



Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu

Optimization of Electric Resistance Welding Parameters by Taguchi Method to Achieve Optimum Nugget Size

Ali SABIRLI^{1,*} Alpaslan FIĞLALI²

¹ Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4215-1467

² Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8364-3313

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 25/06/2020

Kabul Tarihi : 28/12/2020

Ahtar Kelimeler

Deney Tasarımı
Taguchi Yöntemi
Elektrik Direnç Kaynağı
Çekirdek Çapı

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

Research Paper

Received Date : 25/06/2020

Accepted Date : 28/12/2020

Keywords

Experimental Design
Taguchi Method
Electric Resistance Welding
Nugget Size

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 article, 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.

1. Giriş

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. [1]

Otomotiv sektöründe sac parçalarının birleştirilmesi işleminde kaynak metotları etkin olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan kaynak yöntemlerinin 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,

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): alisabirli41@gmail.com



esnek ve bakımı kolaydır. Ayrıca, otomotiv endüstrisindeki kullanımı köklü geçmişe dayanmaktadır. Dolayısıyla alüminyum sac parçaların birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı kullanılması güçlü bir tercihtir.

Bir otomobilde ortalama 4000'den fazla punta kaynak bulunmaktadır. Bu kaynak noktalarının her biri otomobilin kalitesini etkilemektedir. Dolayısıyla her kaynak noktasının maksimum düzeyde kaliteli olması ve kopmaması istenmektedir. Otomotiv sektöründe her bir kaynak noktası periyodik olarak kontrol edilmekte ve problem görülen noktaların iyileştirilmesi yapılmaktadır.

Kaynak noktalarının kopmaması hedeflenirken, aynı zamanda çapaklı ve deformasyonlu kaynak noktalarının da olmamasına özen gösterilmelidir. Özellikle çapaklı kaynak noktaları araçta çizikler oluşturabilir ve yangın çıkmasına sebep olabilir. Dolayısıyla kaynak yapılacak noktaya en uygun parametrelerin seçilmesi önemlidir.

Kaynak kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan biri de kaynak çekirdek çapıdır. Çekirdek çapının istenilenden küçük bir değerde olması yapılan kaynağın kalitesiz olduğu anlamına gelmektedir. Otomotiv sektöründe her kaynak noktasının çekirdek çapı aynı şekilde periyodik olarak ölçülmektedir.

Kaliteli kaynak, doğru kaynak parametrelerinin uygulanmasıyla elde edilir. Bu parametrelerin seçimi sac kalınlığına, kaç sacın birleştirildiğine, malzemenin özelliğine göre süreçte 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 Taguchi metodu kullanarak, otomotiv sektöründe en çok kullanılan elektrik direnç kaynak yönteminde en doğru kaynak parametrelerinin seçimi ile istenilen çekirdek çapını elde etmeye yönelik yapılan bir çalışmadır.

2. Malzeme ve Yöntem

Deney tasarımı, çeşitli faktörler (değişkenler) ve bunlara verilen cevaplar arasındaki ilişkiyi bulmak anlamına gelmektedir. [2]

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. [3]

Deney tasarımının uygulama aşamaları genel olarak 7 madde ile özetlenebilir.

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

Deney tasarım metodları, tam faktöriyel ve kesirli faktöriyel olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

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.

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.

Kesirli faktöriyel deney tasarımına ait bir metod olan Taguchi metodu, kalite sağlama adımlarını çevrim dışı kalite kontrol altında hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için 3 adıma ayırmıştır. Bu aşamalar sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak belirlenmiştir. [4]

Taguchi deney tasarımı metodu uygulama adımları 7 madde ile özetlenebilir.

1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi
3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi
4. Faktör veya etkileşimlerin kolonlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması [5]

Taguchi deney tasarımında, öncelikle sisteme etki eden faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri belirlenir. Daha sonra bu değerlere göre Taguchi ortogonal dizi seçim tablosundan hangi dizinin kullanılacağı belirlenir. Tablo 1'de Taguchi ortogonal dizi tablosu gösterilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda S/N (sinyal / gürültü) oranı ve ortalama değerlere göre sisteme etki eden etkin parametreler belirlenir. Faktörlerin sistemi ne derece etkilediği bu yöntemle belirlenebilmektedir.

Tablo 1. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Tablosu [3].

PARAMETRE SAYISI	SEVİYE SAYISI		L4	3		L9	4		L' 16	5		L25
	P=2	S=2		P=2	S=3		P=2	S=4		P=2	S=5	
P=2	S=2			P=2	S=3		P=2	S=4		P=2	S=5	
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			P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5	
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			P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5	
P=11	S=2			P=11	S=3					P=11	S=5	
P=12	S=2			P=12	S=3					P=12	S=5	
P=13	S=2			P=13	S=3							
P=14	S=2			P=14	S=3							
P=15	S=2			P=15	S=3							
P=16	S=2			P=16	S=3							
P=17	S=2			P=17	S=3							
P=18	S=2			P=18	S=3							
P=19	S=2			P=19	S=3							
P=20	S=2			P=20	S=3							
P=21	S=2			P=21	S=3							
P=22	S=2			P=22	S=3							
P=23	S=2			P=23	S=3							
P=24	S=2											
P=25	S=2											
P=26	S=2											
P=27	S=2											
P=28	S=2											
P=29	S=2											
P=30	S=2											
P=31	S=2											

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;

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

En büyük en iyi fonksiyonu için;

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

Hedef değer en iyi fonksiyonu için;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

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

formülleri kullanılarak hesaplama yapılır. Burada;

y_i : Performans karakteristiğini,

i : Gözlem değerini,

n : Deney sayısını,

\bar{y} : Gözlem değerlerinin ortalamasını,

S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Bu çalışmada optimum çekirdek çapını elde edebilmek için kaynak parametrelerinin nasıl etkili olduğu araştırılmıştır. Çalışmada 0,6 mm kalınlığında saclar kullanılmıştır. Kaynak parametreleri olarak 8 faktör belirlenmiş ve bu faktörlere ait

seviler 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 farklı değer içeren deney seti ile çalışma yapılmıştır.

Kaynak parametrelerini etkileyen faktörler kaynak akımı, basınç, kaynak süresi, sıkma zamanı, soğuma zamanı, tutma zamanı, darbe ve uç tıraşlama frekansı olarak sıralanabilir. Bu parametrelere ait seviyelerin değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan ve sabit olan faktörler sac kalınlığı ve uç çapıdır. 0,6 mm kalınlığa sahip saclar ve 16 mm konik uç kullanılmıştır.

Tablo 2. Faktörler ve Seviyelerin Değerleri.

Faktörler	Değer 1	Değer 2	Değer3
Darbe (Adet)	1	3	
Akm (A)	7500	8500	10000
Basınç (kgf/ cm ²)	2	3	4
Sıkma Zamanı (cyc)	20	30	40
Kaynak Zamanı (cyc)	10	13	16
Soğuma Zamanı (cyc)	0	1	2
Tutma Zamanı (cyc)	5	10	15
Tıraşlama Frekansı (punta sayısı)	0-50	50-100	100-150

Bir otomotiv firmasından alınan değerlere göre, 0,6 mm kalınlığa sahip saclar 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 3’te farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları gösterilmektedir.

Tablo 3. Farklı Sac Kalınlıkları İçin Kaynak Çekirdeği Çapları [6].

Sac 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 değerın altındaki kaynak noktalarına iyileştirme yapılarak optimum seviyeye getirilir. Bu çalışma için optimum değer ile kritik değer arasındaki çekirdek çapı farkı 4,3 mm–3,4 mm = 0,9 mm olarak hesaplanabilir. Optimum değerın üzerindeki çekirdek çapları kaliteli olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla çekirdek çapının üst sınırı belirlenmemiştir. Burada hedef optimum değeri elde etmektir. Bu değer elde edilemiyorsa daha büyük çekirdek çaplarının oluşması veya kritik seviyenin altına inilmemesi sağlanmalıdır.

Tablo 4'te Taguchi L18 dizisi kullanılarak yapılacak olan 18 deney gösterilmiştir.

Tablo 4. Taguchi L18 dizisine göre yapılacak 18 deney.

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

Her deney noktası için bir sekans numarası atanmıştır. Deneyler 3'er defa tekrarlanarak deneylerin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır. Toplam 54 deney yapılarak sekans numaraları Şekil 1'de gösterildiği gibi parça üzerine kaydedilmiştir.



Şekil 1. Parça üzerinde sekans numaralarının gösterimi.

Bu işlemten sonra kaynak noktaları pnomatik hilti ile koparılmış ve çekirdek çapı dijital kumpas ile hassas olarak ölçülmüştür. Tablo 5'te çekirdek çapı ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5. Çekirdek Çapı Ölçüm Sonuçları.

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)	Tıraşlama 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 yanlı (sistematik) yanlıların ortaya çıkmasını önler. Deney kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek yanlılığın engellenmesi için her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. [5] Deneyler Tablo 5'te verilen rassallık ile yapılmıştır. Tablo, Taguchi metodu L18 sistemine göre düzenlenilerek gösterilmiştir.

Çekirdek çapı ölçüm sonuçlarına göre hangi faktörlerin anlamlı olduğu ANOVA testi aracılığıyla belirlenmiştir. Tablo 6'da 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 6. ANOVA testi sonuçları.

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 oranına göre hangi parametrenin ne derece etkili olduğu ve faktörlere ait hangi seviyelerin kullanılması gerektiği de belirlenmiştir. Tablo 7'de yapılan deneylere ait Taguchi S/N oranı tablosu ve Şekil 2'de S/N oranı grafiği gösterilmektedir.

Tablo 7. Taguchi S/N oranı.

Response Table for Signal to Noise Ratios

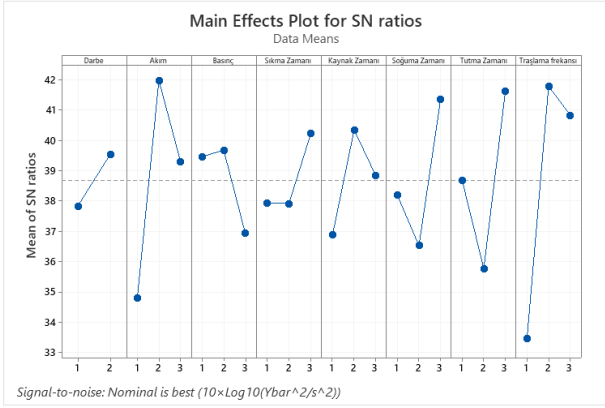
Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{y}bar^2/s^2)$)

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

Parametelerin etki değerlerinin sıralaması belirlenirken Taguchi S/N oranını gösteren Tablo 7'dan yararlanılmıştır. Tabloda bulunan delta değeri büyüken 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



Şekil 2. Taguchi S/N oran grafiği

Taguchi metoduna göre deney parametrelerinin hangi seviyelerinin optimum sonuçları vereceği bulunurken Şekil 2'de 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 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. 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

3. Bulgular ve Tartışma

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 incelediğinde 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 kullanmak önerilmektedir. 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 3 kgf basınç uygun olmaktadır.

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

4. Sonuçlar

Tablo 8’de gösterildiği gibi Taguchi metoduna göre belirlenen optimum faktör seviyeleri ile deneyler 12 kere tekrar edilmiştir. Tablo 9’da deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 9. 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 10’da Taguchi metodu tahmin sonucu görülmektedir.

Tablo 10. Taguchi tahmini

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	Tıraşlama frekansı
2	2	2	3	2	3	3	2

Optimum değişken seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları, aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmektedir.

$$CI = \sqrt{F_{0,05}(1, v_e) V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (4)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + v_T}$$

Burada V_e , hata varyansını (0,00991); r , doğrulama deney sayısını (12); N , toplam deney sayısını (54); v_T ise değişkenlerin serbestlik derecelerinin toplamını (15) ifade etmektedir. $F_{0,05}(1, v_e)$ değeri v_e hata serbestlik derecesi ile F tablosundan alınan değer(18,51)’dir.

$n_{eff} = \text{Toplam deney sayısı} / (1 + \text{Ortalama yanıt tahminiyle ilişkili serbestlik derecesi}) = 3,375$ ve bu verilere göre Eş.(4)’ten $CI=0,1236$ olarak bulunur.

Doğrulama deney sonuçları ortalaması(\bar{y})’nın, içinde bulunması gereken güven aralığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Y_{opt} - CI < \bar{y} < Y_{opt} + CI \quad (5)$$

Seçilen seviyelerle hedeflenen optimum çekirdek çapı değeri 4,53 mm ve doğrulama deney ortalaması da 4,60 mm olduğuna göre Eş.(5)’ten güven aralığı;

$$4,53 - 0,1236 < \bar{y} < 4,53 + 0,1236 \Rightarrow 4,4064 < \bar{y} < 4,6536$$

olarak belirlenir. 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.

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:

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

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

$$190000 * 0,0816256869 \$ = 15509 \$$$

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 0,8 mm 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

- [1] Aytekin F.G., Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deney Tasarımı İle Eniyilenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372689.
- [2] Yılmaz H., Investigation of Carburized Quenching Process of Shafts Using Design of Experiments, Master Thesis, Atılım University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2017, 490319.
- [3] Gökçe B., Taşgetiren S., 2009. Kalite İçin Deney Tasarımı. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2009, 6(1), 71-83
- [4] Mercan Ş., Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yaralanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019, 559184.
- [5] Taylan D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009, 234158.
- [6] Aydın M., Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları. Aybitak Bilim ve İleri Teknolojiler Araştırma Geliştirme
- [7] Şirvancı M., Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayıncılık, İstanbul 1997.
- [8] Şener Ü.E., Otomotiv Gövde Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Kaynağı Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.
- [9] Ünlükal E., Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 223646.
- [10] İş U., Bir Otomobil Fabrikası Kaporta Departmanı'nda Kaynak Parametre Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017, 497159.
- [11] Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., 2011. Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27(4), 332-338.
- [12] Canyılmaz E., Kutay F., 2003. Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 18(3), 51-63.
- [13] Ross, P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill Professional; 2 edition, 1995.
- [14] Montgomery D. C., Design and analysis of experiments, 6th ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 2005.
- [15] Besterfield D. H., Besterfield C., Besterfield G. H., Besterfield M., Total Quality Management, 1st ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995.
- [16] Hinkelmann K., Kempthorne O., Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design., A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2005.
- [17] Çömlekçi N., Deney tasarımı ilke ve teknikleri. Alfa Yayınları Ders Kitapları. 2003, 468s.
- [18] Kalyon N., 2019. 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, 21(62), 595-605.
- [19] Ferah M., 2003. Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 61-69.