

KAYNAK CIVATALARININ PROJEKSİYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE ÇAPAKLANMANIN AZALTILMASINA YÖNELİK OPTİMAL PROSES PARAMETRELERİNİN TAGUCHİ VE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİYLE TESPİT EDİLMESİ

Aysel Biyik*

Norm Civata San. Tic. A.Ş. AR-GE Merkezi,
İzmir
aysel.biyik@norm-fasteners.com.tr

Umut İnce

Norm Civata San. Tic. A.Ş. AR-GE Merkezi,
İzmir
umut.ince@norm-fasteners.com.tr

Fatih Ateş

Ermatal Otomotiv ve Eşya San. Tic. A.Ş.
AR-GE Merkezi, Bursa
fatih.ates@ermatal.com

Kaan Yetilmezsoy

Doç. Dr.,
Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul
yetilmez@yildiz.edu.tr

ÖZ

Projeksiyon kaynağı sırasında civata dişlerine ve civatanın kaynatıldığı saca eriyik metal fişkirarak bu parçalar üzerinde çapak oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durum, fonksiyon kaybı ve korozyon başlatma riski nedeniyle, başta otomotiv sektörü olmak üzere, kullanılan her alanda güvenlik problemi doğurmaktadır. Ayrıca bu durum müşteri şikayetine neden olarak rekabette prestij ve güç kaybına yol açmaktadır. Bu çalışmada, kaynak dayanımından ödün verilmeden çapaklanma problemi en aza indirmeye çalışılmıştır. Kaynak civatasının kabartı boyutları ve proses parametrelerinin etki dereceleri ile optimum değerleri Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden olan kompozit çekicilik fonksiyonu yaklaşımı ile belirlenmiştir. Fişkirma ve çapaklanma endeksi ve kaynak kopma kuvveti olmak üzere her iki yanıt faktörünü de kapsayan kompozit çekicilik fonksiyonu yaklaşımıyla tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Kaynak prosesi açısından akım, kuvvet ve kabartı yüksekliği gibi parametrelerin optimal değerleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Projeksiyon kaynağı, kaynak civatası, çapaklanma, Taguchi, çok amaçlı optimizasyon

DETERMINATION OF OPTIMIZED PROCESS PARAMETERS BY USING TAGUCHI AND MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION METHODS, INTENDED FOR MINIMIZATION OF BURRING DEFECT WHILE JOINING THE WELDING BOLTS WITH PROJECTION WELDING OPERATION

ABSTRACT

Expulsion of the molten material onto the bolt thread and bolt welded sheet during projection welding, causes burr formation on these parts. Used in all sectors and notably in the automotive industry, this situation arises major security problems causing functional loss and the corrosion risk. Moreover, these defects cause the loss of prestige and the power on competition by engendering customer complaints. In this study, burring problem is minimized without making any concessions about weld strength. Projection dimensions of weld bolt, effect level and the optimized values of welding process parameters are defined by using Taguchi and multi-objective optimization methods. Reliable results are obtained by using multi-objective optimization methods, including both two of the response factors, which are expulsion and burring index and weld strength. In terms of welding process, the parameters such as weld current, electrode force and projection height are found to be the effective factors which minimize expulsion and burring defects, then optimized values of these parameters are defined.

Keywords: Projection welding, weld bolt, burring, Taguchi, multi-objective optimization

Geliş tarihi : 16.02.2016
Kabul tarihi : 20.05.2016

Biyik, A., İnce, U., Ateş, F., Yetilmezsoy, K. 2016. "Kaynak Civatalarının Projeksiyon Kaynağı ile Birleştirilmesinde Çapaklanmanın Azaltılmasına Yönelik Optimal Proses Parametrelerinin Taguchi ve Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemleriyle Tespit Edilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 677, s. 36-52.

1. GİRİŞ

Civata ve somun gibi bağlantı elemanlarının sac parçalara projeksiyon kaynağı ile birleştirilmesi sırasında eriyik metalin fişkirma sonucu parçalar üzerinde oluşan çapaklanma montajı zorlaştırmakta; montaj gerçekleşse dahi civata/somun dişlerine yapışan çapaklar, dişlerde sıyrılmaya yol açarak parçalarda işlev kaybına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra, çapaklanma, özellikle kaplamalı parçalarda zamanla kaplamayı yüzeyden kaldırıp, en tehlikeli korozyon tiplerinden biri olan çukurcuk korozyonunun oluşumuna neden olmaktadır. Çukurcuk korozyonunun hızı, homojen korozyon hızından çok daha fazladır. Zaman içerisinde ilerleyen çukurcuk korozyonu, bağlantı elemanı üzerinde yüksek gerilme bölgelerinin oluşmasına ve çatlak başlangıcına sebep olmaktadır. Bu durum, bağlantı elemanının kırılmasına ve montajın boşalmasına yol açarak araç arızalarının yanı sıra, hasarlı ve/veya ölümlü trafik kazalarına dahi sebep olabilmektedir. Kaynaklı parçalarda çapak oluşumu hem yukarıda bahsedilen kritik nedenlerden hem de tespit edilmesi ve temizlenmesi için ek işçilik ve fazla malzeme kullanımı gibi ek maliyetler doğurması nedeniyle kesinlikle istenmemektedir [1].

Günümüzün global ekonomisinde yüksek kaliteli fakat düşük maliyetli ürün ve prosesler ayakta kalmanın anahtarı durumundadır. Kalite bilincine sahip işletmeler, maliyet ve performans üzerine rekabet etme isteği ile hareket ederek ürünlerinin tasarımını optimize etme (en iyileme) üzerine odaklanmaktadır. Ürün kalitesini geliştirmek için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunların önemli bir kısmı, ürünün performans karakteristiklerini tek tek ele alarak kaliteyi sağlamaya çalışmaktadır. Ancak söz konusu yaklaşımlar yeteri kadar etkin ve ekonomik değildir. Bu sebeple, iki veya daha çok yanıtı beraber analiz eden, ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve en iyi kombinasyonlar ortaya koyan yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Taguchi yöntemi, ürün ve proseste değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, üründe ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan deneysel bir tasarım yöntemidir [2]. Bu yöntem, ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç vermektedir. Bunun yanında felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanmasını öngörmektedir [3]. Taguchi Yöntemi'nde faktör seviyelerinin tespit edilmesinde; gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun farkları yöntemi, varyans analizi ve fark etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemlerinden birisi uygulanmaktadır [4]. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptama adına oldukça yararlı bir yöntemdir [5, 6]. Taguchi'nin tam ve bütünlük sistemi, ürün ya da üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemede ve

bu spesifikasyonlara göre üretilmesinde yardımcı olmaktadır. Taguchi yöntemi, esasen en iyileme tekniğinin sürekli, ayrık ve niteliksel tasarım değişkenli problemlerin çözümüne çok iyi uyan tipidir. Bu yüzden, herhangi bir yapay sinir ağı modeli bu yöntemle en iyilenebilir. Diğer yöntem olan genetik algoritma, çok fazla hesaplama maliyeti gerektirmektedir [7]. Çoklu kalite yanıtını en iyilemek, birçok üretici için giderek artan bir zorunluluktur. Ayrıca, çoklu yanıtlar eş zamanlı olarak niteliksel ve sayısal karakteristikleri içermeyebilir. Taguchi Yöntemi, niteliksel ve sayısal kalite karakteristiklerini içeren çok yanıtlı problemlere doğrudan uygulanamaz [8]. Ancak çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte uygulandığında birden fazla yanıtın eş zamanlı olarak en iyilenmesi sürecinde etkin sonuçlar vermektedir.

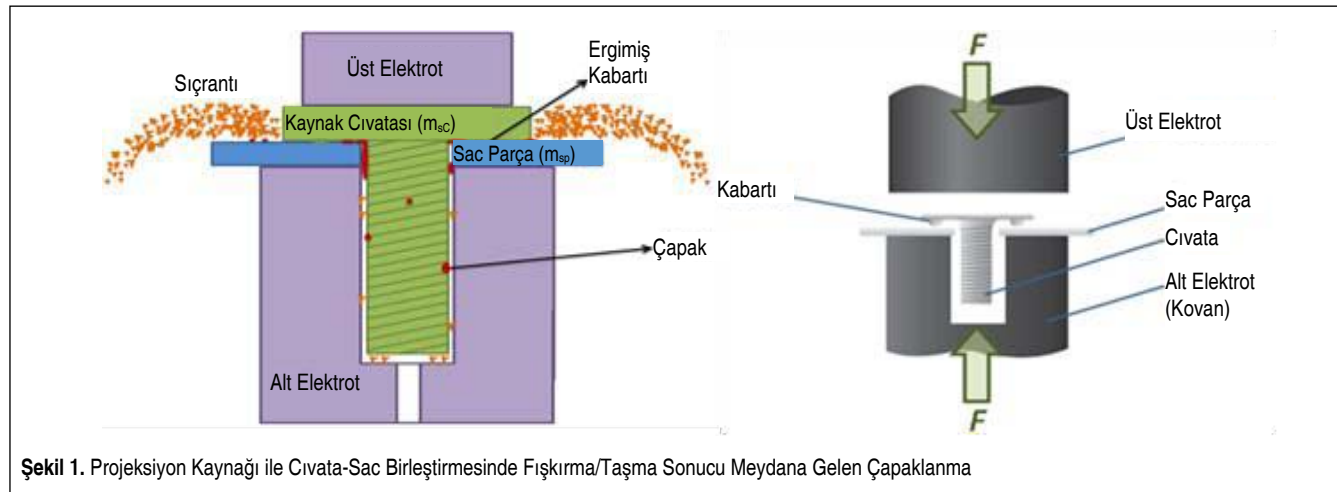
Taguchi Yöntemi ve istatistiksel veri analizinin çok sayıda imalat prosesine, parametrelerin optimizasyonu amacıyla uygulandığı literatürden izlenebilir. Örneğin, Taylan tarafından [9] tamamlanan yüksek lisans tez çalışmasındaki Taguchi deney tasarımının esasları incelenmiş; bu çalışmada, askeri bir fabrikada yakılan üç tip kimyasal maddenin günlük yakılan toplam miktarının maksimizasyonu için Taguchi Yöntemi'nden faydalanılmıştır. Bunun yanı sıra, Gökçe ve Taşgetiren [7], Hamzaçebi ve Kutay [10] ve Baynal [11] tarafından yayınlanan çalışmalar da Taguchi Yöntemi'nin esasları ve sistematığı hakkında pratiğe yönelik özet bilgiler sunulmaktadır. Canıyılmaz ve Kutay [2], Taguchi Yöntemi'nde varyans analizine (ANOVA'ya) alternatif bir yaklaşım olarak "Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi" yönteminin avantajlarını vurgulayan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, şalter üretimi yapan bir firmada, şalter gövdelerinin termoset malzemedeki imalat parametrelerinin prosese ve gövde mukavemete etki dereceleri ANOVA ve grafiksel yöntemiyle belirlenerek karşılaştırılmış; optimum sonuçları sağlayan seviye kombinasyonları için grafiksel yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği açıklanmıştır. Singh ve Vijayakumar tarafından [12] yapılan çalışmada ise AISI 301L kalite paslanmaz çelik sacın nokta direnç kaynağında dayanım, çekirdek ebadı ve penetrasyon ile tanımlanan kaynak kalitesinin bir göstergesi olan çökme miktarı üzerinde durulmuştur. Parametre olarak akım şiddeti, çevrim sayısı, tutma ve soğutma sürelerinin etki dereceleri Taguchi yöntemi ile araştırılmış; parametre seviyeleri bu göstergeyi iyileştirecek şekilde optimize edilmiştir. Kuo vd. [13], çok kriterli benzetim problemlerinin optimal çözümünü bulma noktasında gri ilişkisel analiz tekniği ile Taguchi Yöntemini birlikte kullanmışlardır. Liao [14], çok kriterli benzetim en iyilemesinde TOPSİS ile Taguchi Yöntemini eş zamanlı olarak kullanmıştır. Huang ve Liao [15], elektrik teli boşaltım mekanizmasına ait faktörlerin en iyi seviye kombinasyonlarının tespit edilmesinde GRA ve Taguchi Yöntemini birlikte uygulamışlardır. Biswas vd. [16], çok yanıtlı toz altı ark kaynağı optimizasyonunda VIKOR ve Taguchi yöntemlerini bir-

likte uygulamışlardır. Çok yanıtlı bir deneysel çalışmadan bir- den fazla değişkene bağlı çıktılar bulunuyorsa, bu çıktıların çok dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Yanıt değişkenleri tekil ve birbirinden bağımsız olarak incelenmelidir. Birden fazla yanıt eş zamanlı olarak en iyilenmelidir [17]. Belirsiz faktörlere sahip tasarım değişkenlerinin mevcut olduğu durumlarda tüm yanıtları kapsayacak bir çözüm belirlenmelidir. Bu doğrultuda gerçekleştirilecek çözümde, tüm yanıtlar en iyilenir ve varyanslar en küçüklendir [18, 19].

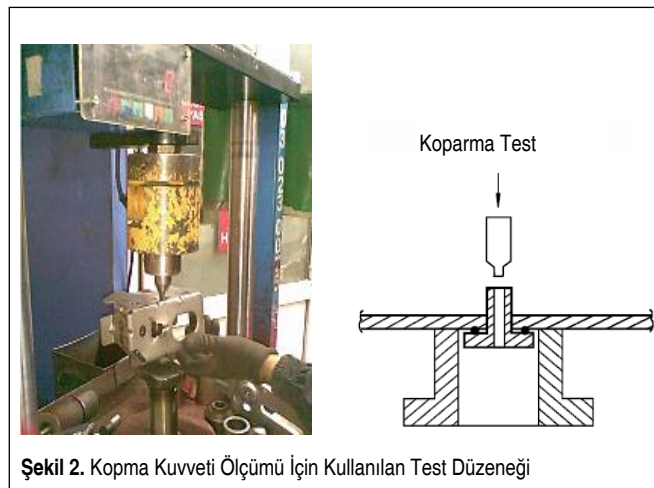
Projeksiyon kaynak prosesinin temsili gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Analizlerde iki adet performans karakteristiği yer almaktadır. Bunlar Erhuy vd. tarafından yapılan çalışmada önerilen [1] fişkırtma ve çapaklanma bileşik endeksi (E) ve kopma kuvveti (F_k)’dir. Fişkırtma endeksi, kaynak işlemi esnasında etrafa dağılan sıçrantıların, 0,1 mg hassasiyetindeki terazi ile ölçülen cıvata ve sac parçanın toplam kütle eksilmesini temsil etmektedir. Çapaklanma endeksi ise her bir çapağın tespiti, şekli ve geometrisine göre tasnif edilip, Erhuy vd. tarafından yapılan çalışmada önerilen metodolojiye göre belirlenmektedir. Her iki endeksten gelen değerlerin toplamı fişkırtma ve çapaklanma bileşik endeksi olarak belirlenmekte-

dir. Kopma kuvveti ölçümü için kullanılan test düzeneği Şekil 2’de gösterilmiştir. Kopma kuvveti ise kaynaklı bölge dayanımıdır, koparma testinde en az 2843,93 N (Newton) kopma kuvvetinin sağlanabilmesi benimsenmiştir [1].

Bu çalışmanın amacı, kaynak cıvatalarının projeksiyon kaynağı ile sac parçalara birleştirilmesi işlemlerinde malzeme özellikleri ve cıvatanın kaplama durumu, kabartı boyutları ve proses birincil ve ikincil parametrelerinden her birinin çapak oluşumuna etki derecesini doğru tayin edip optimum kombinasyonunu saptayarak, bağlantının mekanik performansından ödün vermeden çapak oluşumunu ortadan kaldırmak veya oluşum sıklığını en aza düşürmek; böylelikle procese uygun cıvatalar ve verimli kaynak prosesleri tasarlayabilmektir. Bu amaçla, Taguchi Yöntemi ile çok amaçlı optimizasyon yöntemleri birlikte kullanılarak çok yanıtlı performans karakteristiğine sahip projeksiyon kaynak işleminin optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimal parametreler çerçevesinde her iki yanıt değişkeni için çoklu doğrusal regresyon analizi ile birlikte tahminleme sunulmuştur. Söz konusu yanıt faktörlerini eş zamanlı olarak analiz etmek ve ürün kalitesine etki eden parametrelerin farklı seviyeleriyle yapılan deneyler doğrultu-



Şekil 1. Projeksiyon Kaynağı ile Cıvata-Sac Birleştirmesinde Fişkırtma/Taşma Sonucu Meydana Gelen Çapaklanma



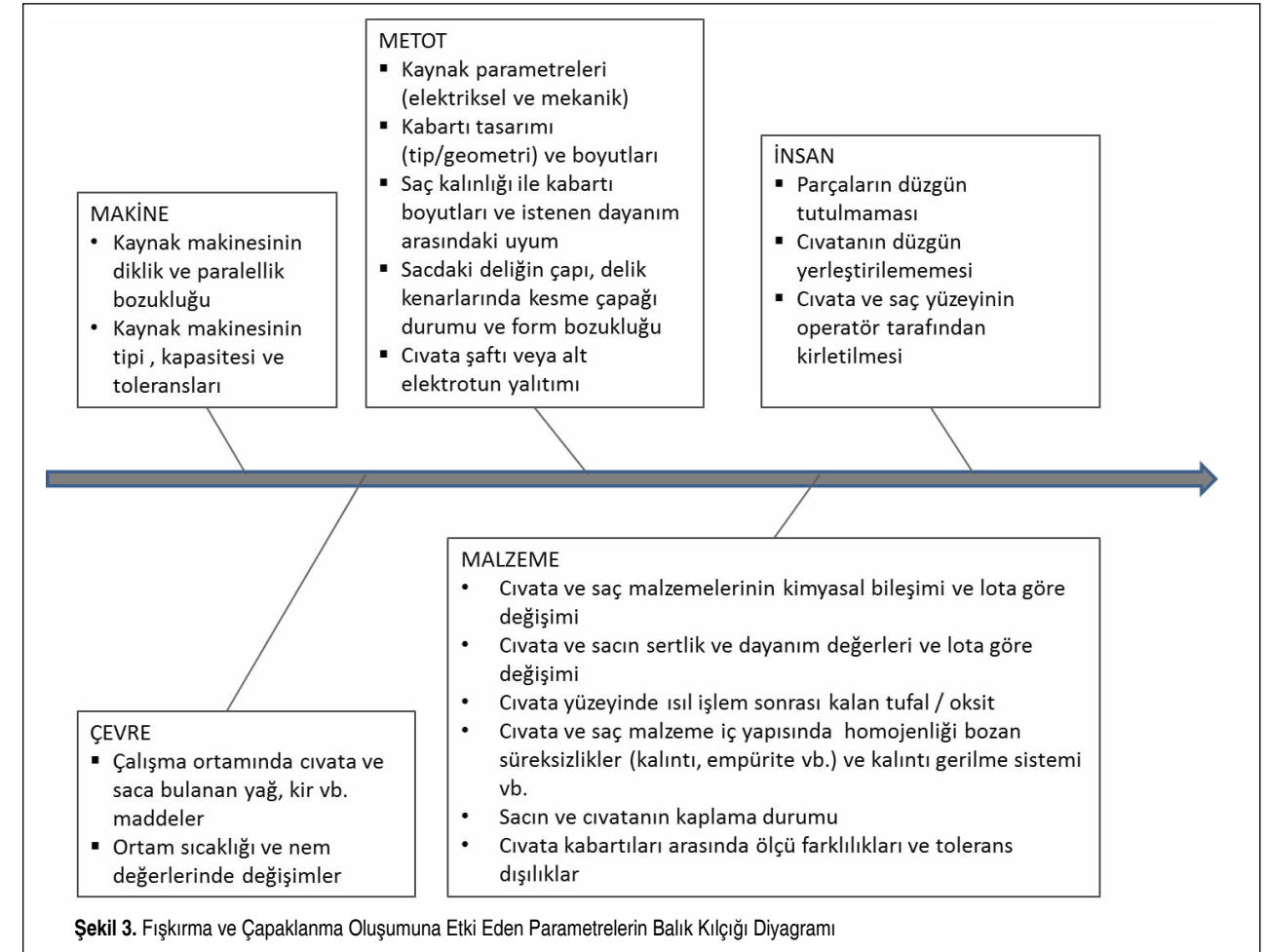
Şekil 2. Kopma Kuvveti Ölçümü İçin Kullanılan Test Düzeneği

sunda, hangi faktörlerin ve seviyelerinin en iyi performansı sağladığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon çalışması kompozit çekicilik fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir [20]. Bu yöntemin uygulanması esnasında ise LOQO/AMPL isimli algoritma, doğrusal regresyon denklemlerinin çözümünde kullanılmıştır [21].

2. YÖNTEM VE ANALİZ SONUÇLARI

2.1 Taguchi Yaklaşımı ile Deney Tasarımı ve Sonuçlar

Bu çalışmada, muz tipi kabartıya sahip, 20MnB4 çeliğinden soğuk dövme yöntemi ile üretilmiş kaplamasız ve Zn-Ni kaplamalı M8 kaynak cıvatalarının (8.8 kalite), kalınlığı 0,8 ve



Şekil 3. Fişkırtma ve Çapaklanma Oluşumuna Etki Eden Parametrelerin Balık Kılıçlı Diyagramı

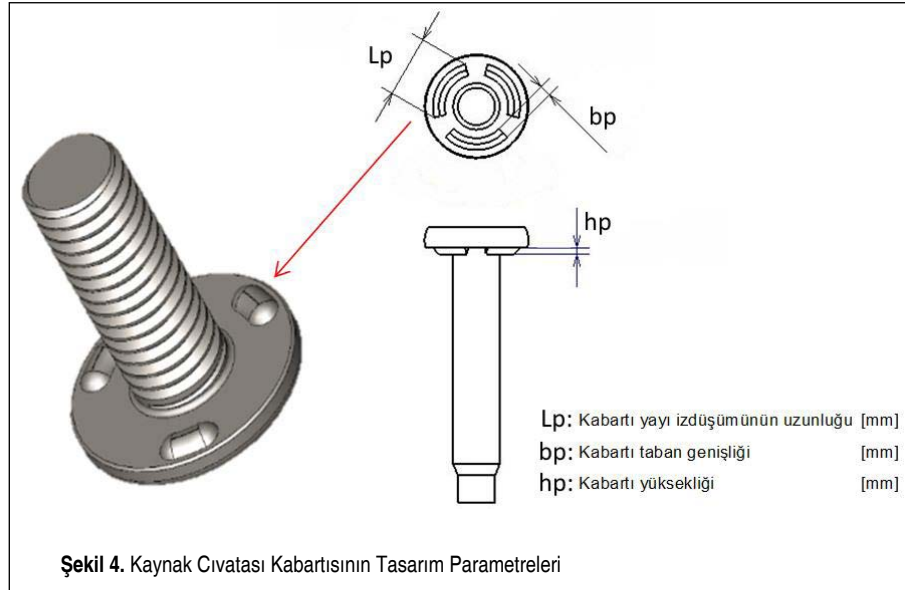
1,5 mm olan galvaniz kaplı DC 04 ve DP 600 çelik saclara kaynaklanmasında kabartı boyutları, akım, kuvvet, süre gibi parametrelerin çapaklanmaya olan etkisi araştırılmıştır. Projeksiyon kaynağında fişkırtma ve çapak oluşumuna etki eden parametreler ve sürece etki eden faktörler Şekil 3’te gösterilen balık kılıçlı diyagramı ile sınıflandırılmıştır.

Söz konusu faktörler nominal puanlama tekniğiyle sınıflandırılmış ve sürece etkisi fazla olduğu düşünülen faktörler çalışma prensip ve aralıkları da göz önünde bulundurularak seviyelendirilmiştir. Bu seviyelendirme sonucu 10 farklı etken, parametre olarak belirlenmiştir. Parametre seviyeleri 2 seviye olarak tespit edilmiş olup, yapılan ön projeksiyon kaynağı denemelerine göre endüstriyel olarak uygulanabilir

ve gerçekçi aralıkta seviye değerleri belirlenmiştir. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. Deney tablosu da Tablo 2’de gösterildiği gibi, 2 seviyeli 10 kontrol faktörünü içeren bir yapıda L16 (2)¹⁰ ortogonal matrisine göre hazırlanmıştır. Burada sac malzeme tipi DC 04 ile DP 600 ve cıvata kaplama durumu kaplamalı (Zn-Ni) ve kaplamasızdır. Deney tablosu oluştururken uygun ortogonal matrisin belirlenmesi aşamasında faktörlerin sayısı ve toplam serbestlik dereceleri baz alınmaktadır. Seviye sayısının 2 ve parametreler arasında etkileşimin olmadığı göz önüne alındığında, her bir parametrenin serbestlik derecesi her bir seviye sayısının bir eksiğine eşit-

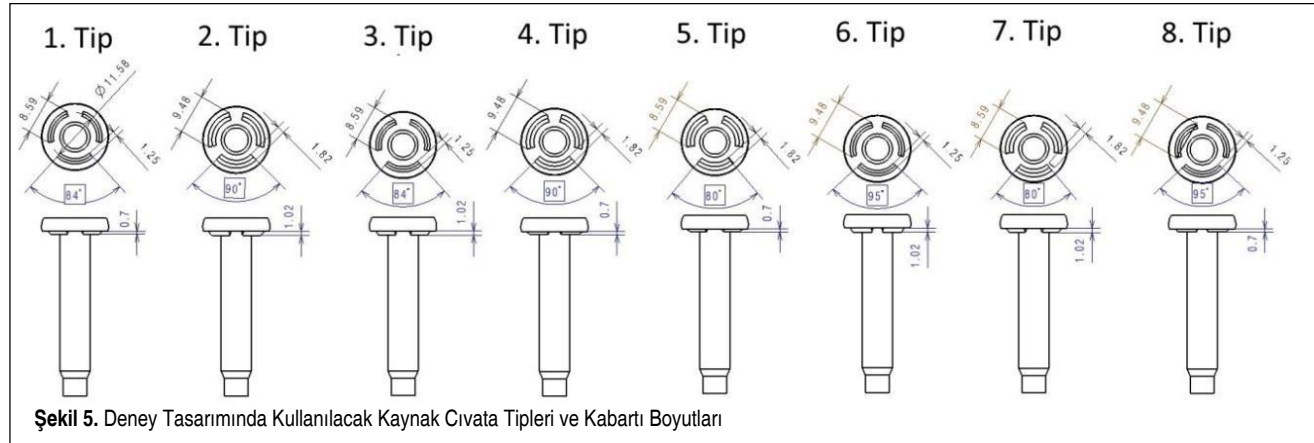
Tablo 1. Performans Karakteristikleri ve Faktör Seviyeleri

Sembol	Proses Parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2
X1	Kaynak akımı (I)	[kA]	14	20
X2	Kaynak süresi (tç)	[Çevrim]	2	4
X3	Elektrot kuvveti (Fe)	[N]	6648,91	10689,25
X4	Delik çapı (Ds)	[mm]	8,3	9
X5	Sac kalınlığı (s)	[mm]	0,8	1,5
X6	Sac malzeme tipi (SM)	-	0	1
X7	Kaynak cıvatası kaplama durumu (CK)	-	0	1
X8	Kabartı yayı izdüşümünün uzunluğu (Lp)	[mm]	8,59	9,48
X9	Kabartı taban genişliği (bp)	[mm]	1,25	1,82
X10	Kabartı yüksekliği (hp)	[mm]	0,7	1,02



Şekil 4. Kaynak Cıvatası Kabartısının Tasarım Parametreleri

tir. Buradan 10 adet parametreye sahip sistemin serbestlik derecesi 10 (10*(2-1)) olarak hesaplanmıştır. Böylece uygun ortogonal dizin, hesaplanan toplam serbestlik derecesinin bir fazlası olan L11 dizini olarak belirlenmiştir. Ancak deneysel tasarım ve sonrasında gerçekleştirilecek veri analizini daha güvenilir kılmak, regresyon analizi yapabilmek ve modelin geçerliliğini arttırmak amacıyla L16 dizini seçilmiştir. Şekil 4'te gösterilen cıvata tasarımı, teşkil eden üç parametrenin tablodaki yerleşimine göre imal edilmesi gereken cıvata çeşitliliği değişimini göstermektedir. Cıvata çeşitliliğini maksimum olarak elde etmek amacıyla, kaynak cıvatası kabartısının



Şekil 5. Deneysel Tasarımda Kullanılacak Kaynak Cıvata Tipleri ve Kabartı Boyutları

Tablo 2. Taguchi Yöntemi İçin Önerilen L₁₆(2)¹⁰ Deneysel Tasarım Matrisi

Deneysel No	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1

tasarım parametreleri deney tablosunun son üç kolonuna yerleştirilerek, 8 farklı tipte cıvataya ulaşılmıştır (Şekil 5).

8 farklı tipte cıvatanın kabartıları (Şekil 5), soğuk şekillendirme sonrası ısıl işlem uygulanıp cıvata 8.8 kalitesine ulaştırıldıktan sonra kalıp ve işçilik maliyetleri de göz önüne alınarak kabartılar nihai haline talaşlı imalat ile getirilmiştir.

Projeksiyon kaynak işleminde kullanılmak üzere 100 x100 mm² ölçüsünde hazırlanmış sac plakaların orta kısımlarına 8,3 ve 9 mm çapında delikler açılmıştır. Oluşturulan deney tasarımına göre testler yapılmış ve her denemeden 5 gözlem alınmıştır. Ölçümler sonrası hesaplanan kaynak fışkırmaya ve çapaklanma bileşik endeksi ile kopma kuvveti EK-1'de verilen çizelgeye yerleştirilmiştir. Her bir yanıt değeri için standart sapma değerleri hesaplanmış ve saçılmaların yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak dayanım şartı olarak, kopma kuvveti en az 2843,93 N olarak belirlenmiştir.

Deneysel hata faktörlerinin çıktılar üzerindeki etkisini en aza indirmek için, her grupta yürütülen 5 adet deneyden E de-

ğeri birbirine en yakın olan 3'ünün dikkate alınması; sıra dışı verilerin ait olduğu deneylerin ise analiz dışında tutulması uygun görülmüştür. Böylelikle E'nin standart sapması 0,61-3,76 aralığından 0,10-2,06 aralığına düşürülmüştür. Taguchi L₁₆(2)¹⁰ deneysel tasarım matrisi ile birlikte, 3 adet E verisi y_i= E(1), E(2), E(3), bunların ortalaması E_{ort}, standart sapma değerleri (σ), Sinyal/Gürültü oranları (S/N) hesaplanmıştır (EK-2). E değeri için performans karakteristiği olarak Taguchi deneysel tasarım metodunun "En küçük En iyi" kalite karakteristiği kullanılmıştır. En küçük en iyi kayıp fonksiyonu Eşitlik (1) ile verilmiştir;

$$S / N = -10 \log \left[1 / n \sum_{k=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Bu denklemde \bar{y} , gözlem değerlerinin ortalaması ve S² ise gözlem değerlerinin varyansdır. Gözlem değerleri (\bar{y}) ve gözlem değerler varyansı (S²) sırasıyla, Eşitlik (2) ve (3) kullanılarak hesaplanmaktadır. S/N oranı büyüdükçe, hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir [7].

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

$$\bar{y} = 1/n \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

S/N oranlarına ek olarak, her bir parametre seviyesinin fışkırmaya ve çapaklanma üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla

Tablo 3. Parametrelerin Fışkırmaya ve Çapaklanma Bileşik Endeksine ait S/N Oranına Etkisi ve Optimum Seviye Değerlerinin Belirlendiği Yanıt Tablosu (Performans Karakteristiği: En Küçük - En İyi)

Parametre	S/N Değerleri		Maks - Min	Sıralama
	Seviye 1	Seviye 2		
I	-12,24	-20,91	8,66	1
tç	-16,35	-16,8	0,46	10
Fe	-20,41	-12,74	7,66	2
Ds	-17,37	-15,78	1,58	7
s	-15,86	-17,29	1,42	8
SM	-15,26	-17,89	2,63	5
CK	-15,25	-17,9	2,65	4
Lp	-15,67	-17,48	1,81	6
bp	-16,81	-16,34	0,47	9
hp	-15,05	-18,1	3,04	3

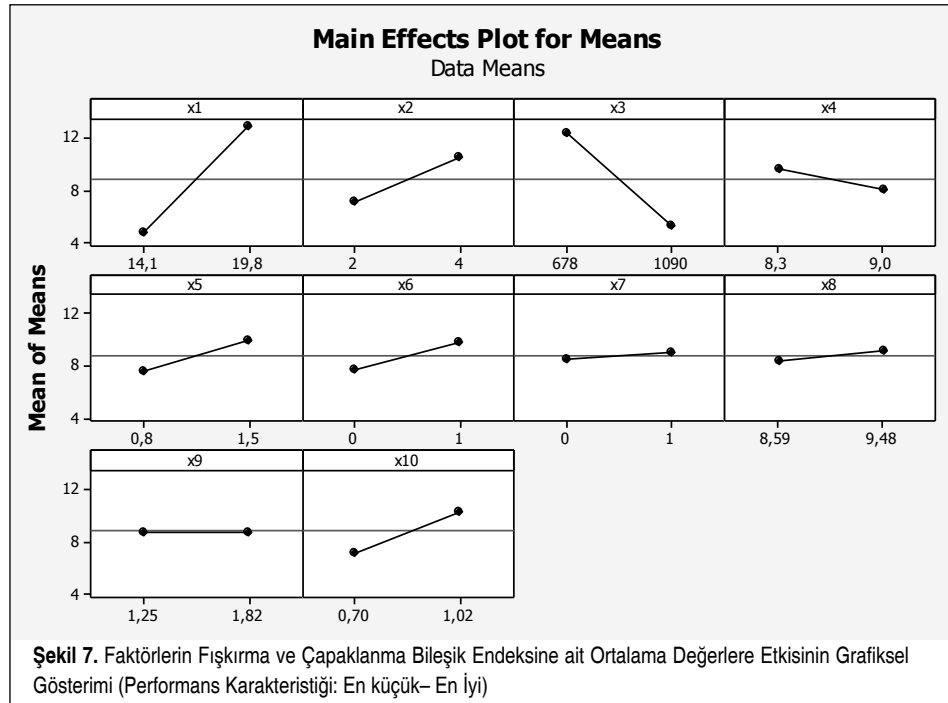
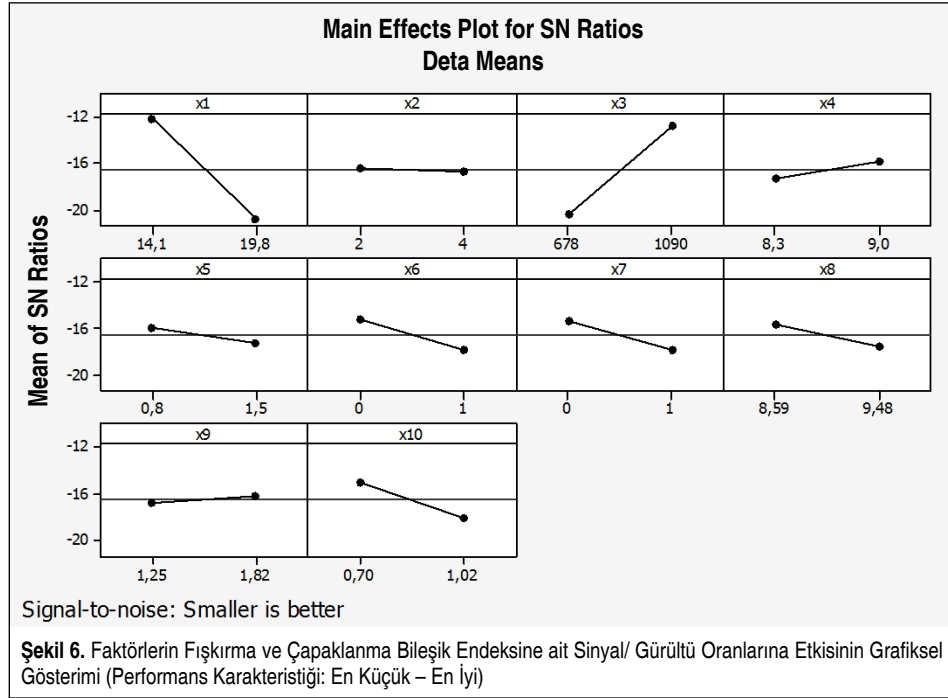
Tablo 4. Parametrelerin Fışkırmaya ve Çapaklanma Bileşik Endeksine ait Ortalamalarına Etkisi ve Bu Yönden Optimum Seviye Değerlerinin Belirlendiği Yanıt Tablosu (Performans Karakteristiği: En Küçük - En İyi)

Parametre	Ortalama Değerler		Maks - Min	Sıralama
	Seviye 1	Seviye 2		
I	4,65	12,97	8,31	1
tç	7,09	10,53	3,45	3
Fe	12,35	5,28	7,07	2
Ds	9,62	8	1,63	7
s	7,56	10,06	2,5	5
SM	7,76	9,86	2,1	6
CK	8,57	9,06	0,49	8
Lp	8,58	9,04	0,46	9
bp	8,74	8,88	0,14	10
hp	7,17	10,46	3,29	4

ilgili parametre seviyelerinin S/N ve ortalamaya göre karşılıkları Tablo 3 ve 4'te gösterilmiştir.

Etkin parametrelerin belirlenmesinde sütun etkisi metodu kullanılmaktadır [4, 5]. Örnek model olarak EK-2 gösterilirse, deneylere karşılık gelen ortalama değerleri ya da gürültü oranı (S/N) değerleri, I parametresinin 1. Seviyesine karşılık gelenler olarak toplanır. I parametresinin 2. seviyesine karşılık gelen ortalamalar ya da gürültü oranı değerleri de toplandıktan sonra, diğer seviyenin toplamından çıkarılır. Aradaki farkın işaretine bakılmaksızın, büyük farka sahip olan etkili olarak seçilir [5].

Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde, genel olarak seçilen parametrelerin E değeri üzerinde etkin olduğu görülmüştür. Faktör seviyelerinin tespit edilmesinde, sonuca etki etme derecelerinin dikkate alınması gereklidir (Tablo 3). Her faktörün seviyelerinde değişim incelenip önem sırası dikkate alınarak parametreler sıralandığında, bunlardan I, Fe, tç, hp'nin yanıt üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Söz konusu bu parametrelerdeki küçük bir değişim, fışkırmaya ve çapaklanma üzerinde önemli bir değişime sebep olacaktır. Örneğin I parametresinin Seviye 2'deki ortalama etkisi -12,24 dB ile en küçükken, Seviye 1'deki ortalama etkisi -20,91 dB ile en büyük çıkmıştır. İki seviye arasındaki fark 8,66 dB'dir. I parametresinin yanıt faktörü üzerindeki oldukça etkin bir faktör olduğu görülmüştür. bp parametresinin ise seviyeler arası farkı 0,14 gibi çok küçük bir değerdir ve Tablo 3 ve 4'te açıkça görüldüğü gibi, bu parametrenin yanıt faktörü üzerinde etkisi yok denecek kadar azdır. Faktör seviyelerine göre hesaplanan parametreler, en büyük ile en küçük değer arasındaki farklara göre sıralanmıştır. S/N'e ve ortalamaya göre parametrelerin önem dereceleri Tablo 5'te verilmiştir.



Taguchi ile yapılan deney tasarımının varyans analizi hem ortalamaya göre hem de gürültü oranı değerine göre yapılabilir [5]. Faktör etkilerinin grafiksel gösterim yönteminden sonra, E değerleri için, EK-2’de verilen veri setiyle varyans analizi (ANOVA) çalışması yürütülmüş; bu süreçte güven testi olarak Fisher’in F-testi uygulanmıştır. Söz konusu çalışmada, 16 adet deney yapılmış ve her deney seti 3 defa tekrar edilerek toplamda 48 gözlem alınmıştır. Tablo 6 ANOVA tablosu program çıktısı temel alınarak düzenlenmiştir. Burada X_i parametre, SS her bir parametre için kareler toplamı, PC yüzdesel katkısı, ns seviye sayısı, df serbestlik derecesi ve MSS her parametreden kaynaklanan bireysel sapmaların ortalama karesel toplamıdır. Tüm matris için $F_{hesap}=9,634675$ olarak hesaplanan oranın, %95 güven ($\alpha=0,05$) düzeyinde F tablosunda 4,735 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Anlamlılık değeri ise $p=0,010996$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, $F_{hesap}=9,634675 > F_{tablo}=4,735$ ve $p=0,010996 < \alpha=0,05$ şeklinde elde edildiği için, F testi, %95 düzeyindeki ($\alpha=0,05$) güven aralığında istatistiksel yönden anlamlı bir sonuç vermiş; %95 kesinlikte sonuçlandırılan Fisher’in F testi, regresyon modelinin, bağımlı değişkenlerde anlamlı bir miktarda değişimi açıkladığını işaret etmiştir. Hipotezler H_0 ve H_1 olarak tanımlanmıştır. H_0 hipotezi $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde $p>\alpha$ olduğu için reddedilir. Bu sonuçlara göre X_4, X_6, X_7, X_8, X_9 faktörlerinin yanıt faktörü olan fıskırma ve çapaklanma endeksi oluşumunda etkisinin olmadığı görülmüştür. H_0 hipotezi $\alpha=0,10$ anlamlılık düzeyinde $p<\alpha$ olduğu için $X_1, X_2, X_3, X_5, X_{10}$ faktörlerinin yanıt faktörü üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür.

H_0 : Faktörlerin yanıt faktörü üzerinde etkisi yoktur $\rightarrow \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_1 : Faktörlerin yanıt faktörü üzerinde etkisi vardır \rightarrow En az iki $\mu_i \neq \mu_j, i \neq j$

Uygulanan Taguchi Yöntemi’nde optimal fıskırma ve çapaklanma bileşik endeksi (E_{opt}), Eşitlik (4) ile hesaplanan optimal Sinyal/Gürültü oranı ($(S/N)_{opt} = -1,38$ dB değerinin Eşitlik (1)’de yerine konması ile 1,17 olarak tahmin edilmiştir. Buradaki (S/N)_{ort} ise EK-2 ile verilen deneysel tasarım matrisindeki tüm S/N oranlarının ortalaması olarak -16,58 dB değeriyle hesaplanmıştır.

$$(S/N)_{opt} = (S/N)_{ort} + [\max(S/N)_i - (S/N)_{ort}] + [\max(S/N)_{tc} - (S/N)_{ort}] + [\max(S/N)_{bp} - (S/N)_{ort}] + [\max(S/N)_{hp} - (S/N)_{ort}] \quad (4)$$

Tablo 5. S/N ve Ortalamaya Göre Veri Analizi

Parametre	Sıralama	S/N'ye Göre			Parametre	Sıralama	Ortalamaya Göre		
		No	Değer	Birim			No	Değer	Birim
I	1	1	14,1	kA	I	1	1	14,1	kA
tç	10	1	2	Çevrim	tç	3	1	2	Çevrim
Fe	2	2	10689.25	N	Fe	2	2	10689.25	N
Ds	7	2	9	mm	Ds	7	2	9	mm
s	8	1	0,8	mm	s	5	1	0,8	mm
SM	5	1	DC 04	-	SM	6	1	DC 04	-
CK	4	1	Kaplamasız	-	CK	8	1	Kaplamasız	-
Lp	6	1	8,59	mm	Lp	9	1	8,59	mm
bp	9	2	1,82	mm	bp	10	1	1,25	mm
hp	3	1	0,7	mm	hp	4	1	0,7	mm
E için optimum proses parametreleri									
Seviye					S/N				
$I_1FE_2hp_1CK_1SM_1Lp_1Ds_2s_1bp_2tç_1$					-1,38				

Tablo 6. ANOVA Çalışmasında Tüm Parametreler İçin Elde Edilen F Testi Sonuçları

Parametre	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	PC [%]	ns
X1	1	276,47	276,47	276,47	42,7	0,001	42,23	2
X2	1	47,484	47,484	47,484	7,33	0,042	7,25	2
X3	1	200,01	200,01	200,01	30,89	0,003	30,55	2
X4	1	10,568	10,568	10,568	1,63	0,257	1,61	2
X5	1	25,025	25,025	25,025	3,87	0,106	3,82	2
X6	1	17,661	17,661	17,661	2,73	0,16	2,7	2
X7	1	0,965	0,965	0,965	0,15	0,715	0,15	2
X8	1	0,833	0,833	0,833	0,13	0,735	0,13	2
X9	1	0,074	0,074	0,074	0,01	0,919	0,01	2
X10	1	43,242	43,242	43,242	6,68	0,049	6,6	2
Hata	5	32,372	32,372	32,372	6,474		4,95	
Toplam	15	654,708					100	16

2.1.2 Regresyon Analizi ve Sonuçlar

Analize tabi tutulan fıskırma ve çapaklanma bileşik endeksi ve kopma kuvveti verileri EK-3’te verilmiştir. Toplam 5 adet E verisinden sıra dışı olanlar ayıklanarak birbirine yakın 3 adet veri seçilmiştir. Bir özdeşlik sağlanabilmesi için, sıra dışılık sergileyen Fk verilerinin ait olduğu deneyler de analiz dışında tutulmuştur.

E ve Fk verileri için mevcut veri seti kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve çoklu doğrusal regresyon modelleri elde

edilmiştir. Çoklu regresyon analizi kapsamında 2 temel amaç bulunmaktadır; Bunlardan birincisi, kolay elde edilebilir bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişken değerini tespit etmek, ikincisi ise bağımsız değişkenlerden hangisi ve hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini belirlemektir [22]. Fıskırma ve çapaklanma endeksi için regresyon analizi sonucunda elde edilen model Eşitlik (5)’te verilmiştir:

$$E = -7,0 + 1,44x_1 + 1,67x_2 - 0,0172x_3 - 2,21x_4 + 3,52x_5 + 2,10x_6 + 0,54x_7 + 0,77x_8 - 0,09x_9 + 9,84x_{10}, R^2 = 0,95 \quad (5)$$

Analiz sonucunda, model anlamlı çıkmış ($p < 0,05$) ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin %95'ini açıkladığı görülmüştür (Tablo 7).

Bağımsız değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığında, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9 parametreleri ($p > 0,10$) anlamsız çıkmış, diğer bağımsız değişkenler ise bu koşul kapsamında anlamlı çıkmıştır. X_3, X_4, X_9 parametrelerinin E değeri arasında negatif yönlü bir ilişki var iken diğer parametrelerle arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmüştür. Bağımlı değişkeni açıklamada Akım, Kuvvet, Kabartı Yüksekliği ve Sürenin etkin parametreler olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Regresyon ana-

Tablo 7. Regresyon Analizi: Anova

Model	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	10	609,871	60,987	9,6	0,011
Hata	5	31,761	6,352		
Toplam	15	641,632			

Tablo 8. Regresyon Analizi: Katsayılar

	Katsayı	SE Katsayı	T	P	VIF
Sabit	-6,97	21,44	-0,33	0,758	
x1	1,4441	0,2211	6,53	0,001	1
x2	1,6706	0,6301	2,65	0,045	1
x3	-0,01716	0,003059	-5,61	0,002	1
x4	-2,213	1,8	-1,23	0,274	1
x5	3,52	1,8	1,96	0,108	1
x6	2,099	1,26	1,67	0,157	1
x7	0,541	1,26	0,43	0,685	1
x8	0,765	1,416	0,54	0,612	1
x9	-0,09	2,211	-0,04	0,969	1
x10	9,84	3,938	2,5	0,055	1

Tablo 9. Regresyon Analizi: Anova

Model	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	10	3289247	328925	5,41	0,038
Hata	5	303974	60795		
Toplam	15	3593221			

lizinde yer alan değişkenler arasında çoklu bağıntı probleminin araştırılmasına yönelik olarak VIF değerleri incelenmiş, Tablo 8'de görüldüğü üzere, bu değerler 1 olarak bulunmuş ve bağımsız değişkenler arasında yüksek düzeyli korelasyon olmadığı görülmüştür. ($VIF < 10$). Bu durum analizde çoklu bağıntı probleminin olmadığını göstermektedir. Çoklu bağıntı, bağımsız değişkenlerin birbiriyle ilişki içinde olduğunu göstermekte ve bu şekilde bir ilişkinin olması, değişkenlerden birinin modele ek bir katkı getirmediğine dikkat çekmektedir [23].

Analize yönelik olarak veri seti içinde aykırı değer bulunmamaktadır. Doğrusallık ve normallik varsayımlarını inceleyebilmek amacıyla, artık değerler kullanılarak Şekil 8'de gösterilen grafikler çizdirilmiştir. Bakiye değerler, gözlenen y değeri ile kestirilen y değeri arasındaki farktır ve söz konusu bu değer ne kadar küçük olursa modelin o derecede veriyi sağladığı söylenebilir. Regresyon analizinde artıkların normal dağılımı ve bakiye değerlere ilişkin varyanslarında homojen olduğu görülmüştür. Şekil 8'de görüldüğü üzere, normal bir dağılım söz konusudur ($p > 0,05$). Grafik incelediğinde, noktaların bir doğru üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kopma yükü için regresyon analizi sonucunda elde edilen model Eşitlik (6)'da verilmiştir.

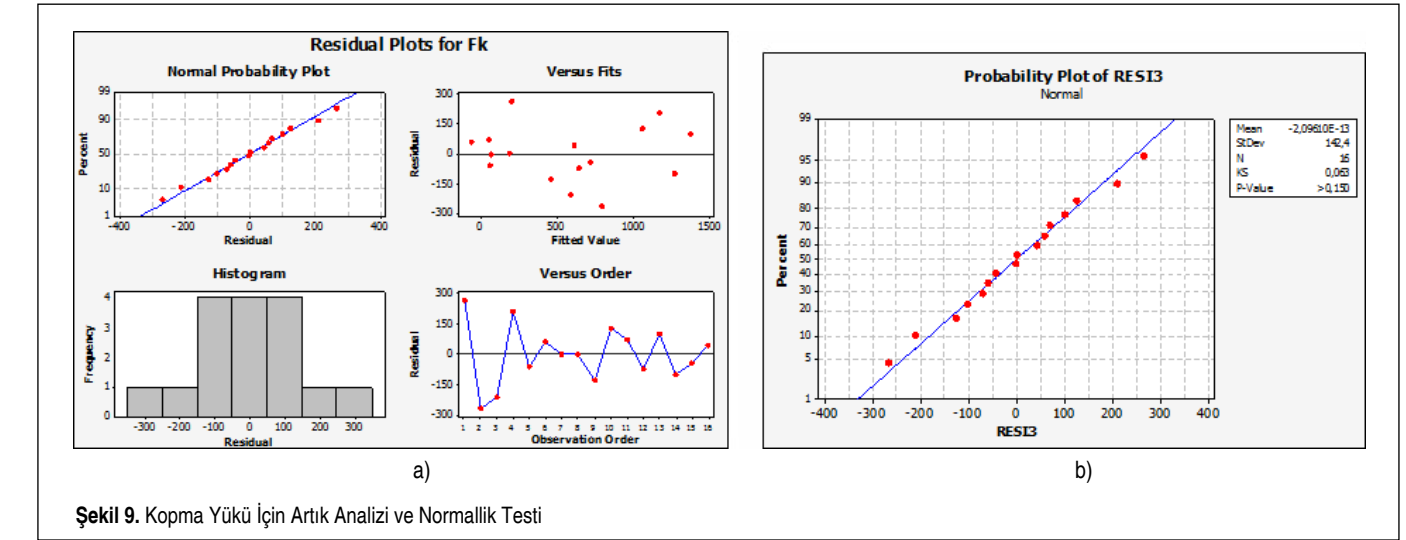
$$Fk = -1665 + 69,5x_1 - 46,3x_2 - 1,30x_3 - 198x_4 + 564x_5 + 125x_6 + 3x_7 + 268x_8 - 8x_9 + 1098x_{10}, R^2 = 0,916 \quad (6)$$

Analiz sonucunda, model anlamlı çıkmış ($p < 0,05$) ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin %91,5'ni açıkladığı görülmüştür (Tablo 9).

Tablo 10. Regresyon analizi: Katsayılar

	Katsayı	SE Katsayı	T	P	VIF
Sabit	-1665	2097	-0,79	0,463	
x1	69,5	21,63	3,21	0,024	1
x2	-46,31	61,64	-0,75	0,486	1
x3	-1,2976	0,2992	-4,34	0,007	1
x4	-198	176,1	-1,12	0,312	1
x5	564,1	176,1	3,2	0,024	1
x6	125,1	123,3	1,01	0,357	1
x7	2,6	123,3	0,02	0,984	1
x8	267,6	138,5	1,93	0,111	1
x9	-7,7	216,3	-0,04	0,973	1
x10	1098	385,3	2,85	0,036	1

minimize edecek optimal seviye kombinasyonu tahminleri yapılmış, E ve Fk için regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve süreçte yer alan parametrelerin bu performans karakteristikleri üzerindeki etkisi görülmüştür. Ancak uygulanan bu yöntemlerde E ve Fk yanıtları eş zamanlı olarak incelenememiştir. Bu nedenle, uygulanan veri analizlerinden tahmin edilen optimal seviye kombinasyonu ile yürütülen kaynak işlemlerinde yeterli dayanımın ($Fk > 2843,93$ N) sağlanması beklenmemektedir. Kaynak dayanımının da veri analizine dahil edilmesi, aslında E ile Fk verileri için bir optimizasyon problemi. Bu problem, parametrelerin, E değerini minimize, Fk değerini maksimize eden seviye kombinasyonu için tahmin yapılmasını amaçlamaktadır. Fıskırma ve çapaklanma bileşik endeksi ve kopma kuvveti değerlerini eş zamanlı analiz ile



Şekil 9. Kopma Yükü için Artık Analizi ve Normallik Testi

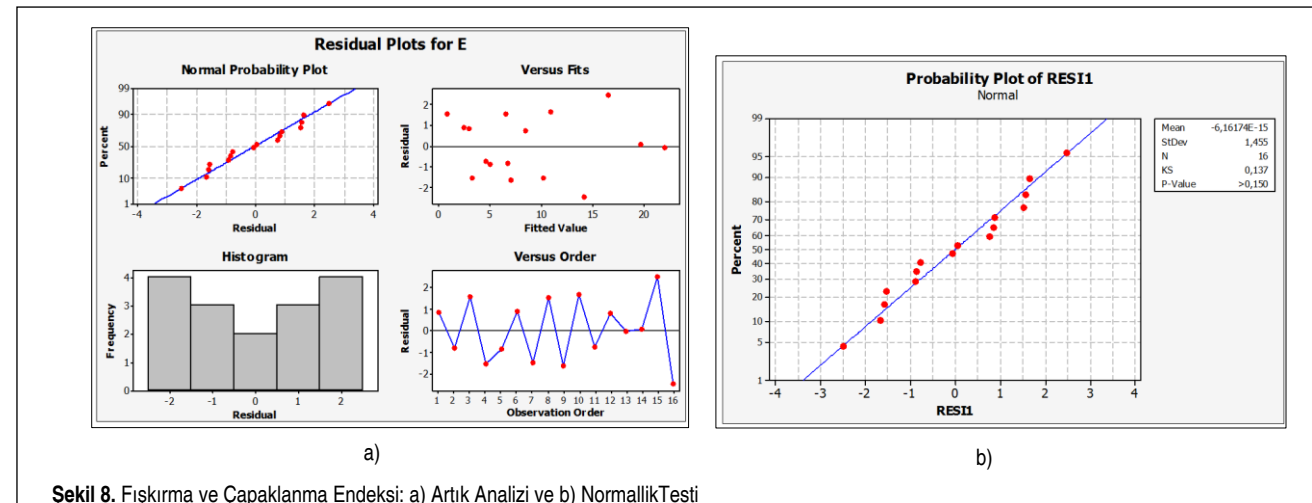
Bağımsız değişkenlerin anlamlılık düzeylerine bakıldığında, $X_2, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9$ parametreleri ($p > 0,10$) anlamsız çıkmış, diğer bağımsız değişkenler ise bu koşul kapsamında anlamlı çıkmıştır. Bağımlı değişkeni açıklamada kuvvet, akım, kabartı yüksekliği ve sac kalınlığının etkin parametreler olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Regresyon analizinde yer alan değişkenler arasında çoklu bağıntı probleminin araştırılmasına yönelik olarak VIF değerleri incelenmiş, Tablo 10'da görüldüğü üzere çoklu bağıntı sorunu görülmemiştir. Bu çerçevede, Şekil 9'da görüldüğü üzere normal bir dağılım söz konusudur ($p > 0,05$). Grafik incelediğinde, noktaların bir doğru üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

2.2 Kompozit Çekicilik Fonksiyonu Yaklaşımı ile Çok Amaçlı Optimizasyon ve Sonuçlar

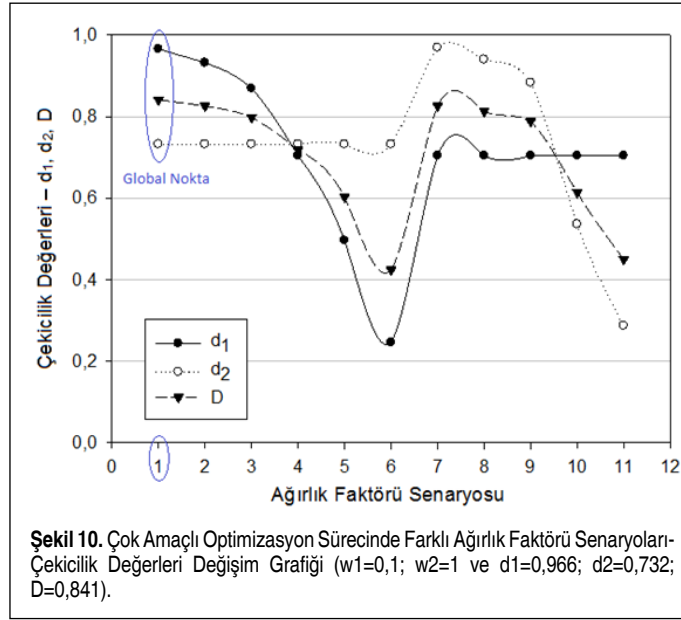
Yapılan analizler neticesinde, projeksiyon kaynağında fıskırma ve çapaklanmaya etki eden parametreler, etkinlik dereceleri ile birlikte ortaya koyulmuştur. Aynı zamanda, E değerini

Tablo 11. Fıskırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi ve Kaynak Kopma Yükünün Çok Amaçlı Optimizasyon Sürecinde Oluşturulan Senaryolarda Ağırlık Faktörleri ve Belirlenen Çekicilik Değerleri

Senaryo No	Ağırlık Faktörleri		Çekicilik Değerleri		
	w1	w2	d1	d2	D
1	0,1	1	0,966	0,732	0,841
2	0,2	1	0,932	0,732	0,826
3	0,4	1	0,869	0,732	0,798
4	1	1	0,704	0,732	0,718
5	2	1	0,496	0,732	0,603
6	4	1	0,246	0,732	0,424
7	1	0,1	0,704	0,969	0,826
8	1	0,2	0,704	0,940	0,813
9	1	0,4	0,704	0,883	0,788
10	1	2	0,704	0,536	0,614
11	1	4	0,704	0,287	0,450



Şekil 8. Fıskırma ve Çapaklanma Endeksi: a) Artık Analizi ve b) Normallik Testi



Şekil 10. Çok Amaçlı Optimizasyon Sürecinde Farklı Ağırlık Faktörü Senaryoları-Çekicilik Değerleri Değişim Grafiği (w1=0,1; w2=1 ve d1=0,966; d2=0,732; D=0,841).

Tablo 12. Kompozit Çekicilik Yaklaşımına Göre Gerçekleştirilen Çok Amaçlı Optimizasyon Sonuçları

I	tç	Fe	Ds	s	SM	CK	Lp	bp	hp	E _{opt}	F _{k-opt}
14,1 kA	2 Çevrim	7472,67 N	8,3 mm	1,5 mm	DC 04	Kaplamasız	9,48 mm	1,25 mm	1,02 mm	7,7	10620,6 N

optimize edebilmek amacıyla kompozit çekicilik fonksiyonu yaklaşımına dayalı “Çok Amaçlı Optimizasyon” yöntemi uygulanmıştır [20]. Bu yaklaşımın her iki yanıt faktörü için DataFit (v8.1.69) mühendislik programı kullanılarak doğrusal regresyon modelleri geliştirilmiş ve LOQO/AMPL algoritması vasıtasıyla model değişkenlerinin optimum değerleri tespit edilmiştir [21]. Burada amaç; E değerinin minimum olması, F_k değerinin ise eş zamanlı olarak maksimum düzeyde olmasıdır. 11 farklı senaryo farklı ağırlık değerleri çerçevesinde çalıştırılmıştır. Her bir senaryo için ağırlık faktörü (w değerleri) Tablo 11’de verilmiştir.

Tanımlanan senaryolarda analiz çıktılarında 35 adet iterasyonun sonucunda ulaşılmıştır. Yapılan eş zamanlı analizler, 1 numaralı senaryodaki ağırlık faktörlerinden belirlenen çekicilik (d_1 , d_2 ve D) değerleriyle global nokta tanımlanmasının yapılabildiği görülmüştür. Global çekicilik endeksi olan D değeri, d_1 ve d_2 çekicilik endekslerinin ağırlıklı geometrik ortalamasına en yakın değeri 1 numaralı senaryo ile sağlamıştır. Bu senaryoda 31 adet iterasyon ile sonuca gidilmiş olup, analiz sonucu Şekil 10’da verilmiştir.

Kompozit çekicilik fonksiyonu yaklaşımıyla gerçekleştirilen çok amaçlı optimizasyonda, parametrelerin optimal seviye kombinasyonları ile birlikte, bu kombinasyon için fişkıma ve çapaklanma bileşik endeksi E_{opt} ve kaynak kopma yükü F_{k-opt}

değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

3. DOĞRULAMA DENEYLERİ

3.1 Doğrulama Deneyleri İçin Kaynak Cıvatası Prototiplerinin İmalatı

Gerçekleştirilen istatistiksel analiz ve çok amaçlı optimizasyon çalışmaları neticesinde, kaynak cıvatası kaplama durumu ve geometrik ölçüleri kapsamında 3 farklı optimal seviye kombinasyonu için 3 farklı kaynak cıvatası imal edilmiştir. Söz konusu parametrelere ilişkin seviyeler aşağıda verilmiştir.

- Taguchi- Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterim Yöntemi (S/N’ye Etki) CK: Kaplamasız (0); Lp: 8,59 mm; bp: 1,82 mm; hp: 0,70 mm
- Taguchi-Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterim Yöntemi (Ortalamaya Etki) CK: Kaplamasız (0); Lp: 8,59 mm; bp: 1,25 mm; hp: 0,70 mm

- Kompozit Çekicilik Fonksiyonu Yaklaşımına Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi CK: Kaplamasız (0); Lp: 9,48 mm; bp: 1,25 mm; hp: 1,02 mm

3.2 Doğrulama Deneyleri ve Sonuçları

Doğrulama deneyleri, 3 farklı yöntemin analiz sonuçlarını doğrulamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 10 farklı parametre için optimal seviye kombinasyonları ve bu koşullarda fişkıma ve çapaklanma bileşik endeksi ile kopma yükü değerleri tahmin edilmiştir. Önceki adımlarda olduğu gibi, sac-cıvata projeksiyon kaynak işlemleri öncesi ve sonrasında hassas terazi ile kütle ölçümü yapılmış ve aradaki farktan E değerleri hesaplanmıştır. Akım ve elektrot kuvveti değerleri, yine kaynak işlemleri esnasında ölçülerek bir tolerans dahilinde doğrulanmıştır. Tüm gruplarda deneyler 5 kez tekrar edilmiştir. Tüm numuneler, tartım sonrasında koparma testine tabi tutulmuştur.

Taguchi Yöntemi kapsamında, S/N oranlarına ve deneysel veri ortalamalarına göre gerçekleştirilen faktör etkilerinin grafikselsel gösterim yöntemi ve Anova analizi ile faktör seviyeleri ve etkinliklerine göre sıralamaları $I_1 FE_2 hp_1 CK_1 SM_1 Lp_1 Ds_2 s_1 bp_2 tç_1$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen deneyler tekrarlanmıştır (Tablo 13).

Tablo 13. Doğrulama Deney Sonuçları

Deney No	Ölçülen Akım [kA]	Kaynak Süresi [Çevrim]	Elektrot Kuvveti [N]	m0	m1	Kütle Farkı [g]	Kopma Kuvveti [N]	E
MO-1	12,9	2	10738,28	77,0773	77,0751	0,0022	509,95	2,2
MO-2	13,6	2	10738,28	78,1154	78,1132	0,0022	647,24	2,2
MO-3	14,4	2	10738,28	77,6007	77,5966	0,0041	1333,70	4,1
MO-4	14,2	2	10591,2	77,1122	77,109	0,0032	1372,93	3,2
MO-5	14,1	2	10738,28	77,4612	77,456	0,0052	1098,34	5,2

Tablo 14. Doğrulama Deney Sonuçları

Deney No	Ölçülen Akım [kA]	Kaynak Süresi [Çevrim]	Elektrot Kuvveti [N]	m0	m1	Kütle Farkı [g]	Kopma Kuvveti [N]	E
MO-1	14,1	2	7453,1	133,8477	133,839	0,0087	5256,36	8,7
MO-2	14	2	7453,1	132,9848	132,979	0,0058	5413,27	5,8
MO-3	14	2	7404,02	133,6691	133,6629	0,0062	4766,03	6,2
MO-4	14	2	7433,44	132,2847	132,28	0,0047	4354,15	4,7
MO-5	14,1	2	7453,05	133,5487	133,5389	0,0098	5413,27	9,8

Tablo 15. Optimizasyon Sonuçları ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırması

	PARAMETRELERİN OPTİMAL SEVİYE KOMBİNASYONU	TAGUCHI GRAFİKSEL (S/N)	TAGUCHI GRAFİKSEL (ORTALAMALAR)	ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON KOMPOZİT ÇEKİCİLİK
		I: 14,1 kA	I: 14,1 kA	I: 14,1 kA
tç: 2 Çevrim	tç: 2 Çevrim	tç: 2 Çevrim		
Fe: 10689,25 N	Fe: 10689,25 N	Fe: 7472,66 N		
Ds: 9,0 mm	Ds: 9,0 mm	Ds: 8,3 mm		
s: 0,8 mm	s: 0,8 mm	s: 1,5 mm		
SM: DC 04	SM: DC 04	SM: DC 04		
CK: Kaplamasız	CK: Kaplamasız	CK: Kaplamasız		
Lp: 8,59 mm	Lp: 8,59 mm	Lp: 9,48 mm		
bp: 1,82 mm	bp: 1,25 mm	bp: 1,25 mm		
hp: 0,70 mm	hp: 0,70 mm	hp: 1,02 mm		
ANALİZLERDEKİ VERİ GRUPLARINDA	σE	0,10 - 2,06	0,10 - 2,06	0,10 - 2,47
STANDART SAPMA ARALIĞI	σF_k	-	-	0 - 4481,64 N
TAHMİN	E	1,17	-	7,72
	Fk	-	-	10620,60 N
DOĞRULAMA DENEY SONUÇLARI	E	3,94	3,28	7,04
	Fk	2549,73 N	2579,15 N	5040,62 N
DOĞRULAMA DENEYLERİNDE STANDART SAPMA	σE	1,37	1,02	2,13
	σF_k	1441,57 N	460,91 N	470,72 N
KAYNAK KOPMA KUVVETİ UYGUNLUĞU (Fk > 2843,93 N)		UYGUN DEĞİL	UYGUN DEĞİL	UYGUN

Gözlemlerin ortalama değeri 3,38 olarak bulunmuş ve numuneler incelendiğinde, herhangi bir çapaklanma olmadığı görülmüştür. MO-01 ve MO-02 deney sonuçları ile minimum E değeri hesaplanmıştır. ($E < 5$). Doğrulama deney sonuçları ile analiz sonuçları uyum içindedir. Kopma testi sonucu elde edilen Fk değerleri incelenmiş, ancak söz konusu optimal kombinasyonun kaynak dayanım şartını sağlamadığı görülmüştür. ($Fk < 2843,93$ N). Taguchi Yöntemi'nde E ve Fk verileri birlikte analize tabi tutulmadığı için sadece fişkırtma ve çapaklanmayı minimize eden parametre kombinasyonları elde edilmiştir.

Çok amaçlı optimizasyon çalışmasında tahmin edilen optimal parametre seviyeleri için uygun koşullar oluşturularak gerçekleştirilen deneylerde de incelenen numunelerde hiçbir şekilde çapak gözlenmemiştir. Kaynaklı numunelere, ağırlık ölçümü tamamlandıktan sonra koparma testi uygulanmıştır. Doğrulama test sonuçları Tablo 14'te verilmiştir.

Gözlemlerin ortalama değeri 7,04 olarak bulunmuş ve numuneler incelendiğinde herhangi bir çapaklanma olmadığı görülmüştür ($E < 10$). Deneylerde 2843,93 N kopma yükü ön şartı sağlanmıştır. İstatiksel veri analizine nazaran tahmin edilen ile deney sonucu ölçümler neticesinde hesaplanan E değerleri birbirine daha yakın çıkmıştır.

Doğrulama deneyleri sonucunda, Taguchi Yöntemi ile belirlenen optimal kombinasyon Tablo 14'te görüldüğü gibi, minimum E ($E < 5$) koşulunu sağlamış; ancak 2843,93 N kaynak dayanım koşulunu sağlamamıştır. Fk değerleri analize bu aşamada dahil edilmediği için bu beklenen bir durumdur ve dolayısıyla Tablo 14'te yer alan ilk iki seçenek kabul görmemiştir. Bu aşamada, yer alan çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen varyans analizi (Anova) fişkırtma ve çapaklanmaya etki eden faktörleri, katkı yüzdeleri ile birlikte ortaya koymuştur. Kaynak prosesi açısından akım, kuvvet, kabartı yüksekliği ve sürenin fişkırtma ve çapaklanmayı en aza indirgeme noktasında etkin faktörler olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Kaynak kopma kuvveti yanıtı dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde ise kuvvet, akım, kabartı yüksekliği ve sac kalınlığı parametrelerinin söz konusu yanıt faktörü üzerinde etkin olduğu görülmüştür.

Çok amaçlı optimizasyon yöntemi ve doğrulama deneylerinde, 2843,93 N'luk kopma yükü ön şartı sağlanmış; bileşik endeks E değeri 5 ile 10 aralığında ölçülmüştür. Analizden tahmin edilen ve doğrulama deneyinde ölçülen E değerinin birbirine daha yakın olması ve doğrulama deneylerinde daha yüksek Fk değerleri sunması nedeniyle, çok amaçlı optimizasyon ile saptanan parametre seviye kombinasyonu optimal olarak kabul edilmiştir. Projeksiyon kaynağı için araştırılan 10 adet parametrenin ANOVA ile belirlenen yüzdesel katkı

sıralamasının, grafiksel yöntem ile veri ortalamaları üzerine etkiye dair belirlenen sıralama ile birebir örtüştüğü gözlenmiştir. Toplu gösterim Tablo 15'te belirtildiği gibidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleri kullanılmış; bu yöntemler neticesinde elde edilen bilgi ve bulgular doğrultusunda doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş ve her iki yöntemin performansı kıyaslanmıştır. Daha sonra, performans değerlendirme sonuçlarına göre belirlenmiş parametrelerin etkenleri ve optimal değerleri tespit edilmiştir.

Proje kapsamında, cıvata kabartı boyutları olarak ele alınan üç parametrenin optimal ölçüleri $Lp = 9,48$ mm; $bp = 1,25$ mm ve $hp = 1,02$ mm olarak belirlenmiştir. Kaynak cıvatası kabartı yayı izdüşümünün uzunluğu (Lp) ile kabartı taban genişliğinin (bp) fişkırtma ve çapaklanma üzerine etkisinin çok düşük olduğu saptanırken; kabartı yüksekliğinin (hp) etkisinin beklenenden yüksek olduğu görülmüştür. Her ne kadar optimal bir Lp - bp - hp kombinasyonu elde edilmiş olsa da hp her iki yanıt faktörü üzerinde verimli bir kaynak prosesinde etkin bir faktör olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışma, projeksiyon kaynak prosesinde sac ve cıvata üzerindeki çapaklanmayı en aza indirmeyi hedeflerken, kaynak kopma kuvvetini 2843,93 N üzerinde olmasını da ön koşul olarak almıştır. Ancak birden çok yanıt faktörü olan bu gibi sistemlerde hedeflerden yalnızca birinin değerlendirilmeye tabi tutulması ya da yanıt faktörlerinin birbirinden bağımsız olarak analiz edilmesi, doğrulanabilir ve gerçek temellere dayanan sonuçlar ortaya koymamıştır. Taguchi Yöntemi ile tespit edilen optimal faktörler neticesinde gerçekleştirilen deneylerde fişkırtma ve çapaklanma endeksi en alt seviyede hesaplanırken ($E < 5$), kaynak kopma yükü şartının ($< 2843,93$ N) sağlanmayacağı beklenen bir durumdur ve doğrulama deneyleri de bu kapsamda sonuçlar vermiştir. E yanıt faktörü en aza indirgenirken, kaynakta yeterli füzyon gerçekleşerek kaynak dayanım ön şartının sağlanması, eş zamanlı olarak analiz edilmesi gereken çoklu amaç fonksiyonuna sahip bir optimizasyon problemidir. Dolayısıyla, eş zamanlı analize imkan veren kompozit çekicilik fonksiyonuna dayalı çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanılmış ve analiz sonucunda elde edilen optimal parametreler çerçevesinde gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde, numunelerde çapak gözlenmemiş, fişkırtma ve çapaklanma endeksi kabul edilebilir bir seviyede (< 10) ölçülmüştür. Kopma yükü için esas alınan 2843,93 N ön şart ise sağlanmıştır. Söz konusu optimal parametre seviye kombinasyonu Tablo 12'de verilmiştir. Projede tespit edilen optimal seviyeler yeterli akım ve elektrot kuvvetinde, uygun sac malzeme ve kalınlığında en

iyileştirilmiş cıvata formlarıyla verimli kaynak yapılmasına imkan sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamızı, TÜBİTAK 1501 Programı çerçevesinde yürütülen 3130849 no'lu proje kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Erhuy, C. G., Ateş, F., İnce, U., Biyık, A., Davut, K. 2015. "Projeksiyon Kaynağında Fişkırtma ve Çapaklanma Düzeyinin Tanımlanmasına Yönelik Sayısal Bir Göstergenin Geliştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma," Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi, 20-21 Kasım 2015, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.
2. Camıylmaz, E., Kutay, F. 2003. "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım," Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, sayı 18 (3), s. 51-63.
3. Taguchi, G., Clausing, D. 1990. "Robust Quality," Harvard Business Review, January-February 1990, p. 65-76.
4. Ross, P. J. 1989. Taguchi Techniques for Quality Engineering, Mcgraw-Hil International Editions, Singapore.
5. Gökçe, B., Taşgetiren, S. 2009. "Kalite İçin Deney Tasarımı," Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, sayı 6 (1), s. 71-83.
6. Güral, G. 2003. "Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi FBE, İzmir.
7. Lin, T. Y., Tseng, C. H. 2000. "Optimum Design For Artificial Neural Networks: An Example in a Bicycle Derailleur System," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 13, p. 3-14.
8. Hsieh, K., Tong, L. 2001. "Optimization Of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks," Computers in Industry, vol. 46, p. 1-12.
9. Taylan, D. "Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, 2009, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
10. Hamzaçebi, Ç., Kutay, F. 2003. "Taguchi Metodu: Bir Uygulama," Teknoloji, sayı 6 (3-4), p. 7-17.
11. Baynal, K. 2005. "Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eşzamanlı En iyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve Otomotiv Endüstrisinde Bir Uygulama," Endüstri Mühendisliği Dergisi, sayı 16 (2), s. 1-24.

12. Singh, N. K., Vijayakumar, Y. 2012. "Application of Taguchi Method for Optimization of Resistance Spot Welding of Austenitic Stainless Steel AISI 301L," Innovative Systems Design and Engineering, vol. 3 (10), p. 49-61.
13. Kuo, Y., Yang, T., Huang, G. W. 2008. "The Use of A Grey-Based Taguchi Method For Optimizing Multi-Response Simulation Problems," Engineering Optimization, vol. 40, p. 517-528.
14. Liao, H. C. 2003. "Using PCR-TOPSIS to Optimise Taguchi's Multi-Response Problem," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 22, p. 649-655.
15. Huang, J. T., Liao, Y. S. 2003. "Optimization of Machining Parameters of Wire-EDM Based on Grey Relational and Statistical Analyses," International Journal of Production Research, vol. 41, p. 1707-1720.
16. Biswas, S. A., Datta, S., Bhaumik, S., Majumdar, G. 2009. "Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi-Response Optimization: A Case Study in Submerged Arc Welding (SAW)," In Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering, ICME 09-RT-35, 26-28 December 2009, Dhaka, Bangladesh.
17. Baynal, K. 2003. "Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile En İyilemesi ve Bir Uygulama," Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
18. Lin J., Lin, C. 2002. "The Use of The Orthogonal Array With Grey Relational Analysis to Optimize The Electrical Discharge Machining Process with Multiple Performance Characteristics," International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 42, p. 237-244.
19. Jayaram, J., Ibrahim, Y. 1997. "Quality Note," Science, vol. 2, p. 199-205.
20. Yetilmezsoy, K. 2012. "Integration of Kinetic Modeling and Desirability Function Approach for Multi-Objective Optimization of UASB Reactor Treating Poultry Manure Wastewater," Bioresource Technology, vol. 118, p. 89-101.
21. Yetilmezsoy, K., Demirel, S., Vanderbei, R. J. 2012. "Response Surface Modeling of Pb(II) Removal from Aqueous Solution by Pistacia Vera L.: Box-Behnken Experimental Design," Journal of Hazardous Materials, vol. 171, p. 551-562.
22. Alpar, R. 2003. "Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1," Nobel Yayın Dağıtım, Ankara
23. Tacq, J. J. 1997. "Multivariate Analysis Techniques In Social Science Research: From Problem to Analysis, Sage, London.

EK-1. Taguchi Yöntemiyle $L_{16}(2)^{10}$ Matrisine Göre Tasarlanan Deneylerde Yürütülen Projeksiyon Kaynak İşlemlerindeki Fişırma ve Çapaklanma (Bileşik) Endeksi ve Kaynak Kopma Kuvveti Değerleri ile Bunların Gruplardaki Standart Sapmaları

Deney No	DENEY TEKRAR NO. 1		DENEY TEKRAR NO. 2		DENEY TEKRAR NO. 3		DENEY TEKRAR NO. 4		DENEY TEKRAR NO. 5		STANDART SAPMALAR	
	Fişırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi (E)	Kaynak Kopma Yüğü (Fk [N])	Fişırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi (E)	Kaynak Kopma Yüğü (Fk [N])	Fişırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi (E)	Kaynak Kopma Yüğü (Fk [N])	Fişırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi (E)	Kaynak Kopma Yüğü (Fk [N])	Fişırma ve Çapaklanma Bileşik Endeksi (E)	Kaynak Kopma Yüğü (Fk [N])	E için Hesaplanan (σE)	Fk için Hesaplanan (σFk)
1	0,50	1647,52	4,10	3804,98	3,40	5491,72	10,00	5805,54	3,40	0,00	3,49	2500,70
2	12,56	6492,00	7,50	6237,03	6,20	5099,46	5,60	3961,89	5,70	6374,32	2,92	1088,54
3	9,20	3255,81	8,80	5275,98	12,20	2608,57	6,10	2687,02	10,21	4805,26	2,22	1235,64
4	11,60	13827,38	6,91	13788,15	16,44	14298,10	7,80	6354,71	10,40	13395,88	3,76	3353,87
5	9,00	0,00	2,40	0,00	3,80	0,00	4,10	0,00	4,30	0,00	2,51	0,00
6	3,20	0,00	4,50	0,00	2,90	0,00	3,90	0,00	0,90	0,00	1,37	0,00
7	1,60	3510,78	1,30	353,04	1,80	647,24	1,70	1412,16	3,30	1922,10	0,78	1245,44
8	0,50	3138,13	2,30	2137,85	2,70	764,92	1,50	274,59	1,80	568,79	0,84	1216,02
9	5,60	2981,22	5,80	10885,38	5,10	3589,23	4,90	3785,37	4,11	2353,60	0,66	3491,17
10	13,10	11944,50	14,40	9473,22	12,20	6629,30	12,01	11238,42	13,40	12336,77	0,97	2343,79
11	4,40	1588,68	3,50	686,47	2,20	1490,61	4,10	1667,13	3,50	4334,54	0,84	1392,54
12	9,20	7629,57	11,30	4648,35	9,41	4962,16	9,00	4314,93	12,30	6178,19	1,47	1363,12
13	17,41	13199,75	20,74	13709,70	23,40	15298,37	16,39	11728,75	24,80	0,00	3,65	6168,38
14	18,08	1882,88	26,69	8414,11	19,64	14611,91	19,91	8276,81	24,81	4981,78	3,71	4736,61
15	18,44	6040,90	13,11	4962,16	19,36	6256,64	19,36	7629,57	16,99	8100,29	2,61	1265,06
16	11,94	6295,87	11,81	7354,99	10,41	8021,84	11,10	6138,96	11,24	5687,86	0,61	961,05

EK-2. Taguchi Yöntemiyle $L_{16}(2)^{10}$ Matrisine Göre Tasarlanan Deneylerde Yürütülen Projeksiyon Kaynak İşlemlerinde Ölçülebilen Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi ve Varyans Analizi (ANOVA) Çalışmasında Kullanılan Fişırma ve Çapaklanma (Bileşik) Endeksi Değerleri ve Deney Gruplarındaki İstatistiksel Veriler

Deney No	PARAMETRELER											FIŞIRMA ve ÇAPAKLANMA (BİLEŞİK) ENDEKSİ, E			İSTATİSTİKSEL VERİLER		
	Akım (I [KA])	Kaynak Süresi (tç [Çevrim])	Elektrot Kuvveti (Fe [N])	Delik Çapı (Ds [mm])	Sac Kalınlığı (s [mm])	Sac Malzeme (DC 04: 0 DP 600: 1)	Cıvata Kiplenmesi (Kap.sız (Pn): 0 Zır-Ni Kap.lı: 1)	Kabartı Yayı İzdüşümü Uzunluğu (Lp [mm])	Kabartı Taban Genişliği (bp [mm])	Kabartı Yüksekliği (hp [mm])	DENEY TEKRAR (NO. 1)	DENEY TEKRAR (NO. 2)	DENEY TEKRAR (NO. 3)	Ortalama (E _{ort})	Standart Sapma (σ)	Sinyal/Gürültü Oranı (S/N [dB])	
1	14,1	2	6648,91	8,3	0,8	0	8,59	1,25	0,70	0,70	4,10	3,40	3,40	3,63	0,40	-11,24	
2	14,1	2	6648,91	8,3	0,8	0	9,48	1,82	1,02	1,02	6,20	5,60	5,70	5,83	0,32	-15,33	
3	14,1	2	6648,91	9,0	1,5	1	8,59	1,25	0,70	0,70	9,20	8,80	6,10	8,03	1,69	-18,22	
4	14,1	2	6648,91	9,0	1,5	1	9,48	1,82	1,02	1,02	6,91	7,80	10,40	8,37	1,81	-18,59	
5	14,1	4	10689,25	8,3	0,8	1	8,59	1,25	1,02	1,02	3,80	4,10	4,30	4,07	0,25	-12,2	
6	14,1	4	10689,25	8,3	0,8	1	9,48	1,82	0,70	0,70	3,20	2,90	3,90	3,33	0,51	-10,53	
7	14,1	4	10689,25	9,0	1,5	0	8,59	1,25	1,02	1,02	1,60	1,80	1,70	1,70	0,10	-4,619	
8	14,1	4	10689,25	9,0	1,5	0	9,48	1,82	0,70	0,70	2,30	2,70	1,80	2,27	0,45	-7,221	
9	19,8	2	10689,25	8,3	1,5	0	8,59	1,82	0,70	0,70	5,60	5,80	5,10	5,50	0,36	-14,82	
10	19,8	2	10689,25	8,3	1,5	0	9,48	1,25	1,02	1,02	13,10	12,20	12,01	12,44	0,58	-21,9	
11	19,8	2	10689,25	9,0	0,8	1	8,59	1,82	0,70	0,70	3,50	4,10	3,50	3,70	0,35	-11,39	
12	19,8	2	10689,25	9,0	0,8	1	9,48	1,25	1,02	1,02	9,20	9,41	9,00	9,20	0,21	-19,28	
13	19,8	4	6648,91	8,3	1,5	1	8,59	1,82	1,02	1,02	20,74	23,40	24,80	22,98	2,06	-27,25	
14	19,8	4	6648,91	8,3	1,5	1	9,48	1,25	0,70	0,70	18,08	19,64	19,91	19,21	0,99	-25,68	
15	19,8	4	6648,91	9,0	0,8	0	8,59	1,82	1,02	1,02	18,44	19,36	19,36	19,05	0,53	-25,6	
16	19,8	4	6648,91	9,0	0,8	0	9,48	1,25	0,70	0,70	11,94	11,81	11,24	11,66	0,37	-21,34	

EK 3. Taguchi Yöntemiyle $L_{16}(2)^{10}$ Matrisine Göre Tasarlanan Deneylerde Fişirma ve Çapaklanma (Bileşik) Endeksi ile Kaynak Kopma Yükünün Kompozit Çekicilik Fonksiyonu Yaklaşımına Göre Çok Amaçlı Optimizasyonunda Kullanılan Veriler

Deney No	PARAMETRELER										FIŞIRMA VE ÇAPAKLANMA BİLEŞİK ENDEKSİ (E)				KAYNAK KOPI MA YÜKÜ (Fk [N])				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	D1	D2	D3	Y1	D'1	D'2	D'3	Y2	
	I	tç	Fe	Ds	s	SM	CK	Lp	bp	hp	E	E			E _{ort}	Fk			F _{k-ort}
	Çevrim	N	mm	mm	mm	-	-	mm	mm	mm	-	-	-	-	N	N			N
1	14,1	2	6648,91	8,3	0,8	0	0	8,59	1,25	0,70	4,10	3,40	-	3,75	3804,98	5491,72	-	4648,35	
2	14,1	2	6648,91	8,3	0,8	0	0	9,48	1,82	1,02	6,20	5,60	5,70	5,83	5099,46	3961,89	6374,32	5148,49	
3	14,1	2	6648,91	9,0	1,5	1	1	8,59	1,25	0,70	9,20	8,80	6,10	8,03	3255,81	5275,98	2687,02	3736,33	
4	14,1	2	6648,91	9,0	1,5	1	1	9,48	1,82	1,02	6,91	10,40	-	8,66	13788,15	13395,88	-	13592,02	
5	14,1	4	10689,25	8,3	0,8	1	1	8,59	1,25	1,02	3,80	4,10	4,30	4,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	14,1	4	10689,25	8,3	0,8	1	1	9,48	1,82	0,70	3,20	2,90	3,90	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	14,1	4	10689,25	9,0	1,5	0	0	8,59	1,25	1,02	1,60	1,80	1,70	1,70	3510,78	647,24	1412,16	1853,46	
8	14,1	4	10689,25	9,0	1,5	0	0	9,48	1,82	0,70	2,70	1,80	-	2,25	764,92	568,79	-	666,85	
9	19,8	2	10689,25	8,3	1,5	0	1	8,59	1,82	0,70	5,60	5,10	-	5,35	2981,22	3589,23	-	3285,23	
10	19,8	2	10689,25	8,3	1,5	0	1	9,48	1,25	1,02	13,10	12,01	-	12,56	11944,50	11238,42	-	11591,46	
11	19,8	2	10689,25	9,0	0,8	1	0	8,59	1,82	0,70	3,50	4,10	-	3,80	686,47	1667,13	-	1176,80	
12	19,8	2	10689,25	9,0	0,8	1	0	9,48	1,25	1,02	9,20	9,41	9,00	9,20	7629,57	4962,16	4314,93	5638,82	
13	19,8	4	6648,91	8,3	1,5	1	0	8,59	1,82	1,02	20,74	23,40	-	22,07	13709,70	15298,37	-	14504,04	
14	19,8	4	6648,91	8,3	1,5	1	0	9,48	1,25	0,70	19,64	19,91	-	19,78	14611,91	8276,81	-	11444,36	
15	19,8	4	6648,91	9,0	0,8	0	1	8,59	1,82	1,02	18,44	19,36	19,36	19,05	6040,90	6256,64	7629,57	6639,10	
16	19,8	4	6648,91	9,0	0,8	0	1	9,48	1,25	0,70	11,94	11,81	11,24	11,66	6295,87	7354,99	5687,86	6442,97	