektrotların alt ve üst çenelerinin uyumsuzluğu bir başka kaynak kalitesi problemi olmaktadır. Şekil 4.22’de bu probleme bir örnek gösterilmiştir. Bu durumlarda alt ve üst çene sıkıştırma sırasında birbirini karşılamadığı için sacların farklı bölgelerine baskı yaparak sacı deforme edebilir ve çapak sıçramalarına neden olabilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için çeneler kapatılır ve mekanik ayar yapılarak uyumlu hale getirilir.



Şekil 4.22. Alt - Üst çene uyumsuzluğu

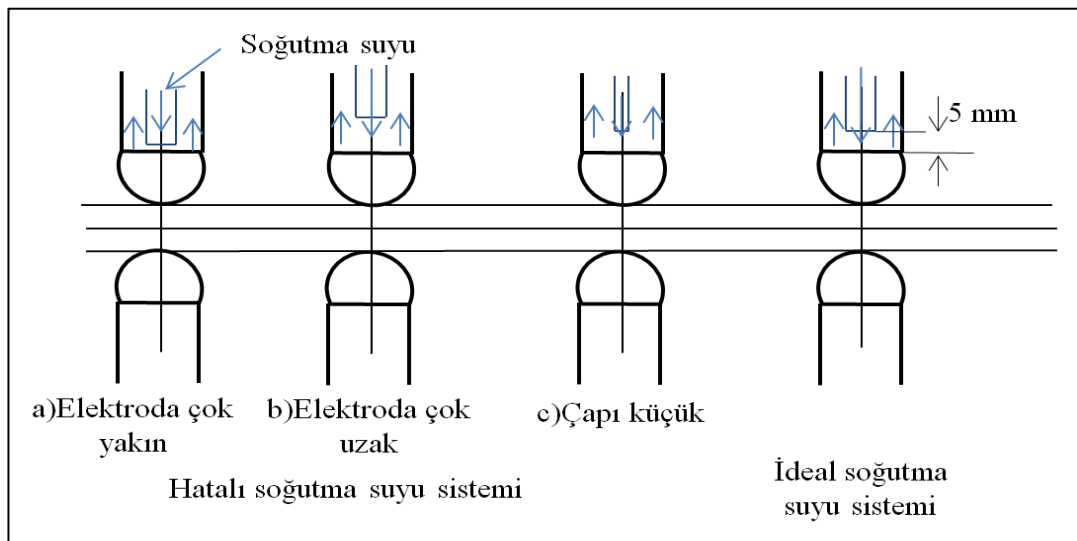
4.6.4. Elektrot soğuması

Elektrot soğutma sistemi, kaynak sırasında elektrot ucunda oluşan yüksek sıcaklığın hızlı şekilde düşürülmesi için kullanılmaktadır. Soğutma sistemi yetersiz olursa, sacın yapısı bozulur, elektrotlar aşınır ve ömrü kısalmaya başlar dolayısıyla kaynak kalitesi düşer. Aynı zamanda yüksek sıcaklıktan dolayı elektrotların sac parçaya yapışma riski bulunmaktadır. Şekil 4.23’te uç yapışmasına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Uç yapışmasına bir örnek

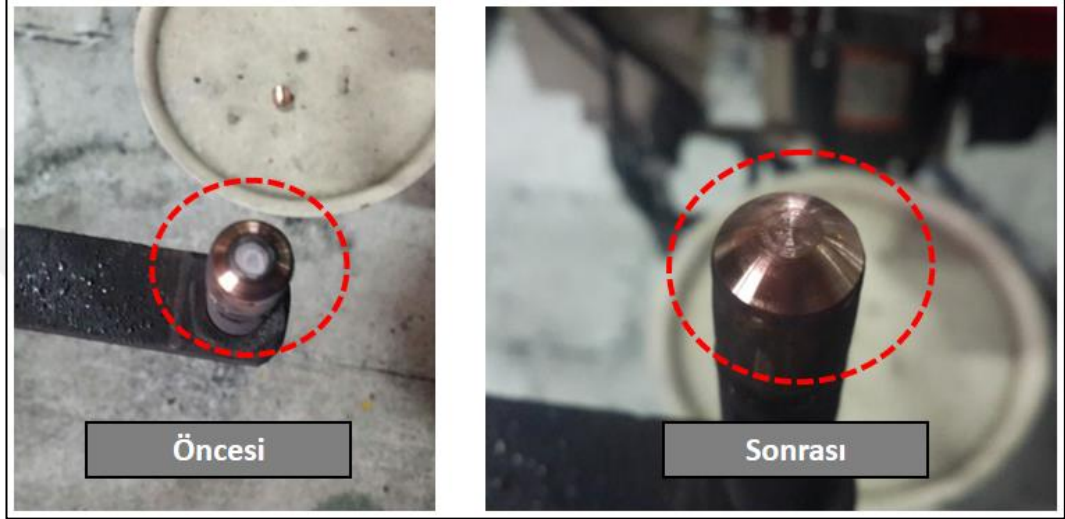
Elektrot soğutma sisteminde geliş ve dönüş olmak üzere çift yönlü akış vardır. Orta kanaldan elektroda soğuk su iletilir ve kaynak sırasında ısınan su kenardaki kanallardan geri döner. Bu şekilde her kaynak noktasında elektrod ucunun soğuk olması sağlanır. Eğer elektrod yapışması problemi varsa, soğutma suyunun sıcaklığı düşürülmeli ve debisi kontrol edilmelidir. Şekil 4.24'te soğutma sisteminin şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Elektrod soğutma sistemi (Şener, 2019)

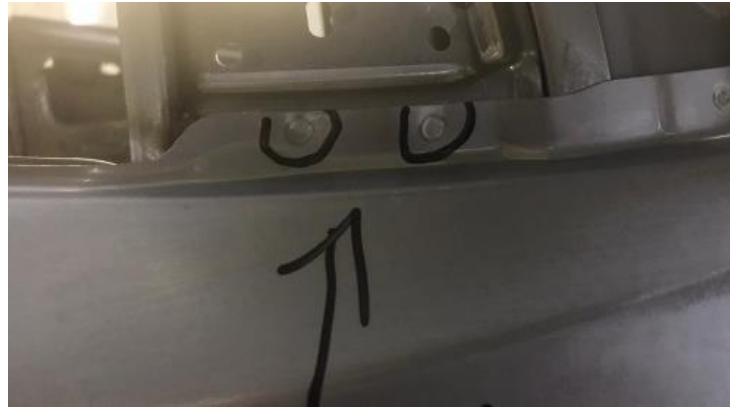
4.6.5. Elektrod tıraşlama ve değişim sıklığı

Elektrodların ucu, kaynak sayısı arttıkça aşınmaya ve kirlenmeye başlar. Elektrodlar temizlenmeden kaynak yapılmaya devam edilirse kaynak kalitesi olumsuz etkilenir ve kaynak noktaları kopmaya başlar. Şekil 4.25'te elektrodun tıraşlama öncesi ve sonrası durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Uç tıraşlama öncesi ve sonrası Durumu

Bu şekilde aşınmış elektrodlar ile kaynak yapmaya devam edilirse, kaynak noktaları kopmaya başlamaktadır. Şekil 4.26'da elektrod aşınmasına bağlı olarak kaynak kopmasına bir örnek gösterilmektedir.



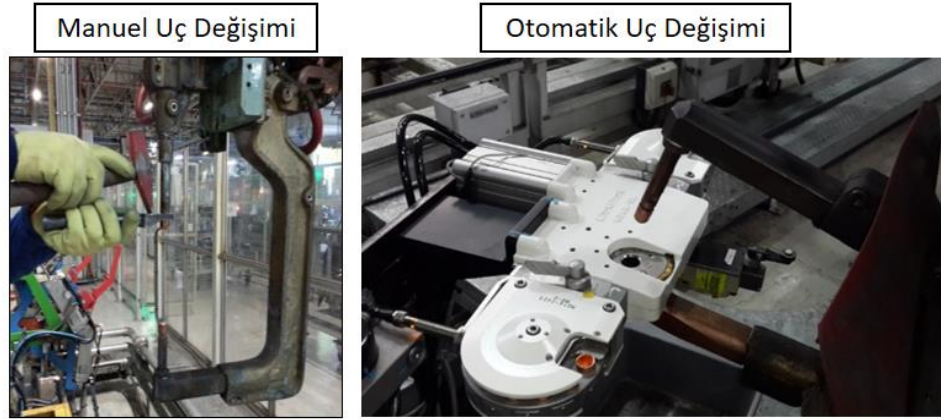
Şekil 4.26. Kopuk punta kaynak noktaları

Manuel sistemlerde uç tıraşlama ve değiştirme insan tarafından yapılırken, robotlu sistemlerde uç tıraşlama ve değiştirme otomatik olarak yapılabilmektedir. Şekil

4.27’de otomatik uç tıraşlama ekipmanı ve şekil 4.28’de uç değiştirme ile ilgili örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Otomatik uç tıraşlama ekipmanı



Şekil 4.28. Manuel ve otomatik uç değişimine örnek

Belirli bir kaynak sayısından sonra uçlar tıraşlanır. Elektrodlar tıraşlandıkça boyu kısalacak ve belirli bir süre sonra değiştirilmesi gerekecektir. Boyu kısalan uçlar değiştirilmezse belirli bir süre sonra uçlar biterek delinmeye başlayacaktır. Böyle problemlerin önüne geçmek için uç tıraşlama ve değişim frekansı doğru belirlenmelidir.

Örnek olarak, her 120 kaynak noktasından sonra robot otomatik olarak uç tıraşlamaya ve her 50 tıraşlamadan sonra otomatik olarak uç değiştirmeye gitmektedir. Bu değerler kaynak prosesine göre değiştirilip ayarlanabilmektedir.

4.6.6. Sac kalınlığı ve temizliği

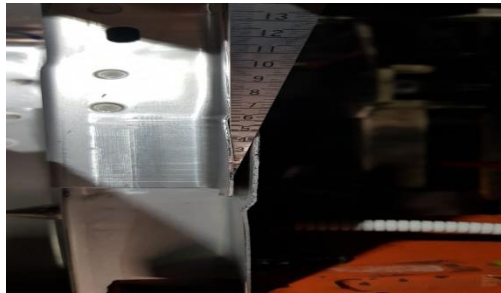
Sac kalınlığı ve birleştirilen sac sayısı, kaynak parametre değerleri oluşturulurken en çok dikkat edilen etmenlerden birisidir.

Otomotiv sektöründe de gövde ve alt parçalar birleştirilirken farklı kalınlıktaki saclar kullanılabilir. 2, 3 ve 4 sac üst üste kaynaklanabilir. Bu sacların toplam kalınlıkları farklılık olabilir. Dolayısıyla uygulanan kaynak parametreleri değişkenlik göstermektedir.

Sac temizliği kaynak kalitesine doğrudan etki eden bir başka etmendir. Yağlı ve kirli saclardan dolayı kaynak patlaması meydana gelebilir. Bu şekilde kirli saclara yapılan kaynak esnasında kullanılan elektrodlar da zarar görebilir. Robotlu sistemlerde böyle bir durum oluştuğunda kaynak robotundan kaynak akımının iletilmediğine dair hata gelerek robot durmaktadır. Sac temizlenerek ve uçlar değiştirilerek kaynak işlemine devam edilmektedir.

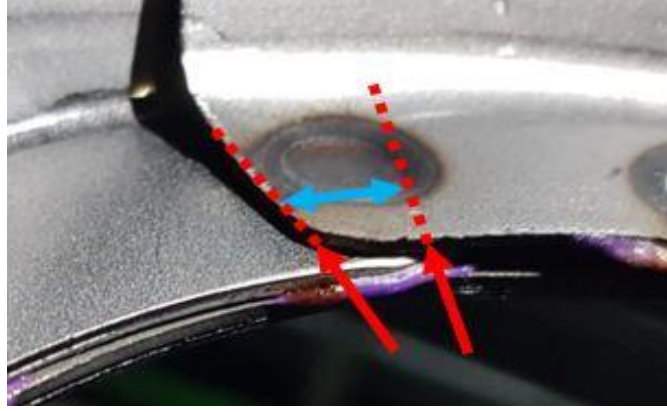
4.6.7. Saclar arasındaki boşluklar ve birleşim yerleri

Kaynak kalitesini etkileyen bir etmen de kaynak yapılacak parçaların temas durumuyla ilgili problemlerdir. Şekil 4.29’da gösterildiği gibi kaynak yapılacak saclar arasındaki boşluklar kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Kaynak esnasında aradaki boşluk kaynak makinesi basıncı ile kapatılırken saclar deforme olabilir ve kaynak çapağı oluşabilir.



Şekil 4.29. Saclar arasındaki boşluk

Şekil 4.30’da sacların köşe bölgesinde uygunsuz birleşimi görülmektedir. Alt sac ile üst sac kesimi kısa olduğundan kaynak noktasının bir kısmı boşta kalmaktadır. Bu durum kaliteyi olumsuz etkilemektedir.



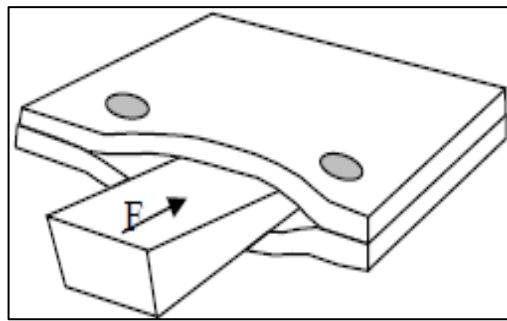
Şekil 4.30. Saclar arasındaki köşe birleşim noktası

4.7. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesi Kontrol Yöntemleri

Elektrik direnç kaynak kalitesini kontrol etmek için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları parça tahribatına yol açarken bazıları tahribatsız olabilmektedir. Göz ile kontrol ve ultrasonik kontrol tahribatsız yöntemlerdir. Keski çekiç kontrol yöntemi, makaslama yöntemi, yuvarlanma yöntemi, çekme yöntemi tahribatlı kontrol yöntemleridir. Makaslama, yuvarlanma ve çekme yöntemi ile yapılan testlerde parçalar geri dönüşümsüz hasar almaktadır. Otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan iki yöntem detaylı açıklanmıştır.

4.7.1. Keski çekiç yöntemi

Keski çekiç ile yapılan kaynak kontrolünde, kaynak noktasının kenarına çekiç ile kuvvet uygulanır ve kaynak noktasında kopma olmaması beklenir. Yırtılma olursa da kaynak noktasının kenarındaki bölgede olması gerekir. (Şener, 2019) Şekil 4.31’de keski çekiç testinin görseli bulunmaktadır.

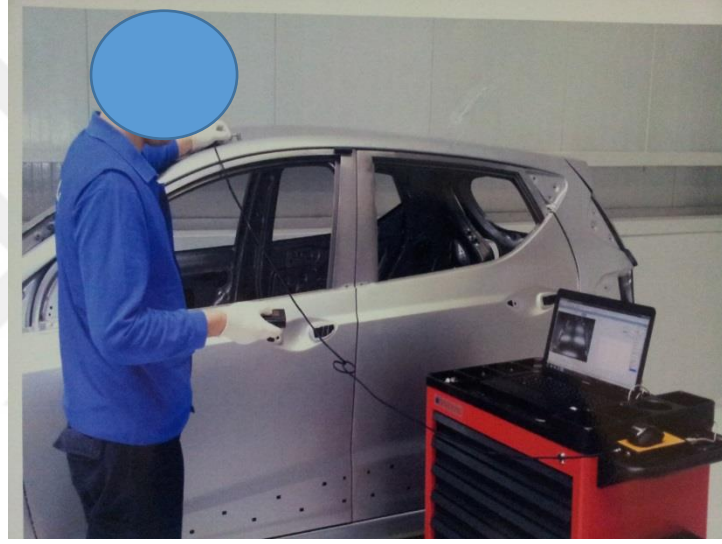


Şekil 4.31. Keski testi

4.7.2. Ultrasonik ölçümler

Ultrasonik kontrol, metal boyunca iletilen yüksek frekanstaki titreşimlerin iletim şekli gözlenerek metal içinde bulunan hataların tespiti için kullanılan yüksek hassasiyete sahip bir yöntemdir. (Ünlükal, 2007)

Tahribatsız muayene yapmadan önce, muayenenin doğru sonuçları vermesi için parçaların üstünde toz, pislik varsa temizlenmelidir. Tahribatsız muayene yönteminin yüzde 80 doğruluk payı vardır. (Şener, 2019) Şekil 4.32’de NDT cihazıyla yapılan ultrasonik test örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.32. Ultrasonik test

5. UYGULAMA

Çekirdek çapı kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Otomotiv sektöründe her kaynak noktasının çekirdek çapı periyodik olarak ölçülüp, belirli bir değerin altındaki çapa sahip olan kaynak noktaları için iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Çekirdek çapının istenilen değerden küçük olması kaynak noktasının kopması gibi problemlere sebep olabilir.

Çekirdek çapının optimum değere sahip olması istenmektedir. Daha küçük çekirdek çaplarına sahip kaynaklar kaliteli kabul edilemez. Optimum değerden daha büyük çekirdek çapına sahip kaynak noktaları ise kaliteli kabul edilmektedir.

Hedeflenen çekirdek çapları sac kalınlığına göre değişebilmektedir. Daha kalın sac kullanıldığında çapın daha büyük olması gerekmektedir. Otomotiv sektöründe de her kaynak noktası için standart olarak belirlenen çekirdek çapları mevcuttur. Yapılan testlerde istenilen değerlerden küçük çekirdek çapına sahip noktalar için iyileştirme yapılıp, beklenen değere ulaşması sağlanır.

Bu çalışmada optimum çekirdek çapını elde edebilmek için kaynak parametrelerinin nasıl etkili olduğu araştırılmıştır. Çalışmada 0,6mm kalınlığında saclar kullanılmıştır. Kaynak parametreleri olarak 8 faktör belirlenmiş ve bu faktörlere ait seviyeler seçilmiştir. 7 faktöre ait 3 seviye ve 1 faktöre ait 2 seviye bulunmaktadır. Tam faktöriyel deney tasarımı ile 4374 deney yapılması gerekirken, Taguchi L18 deney tasarım tablosu kullanılarak 18 deney ile çalışma yapılmıştır. Deneyler 3'er kere tekrarlanarak değerlerin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır.

Kaynak parametrelerini etkileyen faktörler kaynak akımı, basınç, kaynak süresi, sıkma zamanı, soğuma zamanı, tutma zamanı, darbe ve uç tıraşlama frekansı olarak sıralanabilir. Deneylerde kullanılan ve sabit olan faktörler sac kalınlığı ve uç çapıdır. 0,6 mm kalınlığa sahip saclar ve 16 mm konik uç kullanılmıştır.

Deney tasarımı için belirlenen 8 faktör aşağıda sıralanmıştır.

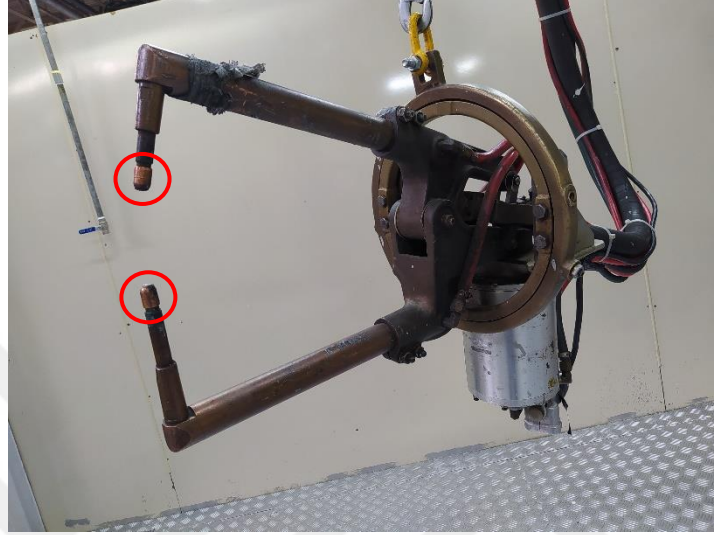
- 1) Darbe
- 2) Akım
- 3) Basınç
- 4) Sıkma Zamanı
- 5) Kaynak Zamanı
- 6) Soğuma Zamanı
- 7) Tutma Zamanı
- 8) Tıraşlama Frekansı

7 faktör için 3 seviye ve 1 faktör için 2 seviye belirlenmiştir. Bu çalışma için Taguchi L18 dizisi kullanılması uygun görülmüştür. Tablo 5.1’de çalışma yapılacak liste gösterilmektedir. Tabloda her bir faktör için seçilmiş olan değerler görülmektedir.

Tablo 5.1. Faktörler ve seviyelerin değerleri

Deney	Faktörler							
	Darbe (Adet)	Akım (A)	Basınç (kgf/cm ²)	Sıkma Zamanı (cyc)	Kaynak Zamanı (cyc)	Soğuma Zamanı (cyc)	Tutma Zamanı (cyc)	Tıraşlama Frekansı (punta sayısı)
1	1	7500	2	20	10	0	5	0-50
2	1	7500	3	30	13	1	10	50-100
3	1	7500	4	40	16	2	15	100-150
4	1	8500	2	20	13	1	15	100-150
5	1	8500	3	30	16	2	5	0-50
6	1	8500	4	40	10	0	10	50-100
7	1	10000	2	30	10	2	10	100-150
8	1	10000	3	40	13	0	15	0-50
9	3	10000	4	20	16	1	5	50-100
10	3	7500	2	40	16	1	10	0-50
11	3	7500	3	20	10	2	15	50-100
12	3	7500	4	30	13	0	5	100-150
13	3	8500	2	30	16	0	15	50-100
14	3	8500	3	40	10	1	5	100-150
15	3	8500	4	20	13	2	10	0-50
16	3	10000	2	40	13	2	5	50-100
17	3	10000	3	20	16	0	10	100-150
18	3	10000	4	30	10	1	15	0-50

Uygulama aşamasında 16mm uç ve X tipi kaynak makinası kullanılmıştır. Parça boyutları en 6 cm, boy 20 cm olmak üzere standart olarak kullanılmıştır. 0,6 mm kalınlığa sahip olan parçalar birbiri üzerine sabitlenmiş ve kaynak işlemleri yapılmıştır. Şekil 5.1’de deneyde kullanılan kaynak makinası ve uç gösterilmiştir.



Şekil 5.1. X tipi kaynak makinası ve 16 mm uç

Her deney noktası için bir sekans numarası atanmıştır. Deneyler 3’er defa tekrarlanarak deneylerin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır. Toplam 54 deney yapılarak sekans numaraları şekil 5.2’de gösterildiği gibi parça üzerine kaydedilmiştir.



Şekil 5.2. Parça üzerinde sekans numaralarının gösterimi

Bu işlemten sonra çekirdek çapının ölçülmesi için kaynak koparma işlemi yapılmıştır. Şekil 5.3’te kaynak koparma işlemi için kullanılan pnömomatik hilti gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Pnömatik hilti

Koparılan kaynak noktalarının çapları $(r_1 + r_2) / 2$ formülü kullanılarak dijital kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Şekil 5.4'te kaynak noktaları koparılan parçalara bir örnek verilmiş ve oluşan çekirdek çapı açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 5.4. Koparılmış kaynak noktaları

Yapılan 54 deneye ait çekirdek çapı değerleri ve rassal deney sıralaması tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Çekirdek çapı ölçüm sonuçları ve rassallaştırma

Deney	Rassal Deney No	Faktörler								Çekirdek Çapı (mm)		
		Darbe (Adet)	Akım (A)	Basınç (kgf / cm ²)	Sıkma Zamanı (cyc)	Kaynak Zamanı (cyc)	Soğuma Zamanı (cyc)	Tutma Zamanı (cyc)	Taşlama Frekansı (punta sayısı)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	1	1	7500	2	20	10	0	5	0-50	4,72	4,27	4,24
2	7	1	7500	3	30	13	1	10	50-100	3,52	3,53	3,69
3	13	1	7500	4	40	16	2	15	100-150	3,55	3,59	3,51
4	14	1	8500	2	20	13	1	15	100-150	4,99	4,94	4,97
5	2	1	8500	3	30	16	2	5	0-50	5,04	4,93	4,98
6	8	1	8500	4	40	10	0	10	50-100	4,76	4,68	4,66
7	15	1	10000	2	30	10	2	10	100-150	5,20	5,12	5,11
8	3	1	10000	3	40	13	0	15	0-50	5,11	5,11	5,04
9	9	3	10000	4	20	16	1	5	50-100	5,08	5,17	5,19
10	4	3	7500	2	40	16	1	10	0-50	4,26	4,06	4,01
11	10	3	7500	3	20	10	2	15	50-100	3,91	3,95	3,93
12	16	3	7500	4	30	13	0	5	100-150	3,25	3,32	3,25
13	11	3	8500	2	30	16	0	15	50-100	5,25	5,27	5,23
14	17	3	8500	3	40	10	1	5	100-150	4,19	4,14	4,15
15	5	3	8500	4	20	13	2	10	0-50	4,84	4,96	4,98
16	12	3	10000	2	40	13	2	5	50-100	5,07	5,09	5,05
17	18	3	10000	3	20	16	0	10	100-150	5,38	5,34	5,48
18	6	3	10000	4	30	10	1	15	0-50	5,19	5,09	4,86

Rassallaştırma, deneysel verideki yanlış (sistemik) yanlışların ortaya çıkmasını önler. Deney kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek yanlışlığın engellenmesi için her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. (Taylan, 2009) Deneyler Tablo 5’te verilen rassallık ile yapılmıştır. Tablo, Taguchi metodu L18 sistemine göre düzenlenerek gösterilmiştir.

Bir otomotiv firmasından alınan değerlere göre, 0,6 mm kalınlığa sahip sac lar üzerine yapılan kaynak noktaları için optimum çekirdek çapı değeri 4,3 mm olarak belirlenmiştir. Çekirdek çapı için belirlenen kritik değer ise 3,4 mm’dir. Tablo 5.3’te farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları gösterilmektedir.

Tablo 5.3. Farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları (Aydın)

Saç Kalınlığı (mm)	Minimum Çekirdek Çapı (mm)	Optimum Çekirdek Çapı (mm)
0,7	3,5	4,6
0,8	3,8	4,9
0,9	4,0	5,2
1,0	4,2	5,5
1,2	4,6	6,0
1,5	5,2	6,7
1,8	5,7	7,4

Çekirdek çapı, kritik değerın altına kesinlikle inmemelidir. Bu değerin altındaki kaynak noktalarına iyileştirme yapılarak optimum seviyeye getirilir. Bu çalışma için optimum değeri ile kritik değeri arasındaki çekirdek çapı farkı $4,3\text{mm}-3,4\text{mm} = 0,9$ mm olarak hesaplanabilir. Optimum değeri üzerindeki çekirdek çapları kaliteli olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla çekirdek çapının üst sınırı belirlenmemiştir. Burada hedef optimum değeri elde etmektir. Bu değeri elde edilemiyorsa daha büyük çekirdek çaplarının oluşması veya kritik seviyenin altına inilmesi sağlanmalıdır.

5.1. Deneylerin Analizi

Çekirdek çapı ölçüm sonuçlarına göre hangi faktörlerin anlamlı olduğu ANOVA testi aracılığıyla belirlenmiştir. Tablo 5.4'te ANOVA testi sonuçları gösterilmektedir. Tabloda bulunan p değeri en küçük anlamlılık düzeyini temsil etmektedir. $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyine göre $p < \alpha$ değerini sağlayan faktörler anlamlıdır. ANOVA testine göre etkin faktörler akım, basınç, sıkma zamanı ve tıraşlama frekansı olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.4. ANOVA testi sonuçları (Minitab program çıktısı)

Model Summary						
S	R-Sq	R-Sq(adj)				
0,0995	99,74%	97,77%				
Analysis of Variance for Means						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Darbe	1	0,00934	0,00934	0,00934	0,94	0,434
Akım	2	5,89143	5,89143	2,94572	297,38	0,003
Basınç	2	0,49467	0,49467	0,24734	24,97	0,039
Sıkma Zamanı	2	0,38983	0,38983	0,19492	19,68	0,048
Kaynak Zamanı	2	0,20453	0,20453	0,10227	10,32	0,088
Soğuma Zamanı	2	0,10377	0,10377	0,05189	5,24	0,160
Tutma Zamanı	2	0,07180	0,07180	0,03590	3,62	0,216
Tıraşlama frekansı	2	0,35505	0,35505	0,17752	17,92	0,053
Residual Error	2	0,01981	0,01981	0,00991		
Total	17	7,54024				

Deneylerin analizi minitab programı taguchi fonksiyonu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Metodun verdiği S/N oranı ve ortalama ölçüm değerlerine göre hangi parametrenin ne derece etkili olduğu ve faktörlere ait hangi seviyelerin

kullanılması gerektiği de belirlenmiştir. Tablo 5.5'te yapılan deneylere ait Taguchi S/N oranı, tablo 5.6'da Taguchi S/N oranı grafiği gösterilmektedir.

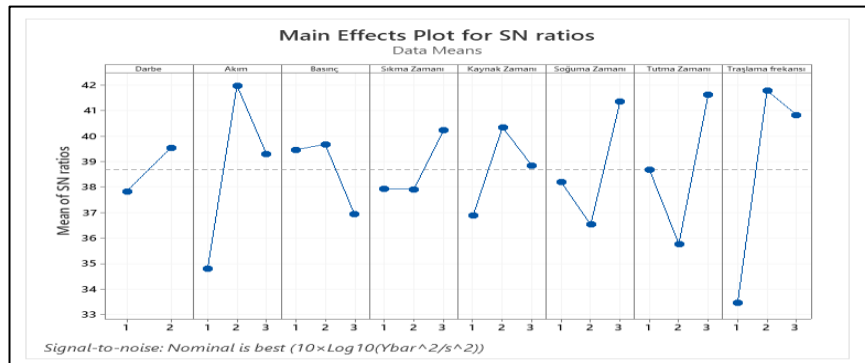
Tablo 5.5. Taguchi S/N oranı (Minitab program çıktısı)

Response Table for Signal to Noise Ratios								
Nominal is best ($10 \times \text{Log}_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)								
Level	Darbe	Akım	Basınç	Sıkma Zamanı	Kaynak Zamanı	Soğuma Zamanı	Tutma Zamanı	Tıraşlama Frekansı
1	37,83	34,78	39,45	37,93	36,88	38,19	38,67	33,45
2	39,54	41,97	39,67	37,91	40,34	36,52	35,76	41,78
3		39,29	36,92	40,21	38,83	41,34	41,61	40,82
Delta	1,71	7,19	2,75	2,31	3,46	4,81	5,85	8,33
Rank	8	2	6	7	5	4	3	1

Parametrelerin etki değerlerinin sıralaması belirlenirken Taguchi S/N oranını gösteren Tablo 5.5'ten yararlanılmıştır. Tabloda bulunan delta değeri büyükten küçüğe doğru etkin değerleri sıralamamıza yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda etkin değerler sıralaması rank kısmında da ifade edilmiştir. Buna göre etkin değerler sıralaması aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Tıraşlama frekansı,
- 2) Akım,
- 3) Tutma zamanı,
- 4) Soğuma zamanı,
- 5) Kaynak zamanı
- 6) Basınç
- 7) Sıkma zamanı
- 8) Darbe

Tablo 5.6. Taguchi S/N oranı grafiği (Minitab program çıktısı)



Taguchi metoduna göre deney parametrelerinin hangi seviyelerinin optimum sonuçları vereceği bulunurken Tablo 5.6'da bulunan S/N oranı grafiğinden yararlanılmıştır. Tabloya göre hangi seviyede en yüksek değer elde edilmişse, o seviye optimum sonuçların bulunmasına yardımcı olacaktır. Buna göre parametrelerin hangi seviyelerinin optimum değerleri vereceği Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Taguchi optimum değerler

Faktör	Seviye	Değer
Darbe	2	3
Akım	2	8500A
Basınç	2	3 kgf
Sıkma Zamanı	3	40 Cyc
Kaynak Zamanı	2	13 Cyc
Soğuma Zamanı	3	2 Cyc
Tutma Zamanı	3	15 Cyc
Tıraşlama Frekansı	2	50-100

Taguchi metodu sonuçlarına göre çekirdek çapını etkileyen en önemli faktörler tıraşlama frekansı ve akım olarak belirlenmiştir. Daha sonra sırasıyla tutma zamanı, soğuma zamanı, kaynak zamanı, basınç, sıkma zamanı, ve darbe olarak sıralanabilir.

Tıraşlama frekansı incelendiğinde 2. seviyenin uygun olduğu görülmüştür. 1.seviye istenilen çekirdek çapına ulaşmada yetersizdir. Bunun sebebi uç ilk tıraşlandığında uç çapının yeterli seviyeye gelmemesidir. Kaynak sayısı arttıkça ucun parçayla temas eden alanı artmaktadır. Uç tıraşlama yapılmadan kaynak yapılmaya devam edilmesi, kaynak noktalarının kopmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda, uç tüketim miktarı dikkate alındığında aynı uç ile daha fazla kaynak yapmak maliyet açısından önemlidir. Daha çok tıraşlama yapılan ucun ömrü daha kısa olacaktır. Dolayısıyla istenilen çekirdek çapı ve kopma meydana gelmemesi için optimum bir değer seçilmelidir.

Akım faktörünü incelediğimiz zaman 2. seviyenin uygun olduğu görülmüştür. 1. seviye istenilen çekirdek çapının oluşması için yeterli değildir. 3. seviye istenilen çekirdek çapını elde etmek için kullanılabilir. Fakat akım değerini yükseltmek kullanılan enerjiyi artırarak maliyetin artmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda akımı artırdıkça sıçramalar artmakta ve istenilmeyen çapaklar oluşmaktadır.

Zamansal faktörler incelendiğinde, tutma zamanı 3. seviye, soğuma zamanı 3. seviye kaynak zamanı 2. seviye ve sıkma zamanı 3. seviye olarak kullanılmaktadır. Kaynak sırasında kullanılan bu zaman faktörleri, kaynak sürecinin toplam zamanını belirlemektedir.

Otomotiv sektöründe kaynak çevrim zamanının en kısa tutulması istenir. Bunun sebebi robot çalışma süresinin azaltılarak, aynı robot ile daha fazla kaynak yapabilme olanağının bulunmasıdır. Ancak kaynak çevriminin kısa tutulması, yapılan deneylerden de anlaşılacağı gibi kaynak kalitesi problemlerine yol açabilir. Yapılan deneylerde zaman faktörlerinin seviyelerinin üst düzeylerde kullanılması önerilmiştir. Örneğin tutma zamanı 5 cyc, 10 cyc ve 15 cyc değerlerinden 3. seviye olan 15 cyc olarak kullanılması uygun görülmektedir. Zaman faktörlerinin daha kısa tutulması istenilen çekirdek çapına ulaşmada yetersiz kalabilir ve çapaklı kaynak oluşması gibi problemlere yol açabilir.

Basınç faktörü kaynak yapılacak sacların arasındaki temas direncini belirlemektedir. Saclar arasında boşluklar bulunuyorsa baskı kuvveti artırılarak sacların birbirine temas etmesi sağlanır. Yapılan deneylerde 2. seviye olan 3kgf basınç uygun olmaktadır.

Darbe faktörü deney sonuçlarından da görüldüğü gibi en az etkili olan faktördür ve 2. seviye olarak kullanılması uygun görülmüştür.

5.2. Deney Sonuçlarının Sağlaması

Tablo 5.7’de gösterildiği gibi Taguchi metoduna göre belirlenen optimum faktör seviyeleri ile deneyler 12 kere tekrar edilmiştir. Tablo 5.8’de deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.8. Doğrulama deneyleri

Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
Çap	4,83	4,66	4,53	4,43	4,48	4,52	4,76	4,63	4,53	4,63	4,41	4,78	4,60

Taguchi metodunun verdiği optimum değerler ile gerçekleştirilen doğrulama deneyi sonuçlarına göre ortalama 4,60 mm değerinde çekirdek çapı olduğu görülmüştür. Metodun minitab programı ile yapılan analizlerinde 4,53 değerinde çekirdek çapı

oluşması beklenmektedir. Tablo 5.9'da Taguchi metodu tahmin sonucu görülmektedir.

Tablo 5.9. Taguchi tahmini (Minitab program çıktısı)

Prediction			
S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
55,6820	4,53472	-0,0888048	-4,90606

Settings								
Darbe	Akım	Basınç	Sıkma Zamanı	Kaynak Zamanı	Soğuma Zamanı	Tutma Zamanı	Taşlama frekansı	
2	2	2	3	2	3	3	2	

Optimum değişken seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları, 5.1 ve 5.2 formülleri kullanılarak hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmektedir.

$$CI = \sqrt{F_{0,05}(1, v_e) V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (5.1)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + v_T} \quad (5.2)$$

$F_{0,05}(1, v_e)$ değeri hata serbestlik derecesi dikkate alınarak F tablosundan (=18,51) alınmaktadır.

V_e hata varyansı (=0,00991),

n_{eff} = Toplam deney sayısı / (1+ Ortalama yanıt tahminiyle ilişkili serbestlik derecesi) =3,375,

r doğrulama deney sayısını (=12),

N toplam deney sayısını (=54),

v_T değişkenlerin serbestlik derecelerinin toplamını (=15) ifade etmektedir.

$$n_{eff} = 54/(1+15) = 3,375$$

$$CI = (18,51 * 0,00991 ((1/3,375) + (1/12)))^{1/2} = 0,1236$$

Doğrulama deney sonuçları ortalamasının, içinde bulunması gereken güven aralığı 5.3 formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Y_{opt}-CI < Y_{deney} < Y_{opt}+CI \quad (5.3)$$

Seçilen seviyelerle hedeflenen optimum çekirdek çapı değeri 4,53 mm ve doğrulama deney ortalaması 4,60 mm,

$$4,53-0,1236 < Y_{deney} < 4,53 +0,1236 \Rightarrow 4,4064 < Y_{deney} < 4,6536$$

olduğundan doğrulama deneylerinden elde edilen ortalama kaynak çapı olan 4,60 mm değerinin tahmin aralığı içerisinde kaldığı ve Taguchi yöntemiyle yapılan optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılık düzeyinde başarılı olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taguchi metodu ile fazla sayıda deney yapılmasına gerek kalmadan optimum sonuca ulaşılması hedeflenmiştir. Çekirdek çapına çoktan aza doğru etki eden faktörler belirlenmiş ve kullanılması gereken optimum değerler seçilmiştir. Bu değerlere göre deneylerin sağlanması yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Yapılan her bir doğrulama deneyinde bulunan çekirdek çapı sonuçları, istenilen optimum değer olan 4,3 mm çekirdek çapından daha küçük değere hiç düşmemiştir. Taguchi metodunun vermiş olduğu sonuç ile doğrulama deneyleri sonuçları birbirine yakınlık göstermektedir. Özellikle kritik değer olan 3,4 mm çekirdek çapı değerine yakın bir değer bulunmaması ve optimum değerlere yakın sonuçları önermesi yöntemin başarılı olduğunu göstermektedir. Belirlenen bu seviyeler ile kaynak yapmak istenilen çekirdek çapını elde etmek için uygundur.

Yapılan deneyler ile akım ve tıraşlama frekansının çekirdek çapına olan etkisinin diğer parametrelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Daha yüksek akım değerlerinde çalışıp daha fazla enerji harcamak yerine optimum sonucu verecek olan akım değeri belirlenerek enerji ve maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir.

Çalışma yapılan firmaya bazı parçalar tedarikçiler tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla çalışma yapılan firmada her araca ortalama 1420 adet punta atılmaktadır. Yapılan çalışmalar ile her kaynak noktasının akım değeri ortalama olarak 400A azaltılmıştır. Bu şekilde her bir punta noktasından elde edilen tasarruf 0,00005748288 \$ / spot olarak belirlenmiştir.

Bu şekilde her bir aracın enerji maliyeti düşüşü:

$$1420 \times 0,00005748288 = 0,0816256869 \$$$

olarak belirlenmiştir. Firmada yılda ortalama 190000 araç üretilmektedir. Buna göre yıllık,

$190000 \times 0,0816256869 \$ = 15509 \$$ tasarruf sağlanması hedeflenmektedir. Bu şekilde hem enerji tasarrufu yapılırken hem de araç başına düşen maliyet azaltılmış olmaktadır. Aynı zamanda kaynak kalitesinden taviz verilmeden istenilen çekirdek çapları elde edilebilmekte ve kaynak kopmaları yaşanmamaktadır.

Otomotiv sektöründe kullanılan sac kalınlıkları standarttır. Her aracın aynı bölgesi aynı sac kalınlığına sahiptir. Örneğin, aracın bir bölgesinde 0,7 mm ve 0,8mm kalınlığa sahip iki sac birleştiriliyorsa bütün araçlarda o bölge aynı saclardan oluşur. Ancak her farklı bölge farklı sac kalınlıklarına sahip olabilir. Farklı sac kalınlıkları için farklı parametrelerin kullanılması gerekebilir. Dolayısıyla her kaynak noktasına bu değerleri uygulamak olumsuz sonuçlara yol açabilir. Farklı kalınlıklardaki sacların kaynak işlemi için aynı şekilde optimum parametreler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Ahmad A. M., Sheikh K. A., Nazir K., Design of Experiment Based Statistical Approaches to Optimize Submerged Arc Welding Process Parameters, *ISA Transactions*, 2019, 307-315.

Akman G., Özkan C., Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı İle Çözümü, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2011, **12**(2), 187-199.

Altun Y., Özcan M., Ütü Masası Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Tasarım Parametrelerinin Tespiti, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2015, **3**(2) , 85-90.

Alzahougi A.O., Investigation and Simulation of Resistance Spot Welding Using DP600 Steel in Automotive Industry, Ph. D. Thesis, Karabuk University, Institute of Graduate Programs, Karabük, 2020, 610387.

Aydın M., Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları, *Aybitak Bilim ve İleri Teknolojiler Araştırma Geliştirme*.

Aytekin, F. G., Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deney Tasarımı İle Eniyilenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372689.

Başar Y., Nokta Direnç Kaynağında Isıl ve Yapısal Analizlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 405052.

Besterfield D. H., Besterfield C., Besterfield G. H., Besterfield M., Total Quality Management, 1st ed., *Prentice Hall Inc.*, New Jersey, 1995.

Canıyılmaz E., Kutay F., Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi*, 2003, **18**(3), 51-63.

Cho Y., Li W., Hu S.J., Design of Experiment Analysis and Weld Lobe Estimation for Aluminum Resistance Spot Welding, *Welding Journal*, 2006, 45-51.

Çelebi A., Deney Tasarımı Yöntemi Kullanılarak Oksit Oranlarının Yer Karosu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2015, 392220.

Çömlekçi N., Deney tasarımı ilke ve teknikleri, *Alfa Yayınları Ders Kitapları*, 2003, 468s.

Dieter, G.E., *Engineering Design*, 3rd Edition, Mc Graw-Hill Book Co., Singapore, 2000, 798.

Ferah M., Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2003, 7(2).

Gökçe B., Taşgetiren S., Kalite İçin Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, 6(1), 71-83.

Gür A.K., Kaya S., Abrasive Wear Resistance Optimization of Three Different Carbide Coatings by the Taguchi Method, *Mater. Test.*, 2017, 59(5), 450-455.

Hasgül Ö., Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Deney Tasarımı : Gıda Sektöründe Bir Uygulama, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 2011.

Hinkelmann K., Kempthorne O., Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design., *A John Wiley & Sons, Inc.*, Publication, New Jersey, 2005.

İçen B., Ferritik Paslanmaz Çeliğin Yüzey Modifikasyonunda Metal Karbürlerin Etkisinin Taguchi Metoduyla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2019, 572596.

İş U., Bir Otomobil Fabrikası Kaporta Departmanı'nda Kaynak Parametre Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2017, 497159.

Kabaklı E., Optimization of Process Parameters of Drilling Using The Taguchi Method, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 244297.

Kahraman B., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 232760.

Kalyon N., Elektro Erozyon ile İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü ve İş parçası İşleme Hızının Alüminyum Alaşımı İçin Taguchi Tekniği ile Optimizasyonu, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019, 21(62), 595-605.

Kamber B. R., Negatif İyon Jeneratörlerinin Ürettiği Negatif İyonların Voltaj, Hava Hızı Değişimi ve Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Etki Alanlarının Araştırılması ve Taguchi Metodu ile Optimizasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 570117.

Koral M., 5052 Alüminyum Alaşım Oranı 0,6 Olan Metal Matrisli Kompozit Malzeme ile Mekanik Araç Krikosu Gerilme Analizi ve Taguchi Metodu. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2018, 521847.

Meral G. ve Ark., Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2011, **27**(4).

Mercan Ş., Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yaralanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2019, 559184.

Oğuz H., Paslanmaz Çelik-Galvanizli Çelik Çiftinin Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2018, 527477.

Ramier S., Using Experimental Design to Improve Product Quality and an Application. Master Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 2015, 410602.

Raut M., Achwal Vishal., Optimization Of Spot Welding Process Parameters For Maximum Tensile Strength, *Int. J. Eng. & Rob. Res.*, 2014, **3**(4).

Savaş Ö., Experimental Design and Statistical Modeling for Efficient Wind Tunnel Testing, Master Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2019, 594821.

Şener Ü. E., Otomotiv Gövde Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Kaynağı Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.

Şirvancı M., Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1997.

Taylan D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009, 234158.

Tekin G., Otomotiv Sektöründe Kullanılan Elektrik Direnç Kaynağına Alternatif Laser Nokta Kaynağının Mekanik ve Termal Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2019, 595086.

Türkoğlu H., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Darbe Sönümleyici Parçanın Nokta Direnç Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 432198.

Uzun R., Ön Deformasyon Uygulanmış DP600 Kalite Çeliklerin Punta Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 455356.

Ünlükal E., Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 223646.

Yılmaz H., Investigation of Carburized Quenching Process of Shafts Using Design of Experiments, Master Thesis, Atılım University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2017, 490319.

Zümrüt Z., Tam Faktöriyel Deney Tasarımı Tekniği ile Hidroksiapatit Kaplı Titanyum İmplant Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Parametrelerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251010.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Sabırlı A., Fığlalı A., Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2020, **3**(2), 223-229.



ÖZGEÇMİŞ

İlk orta ve lise öğrenimini Hatay'da tamamladı. 2011 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2017 – 2019 yılları arasında Altınay Robot Teknolojileri firmasında Robot Sistemleri Devreye Alma Mühendisi olarak çalıştı. Aynı zamanda 2017 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki yüksek lisans öğrenimini 2021 yılında tamamladı. 2019 – 2021 yılları arasında Hyundai Assan Otomotiv firması gövde departmanında kaynak ve proje mühendisi olarak görev yaptı. 2021 yılından beri Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi firmasında gövde metot ve proje mühendisi olarak görev yapmaktadır.