

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ÜLKÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM 2021

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve ÜLKÜ
19241782020**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE

EKİM 2021

BTÜ, Lisanüstü Eğitim Enstitüsü'nün 19241782020 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Merve ÜLKÜ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökhan ADAR
Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU
Bursa Uludağ Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 5 Ekim 2021
Savunma Tarihi : 11 Ekim 2021



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Merve ÜLKÜ

İmzası :



Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Celalettin Yüce'ye teşekkür ediyorum. Çalışmalarım esnasında kaynak uygulama süreci hususunda yardımlarını esirgemeyen Bursa-UNIROB firmasına ve Sayın Ekin Azat Gökçin'e teşekkür ederim.

Deneyisel çalışma esnasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Safa ŞENAYSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bana desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve bütün güzellikleri hak eden babam Turhan ÜLKÜ, annem Kadriye ÜLKÜ ve kardeşim Melisa ÜLKÜ'ye teşekkür ederim.

EKİM 2021

Merve ÜLKÜ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1 ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	6
2.1.1 EDNK Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	7
2.1.2 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Aşamaları	7
2.1.3 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kullanılan Parametreler	8
2.2 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygulamalarında Kullanılan Elektrotlar ..	11
2.3 Elektrik Direnç Nokta Kaynaklı Parçaların Mekanik Testleri.....	12
2.4 KAYNAK PROSESLERİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON	
YÖNTEMLERİ	13
2.3.1 Taguchi Yöntemi	13
2.3.1.1 Ortogonal Diziler.....	15
2.3.1.2 Sinyal/Gürültü Oranı	15
2.3.1.3 Taguchi Yöntemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	17
2.3.2 Gri İlişkisel Analiz(GİA)	18
2.3.2.1 Gri İlişkisel Analiz(GİA) İle İlgili Yapılan Çalışmalar	21
2.3.3 Genetik Algoritmalar.....	22
2.3.3.1 Genetik Algoritmaların Avantaj ve Dezavantajları	23
2.3.3.2 Genetik Algoritma Çalışma Prensibi ve İşleyişi	24
2.3.3.3 Genetik Algoritmanın Temel Kavramları	26
2.3.3.4 Genetik Algoritmada Sonlandırma Koşulu.....	29
2.3.3.5 Genetik Algoritmada Performansı Etkileyen Durumlar	29
2.3.3.6 Matlab Optimizasyon Arayüzü	30
2.3.3.7 Genetik Algoritma İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	31
3. MATERYAL VE METOD	33
3.1 Deney Tasarımı.....	35
3.2 Çekme Testleri.....	36
3.3 Batma Oranı Ölçümü.....	36
3.4 Gri İlişkisel Analiz.....	37
3.5 Genetik Algoritma İle Optimizasyon	38
4. BULGULAR.....	40
5. TARTIŞMA.....	48
6. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKÇA.....	52
ÖZGEÇMİŞ	55

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
GA	: Genetik Algoritma
EDNK	: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı
MFDC	: Orta Frekans İnvantör Kontrolör

SEMBOLLER

Q	: Isı Girdisi
I	: Kaynak Akımı
R	: Direnç
T	: Zaman
ξ	: Gri İlişkisi Katsayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : DP 1180 malzemenin kimyasal kompozisyonları (%).....	33
Çizelge 3.2 : Taguchi yönteminde kullanılan prorses parametreleri ve seviyeleri ..	35
Çizelge 3.3 : Çalışmada kullanılacak S/N formülleri	35
Çizelge 4.1 : Deney parametreleri ve sonuçları.	40
Çizelge 4.2 : Maksimum ve minimum değerler	41
Çizelge 4.3 : Kopma mukavemeti ve batma oranı normalizasyon sonuçları	42
Çizelge 4.4 : Kopma mukavemeti ve batma oranı uzaklık matris sonuçları	43
Çizelge 4.5 : Gri ilişkiler katsayı matris sonuçları	43
Çizelge 4.6 : Hesaplanan gri ilişkiler dereceleri	44
Çizelge 4.7 : Hesaplanan yeni seviye değerleri	45
Çizelge 4.8 : Faktörlerin yeni hesaplama seviye sonuçları ve sıralaması	45
Çizelge 4.9 : Taguchi yöntemi tahmin değerleri.....	46
Çizelge 4.10 : ANOVA sonuçları	47
Çizelge 4.11 : GA optimizasyon sonuçları	47
Çizelge 4.12 : Deneysel sonuçlar, öngörülen değerler ve hata(%).....	47

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Üretilen bir araçtaki nokta kaynaklar	1
Şekil 1.2 : Kullanılan malzemelere göre koruma oranları	2
Şekil 1.3 : 2000-2023 Strateji Belgeleri.....	4
Şekil 2.1 : Punta kaynağı şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.2 : Elektrik direnç kaynağı işlem adımları	8
Şekil 2.3 : Elektrik direnç kaynağı için kullanılan parametreler	9
Şekil 2.4 : Bir nokta direnç kaynağındaki genel çevrim grafiği.....	10
Şekil 2.5 : EDNK uygulamalarında kullanılan elektrot başlık örnekleri.....	12
Şekil 2.6 : Kesme testi örneği ve yük-yer değiştirme grafiği	12
Şekil 2.7 : Ayırma testi örneği ve yük uzama grafiği	13
Şekil 2.8 : Taguchi'nin kalite sistemi	15
Şekil 2.9 : GA akış diyagramı.....	26
Şekil 2.10 : Gen, kromozomve popülasyon yapısı	28
Şekil 2.11 : Genetik algoritma akış diyagramı	28
Şekil 2.12 : Matlab optimizasyon arayüzü.....	30
Şekil 3.1 : Oluşturulan deney numune şeması.....	33
Şekil 3.2 : Oluşturulan kaynak numuneleri	34
Şekil 3.3 : SHIMADZU AG-1C Çekme deney cihazı.....	36
Şekil 3.4 : Batma derinliği şematik ölçümü	37
Şekil 4.1 : Ortalamalar için sonuç grafiği	46

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Elektrik direnç nokta kaynağı özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde başlıca birleştirme yöntemlerinden biridir. Elektrik direnç nokta kaynağının uygulanmasındaki önemli nokta ise kaynaklı birleştirme esnasında kaynak kalitesini etkileyen kaynak parametreleridir. Bu tez çalışması kapsamında, DP1180 1,2 mm çelik saclar kaynaklı birleştirme için kullanılmıştır. Elektrik direnç punta kaynağı ile birleştirmeden sonra gri ilişkisel analiz yöntemi ile kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma ile maksimum çekme mukavemeti ve minimum batma oranı için en uygun kaynak kombinasyonları belirlenmiş ve deney sonuçları tahmin edilmiştir. Punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot baskı kuvveti, punta parametrelerinin değerleri, rastgele yaklaşımlı L9 Taguchi ortogonal dizine göre belirlenmiştir. Punta işlemi uygulanmış numunelerin kaynaklı bağlantılarına çekme deneyi yapılmıştır. Kaynak işleminin ardından kaynaklı numunelerin batma oranı hesaplanmıştır. Taguchi metodu ile en yüksek-en iyi ve en düşük-en iyi kalite kontrol karakteristiği uygulanmış olup sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Optimum punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot kuvveti sırasıyla 8000 A 0,25 s, 2000 N olarak bulunmuştur. Yapılan ANOVA testi sonucunda en etkili parametrenin %65,98 ile elektrik akımı olduğu görülmüştür.

Genetik algoritma sonucunda tahmin edilen kopma mukavemeti 17,84 kN, batma oranı ise %34,15 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Genetik algoritma, Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel analiz yönteminde elde edilen sonuçların birbiri ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrik direnç nokta kaynağı, taguchi yöntemi, optimizasyon, genetik algoritma, gri ilişkisel analiz

OPTIMIZATION OF WELDING PARAMETERS IN ELECTRIC RESISTANCE SPOT WELDING

SUMMARY

Electric resistance spot welding is one of the main joining methods in many sectors, especially in the automotive sector. The important point in the application of electric resistance spot welding is the welding parameters that affect the welding quality during the welded joint. In this thesis, DP180 1.2 mm steel sheets were used for welded joining. After joining with electrical resistance spot welding, the welding parameters were optimized using Gray Relational Analysis method and at the same time, the most suitable test combinations values were determined for maximum tensile strength and minimum indentation rate using genetic algorithm method. Values of welding parameters such as welding current, welding time and electrode pressure force were determined according to L9 Taguchi orthogonal index with random approximation. In order to determine the mechanical properties of the welded samples, a tensile test was performed on the welded joints. After the welding process, the penetration rate of the welded samples was calculated. The highest-best and lowest-best quality control characteristics were applied with the Taguchi method and the results were given graphically. Optimum welding current, welding time and electrode force were found to be 8000 A 0.25 s and 2000 N, respectively. As a result of the ANOVA test, it was seen that the most effective parameter was the electric current with 65.98%.

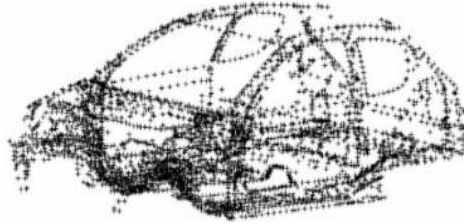
The predicted breaking strength as a result of the genetic algorithm was determined as 17,84 kN, and the penetration rate was determined as 34.15%. As a result of the study, it was observed that the results obtained in the Genetic algorithm, Taguchi Method and Gray Relational analysis method were consistent with each other.

Keywords: Resistance spot welding, optimization, taguchi, genetic algorithm, gray relational analysis

1. GİRİŞ

Geçmiş devirlerden günümüze araç, gereç ve makine yapımları için çeşitli metal birleştirme teknikleri kullanılmıştır. 19.yy başlarında elektrik arkıyla metal birleştirme yöntemi civata ve perçinleme tekniklerine eşdeğer olarak keşfedilmiştir. 19. yy başlarında sağlamlaştırma ve tamir yöntemi olarak kullanılmış, Birinci Dünya Savaşı sonrasında ise bu teknikler bir üretim aracı haline gelmiştir. Günümüze geldiğimizde ise birçok sektörde kullanılan bir yöntem haline gelmiştir ve bu yöntemin farklı kullanım amacına göre çeşitli tipleri geliştirilmiştir. Özellikle otomotiv endüstrisinde, seri imalat montaj işlemlerinin temel proseslerinden biri olan elektrik nokta kaynak metodu ana gövdenin birleştirilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin, seri üretime elverişlidir, kaynak süreci hızlıdır ve diğer kaynak yöntemlerine kıyasla daha ucuz olabilmektedir. Günümüzde bir aracın üretiminde yaklaşık 2000 – 5000 arasında punta direnç kaynağı ile birleştirme yapılmaktadır [14-17].

Bir araç üretimindeki elektrik direnç nokta kaynakları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Araç gövdesinin birleştirilmesi için yapılan kaynak işçiliğinin yaklaşık %85'ini elektrik direnç kaynağı oluşturmaktadır [23].

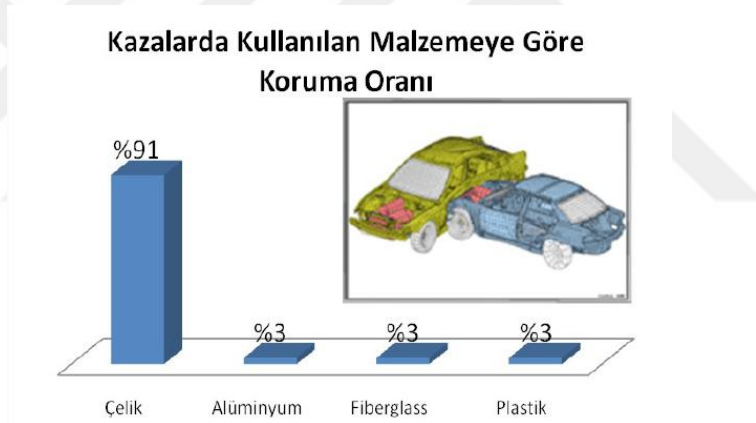


Şekil 1.1: Üretilen bir araçtaki nokta kaynaklar [23]

Günümüzde otomotiv sektöründe müşteri taleplerine hızlı, doğru ve kaliteli bir şekilde cevap verebilmesi kaçınılmazdır ve bu nedenle otomotiv firmaları her geçen gün yeni teknolojik buluşları süreçlerine dâhil etmektedir ve firmalar artan sektör rekabetleriyle başa çıkabilmek için mevcut süreçlerinde katma değerlerinin artırılabilmesine yönelik birçok araştırma, geliştirme ve iyileştirme uygulamaları üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu faaliyetlerinden biri de yakıt tüketimini ve

karbon emisyonun en aza indirgenmesi adına yapılan araç ağırlıklarının hafifletilmesi ve araç parçalarındaki sadeleştirilmeleridir. Bu nedenle montaj yapılacak parça sayısının ve ağırlığının azalması montaj proseslerindeki dayanım, kalite ve maliyetin önemini bir kat daha attırmıştır [1].

Otomobil kullanıcıları günden güne daha ekonomik taşıtlar talep etmektedir. Otomotiv firmaları da bu talep üzerine otomobil üreticilerinin nerdeyse hepsi araçlardaki hafifliğe öncelikleri haline getirmiştir. Araçlardaki hafifliğin ön plana çıkmasıyla birlikte önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanmıştır [19]. Araçlardaki en önemli diğer unsurlardan biri de güvenliğin geliştirilmesi isteğidir. Bu da çelik misali yüksek dayanımlı materyallerin yaygın kullanımının önünü açmaktadır. Kazalarda kullanılan materyallerin çeşidine göre korunma oranları Şekil 1.2’de verilmiştir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi, yaşanan kazalarda çelik mimari ile üretilen taşıtlarda ölüm oranının %91 oranında azaltılması mümkündür. [23].



Şekil 1.2: Kullanılan malzemelere göre koruma oranları [23]

CO_2 emisyonu, yakıt tasarrufu, kazalarda dayanım ve kaynak kabiliyeti vb. dikkate değer özelliklerinden mütedair otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerden (HSS) yararlanma oranı günden güne artış göstermektedir [16]. HSS çelikleri sahip oldukları çok fazlı mikroyapıları ile mükemmel dayanım ve süneklik kombinasyonlarına imkan vermektedir [1]. İleri yüksek mukavemetli çelikler sınıfında yer alan çift fazlı (DP) çelikler, iyi mukavemet, tatmin edici süneklik, kolay kaynak edilebilirlik ve çarpışma testlerinde yüksek enerji emiş beceri özelliklerine sahiptir [24].

Otomotiv sektöründeki en yeni trendlerden olan taşıtlarda hafifletme oranı % 40 seviyelerindedir. Taşıt hafifletme ile yakıt kullanımında azalma, CO_2 emisyonunun azaltılması, maliyetlerde düşme ya da ivmelenme başarısının arttırılması gibi oldukça fazla avantajı mevcuttur.

Hafifletme çalışmaları, aracı hızlandırmak için ya da bir yokuş çıkması için gerekli olan yakıt kullanımını azaltmaktadır. Azalan enerji ihtiyacı sayesinde yakıt kullanımında kayda değer azalmalar farkedilir. Ek olarak, konvansiyonel motor ve güç aktarım yapıları kullanan her yeni taşıtta, tüketici istekleri de göz önünde bulundurularak elektrik ve elektronik aygıtları sayıca artmıştır. Bu nedenle araç giderek ağırlaşmıştır ve bu ek yükün azaltılması gerekmektedir.

Araç hafifletme yöntemlerinin en başında hafif malzeme kullanma ihtiyacı öne çıkmaktadır. Hafif malzemeleri mukavemet/ağırlık oranının kayda değer olduğu materyal çeşidi olarak tanımlamak mümkündür [19].

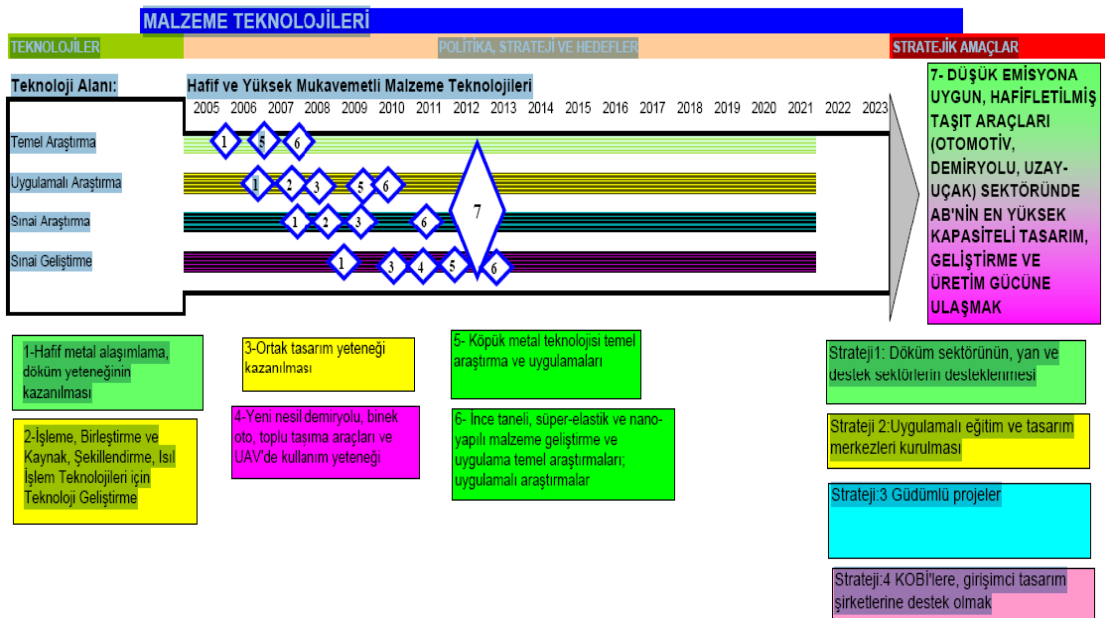
2009 senesinde Dünya Çelik Topluluğu (World Steel Association) karbondioksit emisyonuna özellikle vurgu yapmıştır. 5 kişilik araçlarda yüksek dayanımlı çelikten faydalanmanın artırılması durumunda karbondioksit emisyonunun %6 değerinde azalabileceğini raporlamışlardır [44].

Dünyada her dakikada 6 trafik kazasının yaşandığı öngörüldüğünde emniyet ve materyallerin önemi ortaya çıkmaktadır. [12]. 2003 yılında Amerikan Demir-Çelik Enstitüsünün (AISI) yayımladığı bildiriye müteakiben; dizaynı çelik malzemeler ile üretilmiş taşıtlarda ölüm oranının %90 azaldığı bildirilmiştir [14]. Yapılan diğer bir araştırma da ise malzemelerin maksimum dayanımının ortalama 600 MPa olmasının ölüm oranının kayda değer miktarda düştüğü raporlanmıştır [14].

Taşıtlarda kullanım miktarı bakımından en büyük orana sahip olan çelikler diğer malzeme türlerine göre endüstride daha fazla tanınmış olduğundan hafifletmede maliyet ve üretim teknikleri açısından daha avantajlıdır. Yüksek mukavemet ve şekillendirilebilirlik gibi özelliklere sahip olan yeni nesil çeliklerin taşıtlarda özellikle yapısal parçalarında kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Çarpışma anında gösterdiği dayanım ve üretime yatkınlık gibi özellikler nedeni ile günümüzdeki araçların ağırlık olarak %70'lik bir kısmının çelik malzemelerden üretilmiş parçalar oluşturmaktadır. Yakıt kullanımının azaltılması odaklı araştırmalar neticesinde üretilen yeni nesil çelikler Yüksek Mukavemetli Çelik - HSS (High Strength Steel)

ve geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik - AHSS (Advanced High Strength Steel) olarak bilinmektedir. Oldukça yüksek değerlerdeki mukavemet ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı HSS ve AHSS malzemelerinin hafifletme için büyük potansiyele sahip olduğu ve parça başına yaklaşık %25 oranında hafifletmenin bu malzemeler ile mümkün olabileceği bildirilmektedir. [43].

Ülkemizde Kasım 2004'te Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından hazırlanan “Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi”nde Malzeme Teknolojileri-Hafif ve Yüksek Mukavemetli Malzeme Teknolojileri belirlenmiştir. Belirlenen istikamet görselde gösterilmiştir. Görselde belgenin hafifletilmiş taşıtlarla alakalı kısmı Şekil 1.3’ de verilmiştir.



Şekil 1.3: 2003-2023 Strateji Belgesi [49]

Belirlenen istikamette da görüleceği üzere memleketimizin hafifletilmiş taşıtları meydana getirmek ve bu alanda Avrupa Topluluğunda bayrağı taşıyan ülkeler arasında olmayı istediği görülmektedir [34].

Bu çalışmada, DP1180 1,2 mm çelik sacları kaynaklı birleştirme için kullanılmıştır. Elektrik direnç punta kaynağı ile birleştirmelerinden sonra Gri İlişkisel Analiz metodu kullanarak kaynak parametrelerinin optimize edilmiş, aynı zamanda genetik algoritma yöntemi kullanılarak maksimum çekme mukavemeti ve minimum batma oranı için optimum kaynak kombinasyonları değerleri belirlenmiştir. Punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot baskı kuvveti, punta parametrelerinin değerleri,

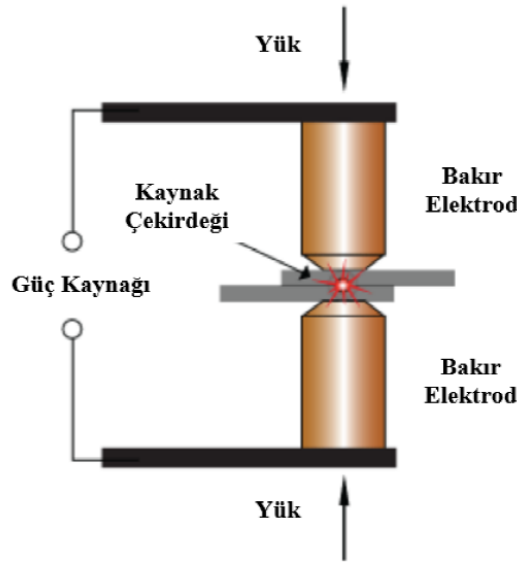
rastgele yaklaşımlı L9 Taguchi ortogonal dizine müteakiben saptanmıştır. Kaynak işlemi uygulanmış parçalara çekme deneyi yapılmıştır. En uygun punta parametreleri, en yüksek kopma yükü ve en düşük batmaya göre tahmin edilmiştir. GİA ile yapılan çalışmada optimum deney kombinasyonları punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot kuvveti sırasıyla 8000 A, 0,25 s ve 2000 N olarak bulunmuştur. Daha sonra Taguchi yöntemi ile deney parametrelerine ait grafikler belirlenmiştir. Yapılan ANOVA testi sonucunda ise en etkili parametrenin % 65,98 ile kaynak akımı olduğu tespit edilmiştir. Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonucunda tahmin edilen kopma mukavemeti 17,83 kN, batma oranı ise %34'tür. Gri ilişkisel analiz, Taguchi yöntemi ve genetik algoritma sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 ELEKTRİK DİRENÇ PUNTA KAYNAĞI

Elektrik direnç punta kaynağı, iki adet bakır elektrot arasına konumlandırılan kaynaklanabilir malzemelerin elektrotlar arasından elektrik akımının geçirilmesi ile oluşturulan kaynak tekniğidir. Büyük oranda sac malzemelerin kaynak yapılmasında oldukça kullanışlıdır. Bu nedenle otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılır. Bir diğer adı elektrik direnç direnç kaynağıdır. Elektrik direnç nokta kaynağı otomotiv, tren, demiryolu ve havacılık vb. sektöründe oldukça yaygın kullanım alanı bulmuştur [3].

Şekil 2.1 incelendiğinde kaynaklanabilir parçalar elektrotlar vasıtasıyla birbirlerine bastırıldığında kısmi geçiş direnci meydana gelmektedir. Bu dirence elektrik akımı verildiğinde, kısmi geçiş direnci oluşan kısımda ısı oluşmaktadır. Bu ısı, birleşen malzemenin ergiyip daha sonra tekrar soğuyarak katılaşmasından oluşur. Yapılan bu işlem elektrik direnç nokta(punta) kaynak olarak isimlendirilmektedir [27].



Şekil 2.1 : Punta kaynağı şematik gösterimi [28]

İşlem 1 saniyeden kısa bir sürede düşük gerilim ve yüksek akımın iki metal temas yüzeylerinde oluşturduğu kaynak banyosunun, katılaşarak uygulama bölgesinde yeni ve sağlam bir yapı oluşmasıyla gerçekleşir. Çoğunlukla ince kesitli malzemeler için bu yöntem tercih edilmektedir. Sürenin kısa olması ve ısıнын kontrol edilebilirliği açısından oluşabilecek kalıcı şekil bozukluklarının önüne geçilebilir [1].

2.1.1 EDNK Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Elektrik direnç nokta kaynağının yönteminin bazı avantajları aşağıdaki gibidir.

- Bu yöntemde dolgu maddesine gereksinim duyulmamaktadır.
- Yüksek üretim hızlarına ulaşmak mümkündür.
- Otomasyona elverişlidir.
- Operatör becerisi ve tecrübesi gerektirmemektedir.
- Uygun yenilenebilirlik ve güvenilirlik sağlamaktadır.

Elektrik direnç nokta kaynağının yönteminin bazı dezavantajları mevcut olup aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

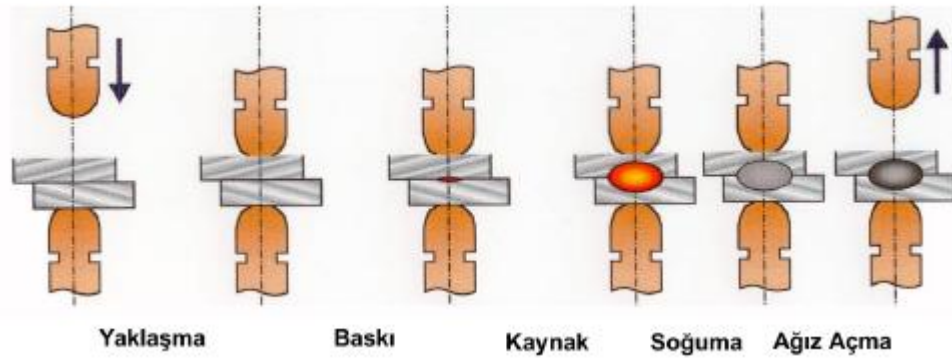
- Yüksek donanım maliyeti gerektirmektedir.
- Yöntem kalın parçaların kaynağına elverişli değildir [31].

2.1.2 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Aşamaları

Nokta direnç kaynağı işlemi uygulanması gereken adımlar aşağıdaki gibidir ve bu işlem adımlarının şematik görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir.

- 1) **Yaklaşma:** Kaynak pensesi üzerindeki hareketli ve sabit elektrotun parça üzerine yaklaşma süresidir. Elektrotun sacı deforme etmemesi adına dengeleme görevini yapan farklı mekanizmalar bulunmaktadır.
- 2) **Baskı:** Elektrot kuvvetinin birincil gerçekleştiği an ile punta akımının verildiği birincil an arasında geçen zamandır. Bu aralık, selonoid hareketli silindir valfinin çalışması ve üst elektrot tutucunun üst elektrotu iş parçasıyla temas halinde olması ve elektrot kuvvetinin tamamını uygulaması için zaman tanımaktadır. Bu süre, kaynatılacak parçaların yakın temasını sağlamaya yetecek kadar olmalıdır.
- 3) **Kaynak:** Kaynak akımının devreden geçtiği zaman aralığıdır. İnce taneli yapı çeliklerinin birçoğunda, basit karbonlu çeliklere normal olarak uygulanandan biraz daha uzun kaynak süresinin kaynak kabiliyeti eğrisini genişlettiği ve böylece kabul edilebilir kaynak akım sınırlarını arttırdığı görülmüştür.

- 4) **Soğuma:** Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşına kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır. Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır.
- 5) **Ağız açma:** Kaynak pensesi üzerindeki hareketli ve sabit elektrotun parça üzerinden uzaklaşma için kaynak pensesinin açılma süresidir. Ağız açma zamanının sonundan diğer döngüdeki basma süresinin başlangıcına kadar geçen süre, elektrotların iş parçasıyla dokunmadığı zaman aralığına da ölü zaman olarak ifade edilmektedir. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve iş parçasının kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Eğer bu işlem manuel yapılırsa, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır [28].



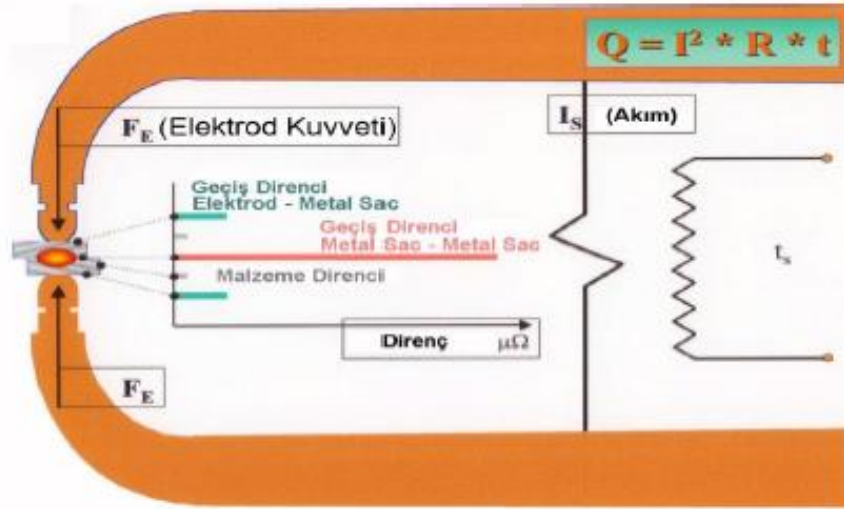
Şekil 2.2: Elektrik direnç kaynağı işlem adımları [28]

2.1.3 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kullanılan Parametreler

Direnç kaynaklarında oluşan ısı değeri Joule yasası ile tespit edilmektedir. Elektrik direnç kaynağındaki ısı oluşumu $Q = I^2Rt$ eşitliğiyle verilmektedir. Bahsi geçen formülasyonda ısı girdisi (Q), punta kaynak akımı (I), direnç (R) ve t punta kaynak süresi ile ifade edilmektedir. Elektrik direnç punta kaynağında kullanılan parametreler için verilen şema Şekil 2.3'teki gibidir.

Kaynak oluşum sürecindeki kaynak akımı, elektrik akımıyla sağlanmaktadır. Punta kaynak akımının artması ısı girdisini doğrudan artmaktadır. Önceden AC elektrik güç kaynağı ile bu akım sağlanmakta iken, daha sonraları özel uygulama ihtiyaçları için DC akım kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde artan enerji kullanımının

azaltılması bilinciyle orta frekanslı DC (MFDC) güç kaynakları kullanımı giderek artmıştır [4].



Şekil 2.3: Elektrik direnç kaynağı için kullanılan parametreler [4]

Malzemelerin yapısal özelliklerinde malzemeye uygulanan nokta direnç kaynağının kalitesi üzerinde önemli rolü bulunmaktadır. Bu özelliklerin bazılarının nokta direnç kaynağı kalitesi üzerindeki etkisi aşağıda incelenmiştir.

Direnç: Elektrotlar arasındaki kuvvet ile ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Eğer gereğinden fazla kuvvet uygulanırsa direnç düşebilir. Gereğinden az kuvvet uygulanırsa da kaynak direnci artacağı için yanmalar meydana gelebilir. Sıcaklık ile kaynak direnci değişme göstermektedir. Bahsi geçen bu değişim materyale bağlı kriterdir.

Punta Akımı: Isı girdisini punta noktasında meydana getiren oldukça önemli parametredir. Eğer punta akımı az ise , punta süresi uzun tutulmalıdır. Bu duruma uzun süreli punta denir ve ısıtılan alan genişler. Kaynak akımı fazla tutulursa ise elektrotlardan ürüne geçecek akımın yüksekliğinden mütevellit yüzeyde çatlakların oluşabilme ihtimali artmaktadır.

Punta Süresi: Punta süresi de kaynak için kıymetli bir parametredir. Punta zamanı kısa uygulanırsa, punta kaynağı tutmayabilir veya kaynak çekirdeği çapı az olabilir. Punta kaynağı zamanı uzun olursa, ergimiş alan fazla büyüyeceği için baskıdan mütevellit patlar. Bu sebepten dolayı materyal formu bozulabilir [3].

Kaynak Baskı Kuvveti: Punta prosesinden önce elektrotlarla kaynatılacak bölge sıkılıp, kuvvet kararlı durumdayken akım geçmesi sağlanır. Kaynak için öneme

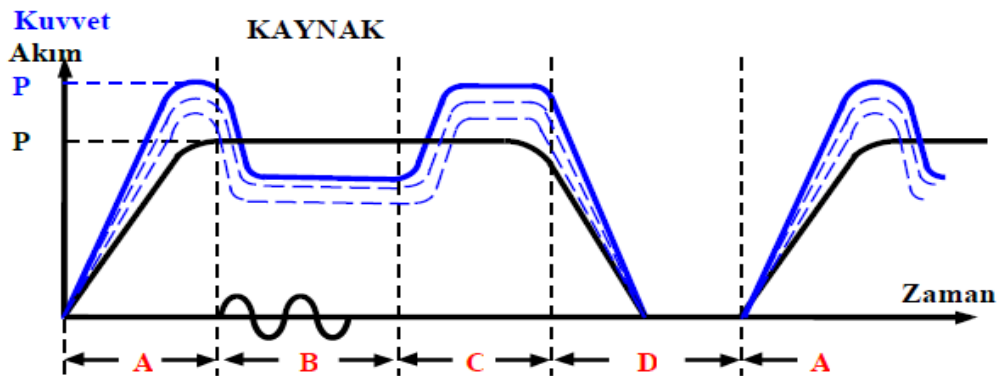
sahip olan direnç yaygın olarak kuvvetle ters orantılıdır. Elektrot baskı kuvveti yükseltildikçe temas direnci düşer ancak temas direncinin düşmesi materyal çeşidine göre değişmektedir.

Isıl İletkenlik: Isıl iletkenliği yüksek olan metallerin nokta kaynak kabiliyeti, düşük olan metallerle kıyasla daha zayıftır. Isıl iletkenlik ile elektrik iletkenliği çoğu metalde birbirleriyle yakın ilişkilidir.

Isıl Genleşme: Metalin yapısında meydana gelen sıcaklık değişimi sonucunda cismin boyutunda değişiklik meydana gelmektedir. Isıl genleşme katsayısı yüksek olan metallerde, kaynaklı parçalar burkulma gibi form bozukluklarına maruz kalabilmektedir.

Sertlik ve Mukavemet: Yumuşak metallerde elektrotların derinliği daima fazla olmaktadır. Sert ve yüksek mukavemetli metallerin kaynaklanmasında ise daha yüksek elektrot kuvveti uygulanması gerekmektedir ancak bu durumda elektrotun çabuk deforme olmaması için sert ve mukavemetinin daha yüksek olması gerekmektedir.

Günümüzdeki kaynak makineleri çok farklı elektronik kontrol üniteleri ile kontrol edilmektedir. Nokta(punta) direnç kaynağında kullanılan genel bir çevrim grafiği Şekil 2.4’de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.4: Bir nokta direnç kaynağındaki genel bir çevrim grafiği [5]

A: Sıkma Zamanı: Kaynağın başlatılmasından sonra elektrotların kaynak kuvvetine ulaşması için geçen süredir.

B: Kaynak Zamanı: Kaynak akımının uygulandığı süredir. Bu süre zarfında punta cinsine göre, ön ısıtma, kaynak, darbeli kaynak ve son ısınma gibi bölümler

bulunabilir. Buradaki üç farklı seçenek kaynak kalitesi için etkili olabilmektedir. Bu seçenekler aşağıdaki gibidir:

Ön Isınma: Punta uygulanırken materyal cinsi, durumu, elektrot temas durumu gibi sebeplerle ön ısıtma uygulamasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu uygulamalar ile akım, istenilen ölçüye aniden değil de aşamalı bir şekilde çıkarılır [37]. Ön ısıtma, punta uygulanacak ürünler üstündeki yağ, pas gibi kirliliklerin uzaklaştırılmasını için uygulanmaktadır

Darbeli Kaynak: Bazı durumlarda kaynak akımının darbeli uygulanması istenmektedir. Yüzeyleri kaplı saclarda, punta uygulanacak ürünler arasında uzaklık olması durumunda ve birden çok saca punta uygulanması gibi durumlarda darbeli kaynak uygulanabilmektedir. Akım bir seferde akıtmak yerine bölünmüş çok parçalı olarak uygulanmaktadır.

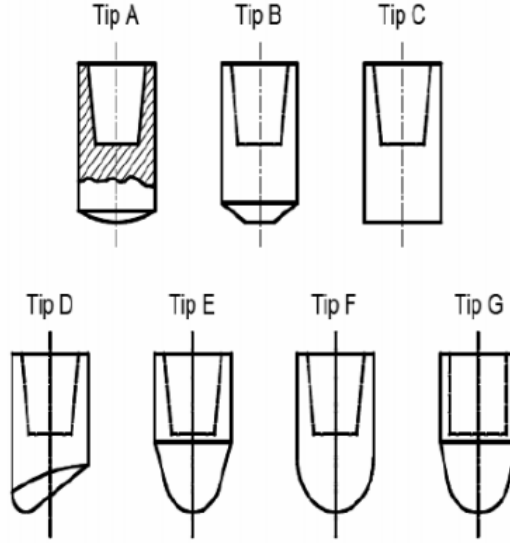
Son Isınma: Kaynak işlemi bittikten sonra tavlama amacıyla, kaynak bölgesinde oluşan porozitelerin kapanması gibi nedenlerle azalan bir akım uygulanabilmektedir.

C: Tutma Zamanı: Punta prosesi sonlandıktan sonra, elektrotların kısa bir zaman punta noktası üzerinde tutulması işlemidir. Bahsi geçen işlem hem materyallerin birbirine nüfuz etmesini sağlamaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca kaynak noktasında oluşan ısının etrafa yayılmadan elektrotlara aktarılmasını sağladığı için kaynak noktasında meydana gelebilecek kararmanın önüne geçmesini sağlar.

D: Ayrılma Zamanı: Tekrar eden işlemlerde, ikinci puntaya başlamak için ihtiyaç duyulan süredir. Bahsi geçen zamanda ikinci direnç nokta için penseye hareket verilir [32].

2.2 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygulamalarında Kullanılan Elektrotlar

Kullanılan ilk elektrotlar saf bakırdan imal edilmiştir. Kullanılan saf bakır elektrotlar düşük elektriksel iletkenlik ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden dolayı çeşitli bakır alaşımlı elektrotlar geliştirilmiş ve kullanım alanları giderek artmıştır. Alaşımın sertliğinin yükselmesi, elektrotun ısı ve elektriksel direncini arttıran bir unsurdur. İlaveten, yapılması düşünülen kaynak prosesi göz önünde bulundurularak uygun geometriye ihtiva eden elektrotlar seçilmektedir. Şekil 2.5’de TS EN 2582’ye göre kullanılan bazı elektrot geometrileri gösterilmiştir [4].



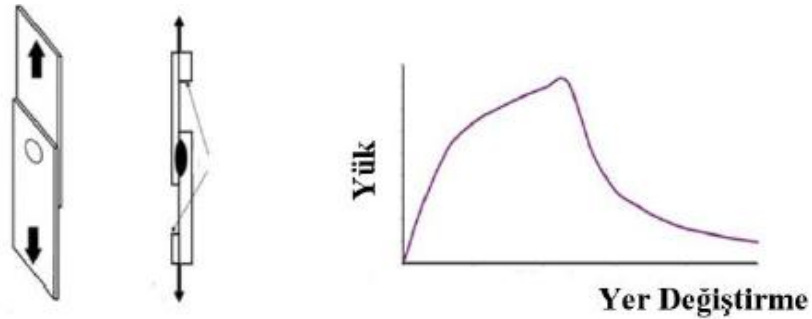
Sekil 2.5: EDNK uygulamalarında kullanılan elektrot başlıkları [4]

2.2.1 Elektrik Direnç Nokta Kaynaklı Parçaların Mekanik Testleri

Kaynaklanabilirlik ve dayanım testlerinde genellikle kesme testi ve ayırma testi kullanılmaktadır. Uygulanan bu testler ile kaynağın mekanik özellikleri karakterize edilmektedir. Kaynak bölgesinin genişliği artıkcı kaynaklı bölgenin kopma mukavemeti artmaktadır [35].

Kesme testi

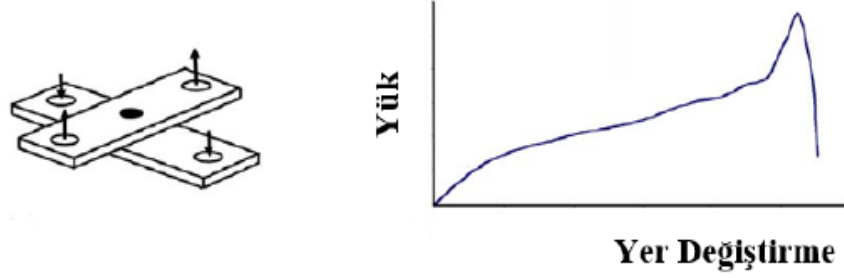
Test aygıtına takılarak uygulanan bu test türünde örneklerin baş ve son taraflarının hizalanmasının amacı ile örnekle ile aynı incelikte sac materyal ilave edilir. Bu testin örneği ve yük diyagramı Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Kesme testi örneği ve yük-yer değiştirme grafiği [35]

Ayırma testi

Bu test aygıtına takılarak gerçekleştirilen testte örneklerin baş ve son taraflarına hizalamanın sağlanması için numune ile aynı incelikte sac materyal ilave edilir. Bu testin örneği ve yük grafiği Şekil 2.7’de gösterilmiştir [35].



Şekil 2.7: Ayırma testi örneği ve yük-uzama grafiği [35]

2.3 KAYNAK PROSESLERİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

2.3.1 Taguchi Yöntemi

Üretim yapan işletmelerde, firmalar ürünlerini müşterilerinin beklentisinin üzerinde tutabilmek için sürekli rekabet ortamı içindedir. Buna bağlı olarakta firmaların müşteri memnuniyetini karşılayabilmeleri önemli bir husus haline gelmiştir. İşletmelerin, müşterilerine işlevini yerine getirebilen, daha uygun maliyetli ve kaliteli mamuller üretebilmek adına sergiledikleri efor sayesinde, kalite artırma bilincinin gelişmiş, hızla yaygınlaşması sağlanmıştır [13].

Özellikle gelişmiş ülkelerde deney tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Üretimin gerçekleşme aşamasından öncesinde meydana gelen tasarım isüreci, artan parametreler ve bunun sonucu olarak artan deneyler maliyet ve zaman açısından işletmelere büyük kayıplar sebep olabilmektedir. Bunun gibi kayıpların yaşanmaması için Genichi Taguchi kendi adını taşıyan Taguchi yöntemi ile zaman ve maliyetten tasarruf sağlayarak verimliliği artıran bir sistem geliştirmiştir [46].

Taguchi metodu, 1960 yılından beri Japon mamullerinin kalitelerini yükseltmek adına başarılı bir şekilde uygulanan kalite taktiklerinin bir parça haline gelmiştir. Taguchi, konvansiyonel kalite kontrol yöntemleriyle kıyaslandığında, zaman ve maliyet odaklı ciddi oranda tasarruf sağladığı görülmüştür. Bahsedilen bu yöntem,

ürün kalitesinin artırılması odaklı uygulanan deney tasarımı metotlarına önayak olmuştur.

Taguchi metodunun amacı; kontrolü sağlanabilen parametrelerin belirli düzeylerde zaman ve maliyet bakımından geçerli, kontrolü sağlanamayan parametrelere ise ilgisiz kalan ürün ve prosesler dizayn etmektedir. Taguchi tasarım yöntemi; ürünlerin kaliteli olmasıyla, kalite iyileştirme araştırmalarında az deneme sayısı ile birlikte daha iyi sonuçlara ulaşma fırsatı sağlamaktadır.

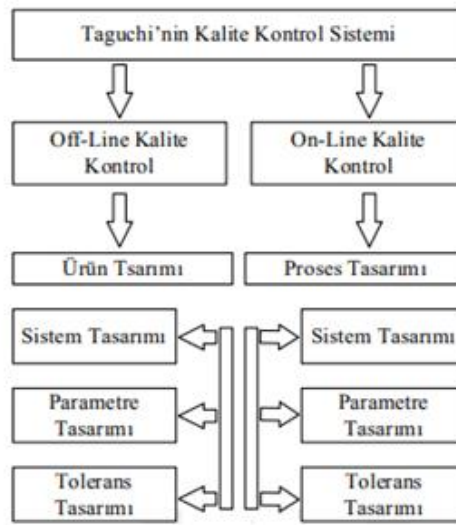
Taguchi yöntemi kullanılarak yapılacak optimizasyon sekiz adımda gerçekleştirilir.

- 1) Değerlendirilecek parametrelerin belirlenmesi,
- 2) Bu parametre seviyelerin ve mümkün olan iç etkileşimlerin belirlenmesi,
- 3) Uygun ortogonal dizisinin belirtilmesi,
- 4) Ortogonal diziye dayanarak deney sonuçlarının metoda uyarlanması,
- 5) Performans istatistiklerinin hesaplanması,
- 6) Sonuçların varyans analizi ile belirlenmesi
- 7) Optimum seviyelerin seçilmesi,
- 8) Sonuçların doğrulanması [25].

Özetleyecek olursak Taguchi'nin felsefesi aşağıdaki gibi listenebilir:

- Rekabet içeren ortamda kaliteyi devamlı olarak iyileştirmek ve maliyetleri düşürmek bir firmanın varlığını koruması için mecburi bir eylemdir.
- Süreklilik içeren bir kalite yükseltme prosesi, malzemede ulaşmak istenilen değerlerden sapmaları devamlı olarak azaltma hedefi içermektedir.
- Ürünün başarısındaki varyasyondan dolayı son kullanıcıda meydana gelen kayıp ortalama olarak sapmanın karesiyle orantılı bir durumdur.
- Üretilmiş malzemede kalite ve maliyet ile alakalı ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenmektedir.
- Bir ürünün başarısındaki varyasyonları en aza indirmek adına ürünün performans kriterleri öneminde etkin olan parametrelerin kontrol altında tutulması gereklidir.
- İstatistiki olarak dizayn edilen deneylerde ürün ya da proseslere ait olan başarı varyasyonlarını en aza indirmek adına kullanılmaktadır [46].

Taguchi, kalite ilkesiyle uygulanmış proses çevrimiçi (Online) ve çevrimdışı (Offline) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu durum Şekil 2.8’de ifade edilmiştir. Online kalite kontrol; tasarımın geliştirilmesi esnasında ve sonrasındaki, kalite icraatlarını kapsamaktadır. Online kalite kontrol uygulamaları için örnek olarak istatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler söylenebilir. Offline kalite kontrol; pazar araştırması çalışmalarıyla ürün ve prosesinin geliştirilmesinde uygulanan kalite uyarlamalarını kapsamaktadır. Bahsi geçen uyarlamalar ürüne doğrudan müdahale değil, üretimin daha başlamasından gerçekleştirilen tasarım çalışmalarını içermektedir [30].



Şekil 2.8: Taguchi'nin kalite sistemi [31]

2.3.1.1 Ortogonal Diziler

En az maliyet ile en yüksek performansı amaçlayan Taguchi, faktöriyel tasarım problemlerinde geniş bir şekilde kullanılan ortogonal dizileri geliştirmiştir.

Ortogonal diziler L harfi ile gösterilmekte olup L'nin yanındaki rakam ise deneyin kaç kez yapılacağını göstermektedir. Ortogonal dizilerde parametrelerin değerleri teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değişmektedir. Ortogonal dizinlerde oluşturulduktan sonra performans değerlerini analiz etmek için Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ve Varyans analizi (ANOVA) hesaba katılmaktadır [11].

2.3.1.2 Sinyal/Gürültü Oranı

Taguchi yöntemiyle saptanan deney sonuçları Sinyal/Gürültü kısaca S/N (Signal/Noise) oranına dönüştürülerek değerlendirilmektedir. Sinyal değeri ölçülmek

istenen gerçek değeri verirken, sonucu etkileyebilecek ve dış faktörler olarak adlandırılan gürültü faktörleri ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörleri belirtir [40]. Bir başka değişle S/N oranı kontrol edilebilen değerlerin kontrol edilemeyen değerlere olan oranı olarak ifade edilebilir. Taguchi uygulamalarındaki problemleri, ulaşmak istenilenin türüne göre üç gruba ayırmıştır. Her bir grup için farklı bir S/N oranı tanımlanmıştır. Bu üç durumda da hedeflenen, S/N oranının maksimize edilmesidir. Taguchi ifade ettiğine göre, S/N oranının maksimize edilmesi durumunda, sinyali artarken, varyasyon azaltmaktadır [25].

En Düşük En İyi Durum

Bu durumda S/N oranı için y'nin değeri sıfıra eşit olup, kalite değişken değeri ne kadar küçük olursa hedefe o kadar yaklaşmış olur.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.1)$$

En Yüksek En İyi Durum

Kalite değişkeninin büyük olması istenen durumlarda değer artmasına bağlı olarak verimlilik te artacaktır. Bu durum için sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi olup y'nin değeri sonsuzdur.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.2)$$

Nominal En iyi

Bu durumda y için önceden belirlenmiş bir değer verilmiş olup nominal en iyi Denklem 2.3'de belirtildiği gibidir.

$$S/N = 10 \log \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \quad (2.3)$$

Eşitliklerde kullanılan ifadelerde;

y_i : Performans yanıtının i. gözlem değerini

y : Gözlem değerlerin ortalamasını

n : Denemedeki test sayısı

S₂ : Gözlem değerlerinin varyansını belirtmektedir [13].

2.3.1.3 Taguchi Yöntemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Tutar ve ark. [36], TWIP çelik saclarının elektrik direnç punta kaynağıyla puntalanmasında Taguchi yöntemi vasıtasıyla punta parametrelerinin optimizasyon uygulaması yapılmıştır. Punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot baskı kuvveti olarak belirlenen kaynak parametrelerinin değerleri, L₉ Taguchi ortogonal dizine göre belirlenmiştir. Puntalanmış örneklerin maksimum kopma yüküne göre optimum kaynak parametreleri kestirilmiştir. Farklı farklı parametrenin kopma olayındaki yük üzerinde etkili olan (S/N) oranı ve ANOVA ile belirlenmiştir. En uygun punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot kuvveti sırasıyla 12 kA, 300 ms and 3000 N olarak saptanmıştır. ANOVA sonuçları, kopma yükü üzerindeki en büyük orana %78.73 ile punta akımının sahip olduğunu göstermiştir. Bu durumu ardı ardına elektrot baskı süresi ve elektrot baskı kuvveti izlemiştir. Elektrik direnç punta kaynağı ile ayrı ayrı puntalanmış numunelerin kopma yükleri punta akımı ve elektrot baskı kuvveti ile birlikte yükselmiştir fakat, uzun punta sürelerinde nispeten düşük kopma yükleri gözlenmiştir.

Kekik ve ark. [23] yaptıkları çalışmada (2021), optimum sertlik değerleri ile kaynak proses parametrelerini belirlemek için Taguchi yönteminin kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar irdelendiğinde, direnç punta kaynağı işleminde kaynak performansını artırmak ve kaynak parametrelerini optimize etmek için kullanılan Taguchi yönteminin geçerliliğini doğrulamıştır. Bu çalışmada, 1200M ve DP800HF AHSS sacların elektrik direnç kaynağında kullanılan kaynak akımı, kaynak zamanı ve kaynak çene baskı kuvvetlerinin nokta çekirdeği (kaynak dikişi) sertliği üzerine etkisi incelenmiş, Taguchi yöntemiyle kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Optimizasyon uygulamasında L₁₈ ortagonal serisi kullanılmıştır. Bu seri ile birlikte optimizasyon sonuçlarının kontrol edilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oranı belirleyici bir unsur olmuştur. Deneysel çalışmalar ve optimizasyon işlemi sonuçları incelendiğinde gerçek değerler ve Taguchi optimizasyonu ile yapılan analizden elde edilen sertlik sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. En iyi kaynak dikişi sertlik değerine, 6 kN elektrot kuvveti, 8 kA kaynak akımı ve 5 çevrim kaynak

zamanında olduğu görülmüştür. ANOVA sonuçlarına göre, sertlik değeri üzerindeki en etkili parametrenin %% 62.46 oranla elektrot kuvveti olduğu tespit edilmiştir. Optimum parametreler ile uygulanan elektrik direnç nokta kaynağı sonrasında kaynak çekirdeği sertlik değeri, tahmin edilen 481.82 HV_{0.2} ve deneysel çalışma sonucu ve 481,42 HV_{0.2} olarak bulunmuştur.

Muthu [27] yaptığı çalışmada, nihai gerilmeyi bulmak için kaynak akımı, elektrot çapı ve ısıtma süresi gibi proses parametreleri optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada 1.6 mm kalınlığında paslanmaz çelik 316L malzeme kullanılmıştır. Taguchi yöntemi ile parametreler L27 ortogonal dizi kullanılarak deneyler yapılmış ve optimum proses parametreleri deneyleri bulunmuştur. Optimumu deney kombinasyonlarını bulmak için sinyal-gürültü oranını (S/N oranı) kullanılmış, en etkili parametrenin kararı ise ANOVA testi ile verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, elektrot çapının yüzde katkısı %66.09 ile en etkili parametre olduğu bulunmuştur. Bunu sırasıyla kaynak akımı %25.08 ve ısıtma süresi %2.29 takip etmiştir. Ayrıca elektrot çapının çekme mukavemeti üzerinde etkili olduğunu sonucuna varılmıştır.

Ghazali ve ark. [15], direnç nokta kaynağının parametrelerinin çok yanıtı kaynak kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiş, çekme mukavemeti ve kaynak çekirdek çapına karşı optimize etmeye çalışılmıştır. Araştırma için 1.2 mm kalınlığında düşük karbon çelik malzeme kullanılmıştır. Bu çalışmada Taguchi yöntemi ile çekme mukavemeti için “En büyük-En iyi”, kaynak çekirdek çapı için “Nominal daha iyi” olarak belirlenmiştir. Daha sonra kaynak parametrelerinin etkilerinin tespiti için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Sac kalınlığı (1.2 + 1.2) mm numune için optimum parametreler seviye 3'te (10kA) kaynak akımı, seviye 1'de (2.3kN) elektrot kuvveti ve seviye 1 (10 döngü) olarak bulunmuştur. Kesme mukavemeti ve kaynak çekirdek çapı üzerinde elektrot kuvveti en etkili parametre iken, kaynak süresi en az etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

2.3.2 Gri İlişkisel Analiz(GIA)

1980'lerde Julong Deng tarafından belirsizliğin sayısallaştırılması amaçlanarak geliştirilen Gri Sistem Teorisi bilim literatürüne ve birçok disiplinde uygulama alanı bulabilen matematiksel bir metottur. Gri ilişkisel analiz yönteminde yetersiz, eksik ya da kesinlik ihtiva etmeyen veri içeren veri grubundan derecelendirme, sınıflandırma ve karar verme tekniği olarak anlamlı sonuçlar verdiği ispatlanmış bir

yöntemdir. Tanımlanan yöntem sayesinde ilişkilendirme analizi yapılır ve model kurulur. Bu sayede sistem davranışları ortaya çıkarılır [44]. GİA'nın karmaşık formüller ve hesaplamalara ihtiyaç duyulmaksızın birçok farklı alandaki probleme kolaylıkla uyarlanabilmesi GİA yöntemini öne çıkaran önemli bir husustur.

Gri ilişkisel analizde kullanılan genel prosedür aşağıdaki gibidir.

- 1. Adım: n uzunluğunda olan referans seri Denklem 2.3'deki gibi verilsin.

$$X_0=(x_0(1),x_0(2),x_0(3),\dots,x_0(n)) \quad (2.3)$$

- 2. Adım: Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü göz önünde bulundurulduğunda verilerin aynı birime dönüştürülme işlemidir. Kısaca verilerin normalize edilmesi işlemi bu adımda uygulanır. Ek olarak serinin çok geniş aralıklarda olduğu durumlarda standartlaştırma yani oldukça faydalı olacaktır. GİA için bu normalleştirme adımı “ Gri İlişkisel Oluşum “ olarak isimlendirilir. Verilerin normalizasyonunda oldukça fazla kullanılan yöntemlerden biri lineer veri ön işleme metodudur. Normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken en önemli husus “ En Yüksek-En İyi”, “En düşük-En iyi” ve “Nominal-En iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini taşıdığına karar vermektir. Aşağıda **En Yüksek-En İyi** durumundaki normalizasyon formülü gösterilmiştir [27].

$$x_i(k)=\frac{x_i^o(k)-\min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k)-\min x_i^o(k)} \quad (2.4)$$

$x_i^o(k)$: i serisi k. sıradaki orjinal değer,

$x_i(k)$: normalizasyon sonrası i. seri k.sıradaki değer,

$\min x_i^o(k)$: i i serisindeki minimum değer,

$\max x_i^o(k)$: i serisindeki maksimum değeri ifade etmektedir.

- Aşağıda **En düşük-En iyi** için eşitlik verilmiştir:

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

- **Nominal-En iyi** için eşitlik ise aşağıdaki gibidir:

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^o(k) - x^o|}{\max x_i^o(k) - x^o} \quad (2.6)$$

Buradaki x^o ulaşılmak istenen değeri ifade etmektedir.

- 3. Adım: x^o serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Denklem 2.7’de tanımlanmış olsun.

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2.7)$$

- 4. Adım: k, n uzunluğundaki seride k. sırayı gösterebilir. O halde $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$ k. noktada ki gri ilişkiler katsayı olup Eşitlik 2.8, 2.9, 2.10, 2.11’e göre hesaplanmaktadır.

$$\xi(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (2.8)$$

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (2.9)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.10)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2.11)$$

ξ (0,1) arasındaki katsayıdır. $j=1, 2, \dots, m$; $k=1, 2, \dots, n$. ξ işlevi, Δ_{oi} ile $\Delta_{\max}$ arasındaki farkı ayarlanır. Literatürdeki mevcut araştırmalar incelendiğinde $\xi = 0.5$ yaygın olarak kullanılmaktadır [21].

- 5. Adım: Gri ilişkiler derece çıktıların performansa etkileri eşit derecede ise Denklem 2.13 ile hesaplanır:

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

Eğer; performansa etkileri farklı derecede (ağırlıklarda) ise hesaplamada bu ağırlıklar da dikkate alınmalıdır. Ağırlıklı Gri İlişki Derece hesaplaması için Eşitlik 2.14 kullanılır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n W_k \varepsilon(x_0(k), |x_i(k)) \quad \sum_1^n W_k = 1 \quad (2.14)$$

$\gamma(x_0, x_i)$ değeri, bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Gri ilişkiler derecesinin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesi olduğunu belirtir. Karşılaştırılan seriler birbirinin aynı ise gri ilişkiler derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkiler derece ifadesi, karşılaştırılan serilerin referans seriye ne kadar benzediğini gösterir.

- 6. Adım: Deney faktörlerinin yeni seviyelerinin belirlenmesi
- 7. Adım: ANOVA testinin yapılması. ANOVA testi yapılır. F değeri en yüksek olan faktör proses performansına etkisi en yüksek olan faktör olarak tespit edilir. Birçok çalışmada ANOVA tablolarında Contribution(Katkı) değerleri de eklenmiştir [27].

2.3.2.1 Gri İlişkisel Analiz(GİA) İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Rasu ve ark. [38] 2016 yılında, “Elektrik Direnç Kaynağında GİA Kullanarak Optimizasyon” isimli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, Taguchi tabanlı L27 (33) ortogonal dizi deney tasarımı için seçilmiştir. Belirlenen faktörler; kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak süresidir. Optimal proses için önemli parametreleri ve seviyelerini belirlemek için gri ilişkisel analiz (GİA) yöntemi kullanılmıştır.. Kaynaklanacak numuneler için paslanmaz çelik 304 kullanılmıştır. Punta kaynak kalitesini iyileştirmek için çok amaçlı proses parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hangi parametrenin en etkili olduğunu tespit etmek için ANOVA kullanılmıştır. Bu sonuçlara göre, maksimum çekme mukavemeti ve çap için optimize edilmiş parametreler; kaynak akımı 7 kA, Elektrot kuvveti 0,588 kN Kaynak zaman 55 cycle olarak bulunmuştur. Uygulanan ANOVA testi sonucunda , kaynak akımının en önemli parametre olduğu bulunmuştur.

Wahid ve ark. [46] yaptıkları çalışmada, Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz (GİA) yöntemi ile çoklu performans özelliklerinin iyileştirilmesi için JSC 590RN çelik malzemenin robot punta kaynağında proses parametrelerinin optimizasyon sonuçları sunulmuştur. Elektrot çapı (13mm ve 16mm), elektrot kuvveti (2650N - 2850N), kaynak akımı (9700 A-9900 A) ve kaynak süresi (10 çevrim - 14 çevrim) olmak üzere dört ana giriş proses parametresi alınmıştır. Taguchi L18 ortogonal

dizilimine göre elektrot çapının iki değeri alınarak 18 deney gerçekleştirilmiştir. Çoklu performans özelliklerinde iyileştirme için GİA, ardından verileri incelemek için Taguchi yanıt tablosu ve varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Yapılan ANOVA'nın sonucunda kaynak akımının (%38.98) nokta kaynağının en temel parametre olduğu anlaşılmıştır. Bu, kaynak akımının diğer proses parametrelerine göre daha önemli bir parametre olduğunu gösterir. Genetik algoritma (GA), bulanık mantık ve birçok doğadan esinlenilmiş algoritmalar da gelecekte optimizasyon için kullanılabileceği gelecekteki çalışmalar için önerilmiştir.

Chen ve ark. [8], yaptıkları deneysel araştırmada, 0,05 mm kalınlıktaki Ti-1Al-1Mn malzemeler, küçük ölçekli direnç nokta kaynağı ile kaynaklanmıştır. Taguchi L27 ortogonalini temel alan deney tasarımı ile kaynak parametrelerinin etkilerini, önemlerini ve optimal kombinasyonunu incelemek için bu yöntem uygulanmıştır. Taguchi tabanlı GRA çalışmasında optimum kaynak akımı 800 A, 3 kN elektrot kuvveti, 8 ms kaynak süresi olarak bulunmuştur. Gri ilişkisel derece için; kaynak akımı baskın faktör olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak süresi gri ilişkisel kalite için neredeyse önemsizdir. Yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre kaynak akımının seçenekler arasında en önemli etki olduğunu gösterilmiştir.

Pattanaik ve ark. [29], yaptıkları çalışmada, proses parametrelerinin direnç nokta kaynak verimliliğindeki optimizasyonunu araştırmaktadır. Deneysel çalışma kapsamında L25 Taguchi ortogonal dizi, üç faktörlü deneylerin tasarımı için beş seviye kullanılmıştır. Girdi değişkenleri kaynak parametreleri kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak süresi olup çıktı değişkenleri ise çekme mukavemeti ve kaynak çekirdek çapıdır. Gri ilişkisel analiz ve genetik algoritma bu çalışma için tercih edilmiştir. Optimizasyon sonucunda Taguchi tabanlı GRA için kaynak akımı 1.5 kA, kaynak zamanı 25 cycle ve elektrot kuvveti 4.5 kN olarak bulunmuştur. Çıktı sonuçları ise çekme mukavemeti için 14.13 kN ve kaynak çekirdek çapı 3.68 mm olarak tahmin edilmiştir.

2.3.3 Genetik Algoritmalar

1975 yıllarında genetik algoritmalar, ilk defa Holland tarafından geliştirilmiştir ve yine kendisi tarafından kullanılmıştır. Genetik algoritmaların temeli kısaca açıklanacak olursa, doğadaki evrim/biyoloji sürecinde güçlü/iyi olan nesillerin yeni kriterlere uyum sağlamasıyla hayatlarını devam ettirmeleri zayıf/kötü olanların

hayatta kalmamaları üzerine kurulmuş bir algoritmadır [41-35]. Bu algoritmalar çözüm uzayı çok geniş bir aralıkta olan ve kısıtların fazla olduğu problemlerin çözümü için kullanılmaktadır. Çok büyük olan çözüm uzayını arayarak global maksimumu bulması hedeflenmektedir. Çözümü zor, kısıt sayısı fazla olan optimizasyon problemleri genetik algoritmaların ilgi alanına girmektedir [20].

Genetik algoritmalar, çözüm uzayı çok geniş ve kısıtların çok fazla olduğu problemlerin çözümünde kullanılabilir. Çok büyük olan çözüm kümesini arayıp global maksimumu bulması hedeflenmektedir. Çözümü zor, kısıt sayısı fazla optimizasyon problemleri genetik algoritmanın odağıdır. GA kesin çözüm olmasa bile yaklaşık bir çözümü bulabilmektedir [40]. Doğal seçim ve doğal genetik süreçleri taklit edilerek bir arama metodu kullanan algoritma çalışmaktadır. Bir problemin “en olası çözümler kümesine” popülasyon adı verilmektedir. Bu olası çözümler, doğal genetikte de olduğu gibi çaprazlamaya ve mutasyona uğrayarak yeni bireyler üretir ve bahsi geçen süreç farklı nesiller üzerinde yinelenir. Her olası çözüme uygunluk değeri atanır ve uygun olan bireylere çiftleşme şansı verilirken, daha çok "uyum sağlayan" bireylerin seçilimine daha yüksek bir şans verilir. Bu şekilde nesiller boyunca "gelişen" daha iyi bireyler veya çözümlerin oluşturulmasına durma kriteri sağlanana kadar devam eder [22].

2.3.3.1 Genetik Algoritmalar Avantaj ve Dezavantajları

Araştırmacılar arasında genetik algoritmaların popüler olmasını sağlayan bazı avantajları mevcuttur. Bunların bazıları;

- Geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve daha etkili olması,
- Paralel arama yeteneklerinin çok iyi olması,
- Birden çok amaç fonksiyonunu optimize edebilmesi
- Tek bir çözüm değil, ‘*iyi*’ çözümlerin bir listesini sağlaması sayılabilir.

Bunlara rağmen bazı işlemsel sınırlar vardır.Bunlar;

- Rassal olmasından ötürü, çözümün üstünlüğü veya kalitesi üzerinde hiçbir garanti bulunmamaktadır [7].

- Elde edilen çözüm her zaman optimum olmayabilir ancak muhakkak optimum sonuca yaklaşmaktadır [15].

Genetik algoritmaların kullanım alanlarına aşağıdaki gibi örnek verilebilir:

- Optimizasyon Problemleri
- Finans
- Pazarlama
- Çizelgeleme
- Montaj Hattı Dengeleme
- Tesis Yerleşim Problemi
- Gezgin Satıcı Problemi [10].

2.3.3.2 Genetik Algoritma Çalışma Prensibi ve İşleyişi

Genetik algoritmanın çalışma prensibi aşağıdaki gibidir:

1. Değişkenler tanımlanıp, genetik algoritma parametreleri belirlenir.
2. Daha sonra her bir küme olası bir çözüm kümesi olan kromozomlardan meydana gelen gelişigüzel n büyüklüğünde bir başlangıç popülasyonu meydana getirilir. Araştırmalarında kullanılan genetik algoritmaların başlangıç popülasyonunu oluşturmak için genellikle rastgele sayı üreticisi tercih edilir. Problemin olası çözüme ulaşması için geçen sürede popülasyon büyüklüğü önemli parametrelerden biridir. Çok sayıda kromozomdan meydana gelen popülasyon sayılarında çözme zamanının uzamasına neden olup, az sayıda popülasyon ise çözüme ulaştıracak değerlerin bulunmasını engelleyebilir. Popülasyon büyüklüğünün kullanıcılar tarafından manuel belirlenmesi problemlerin türüne göre ve literatürdeki daha önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekmektedir [8].
3. Genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonunda veya daha sonraki nesillerde oluşturulan tüm dizilerin, uygunluk fonksiyonu değeri ile alakalı bir uygunluk değeri mevcuttur. Böylelikle kromozomların ne kadar iyi olduğu bilgisine ulaşılır. Uygunluk değerinin yüksek olması, dizilerin hayatta kalma ve çoğalma şansı da fazla olduğunun bir göstergesidir [30].

4. Uygunluk değerlerinin sonuçlarına göre kromozomlar eşlenmektedir. Eşlenme aşaması ile birlikte yeni bireylerin oluşturulması için ebeveyn olacak kromozomlar belirlenir [40].

5. Çaprazlama ile seçilen iki kromozom belirlenir. Bu belirlene kromozomlar arasında belirlenen parçaların yer değiştirir.

6. Mutasyon, bir kromozomdaki gen değerlerinin belirlenen bir mutasyon oranı değeri ile ters çevrilmesi esasına dayanmaktadır [30].

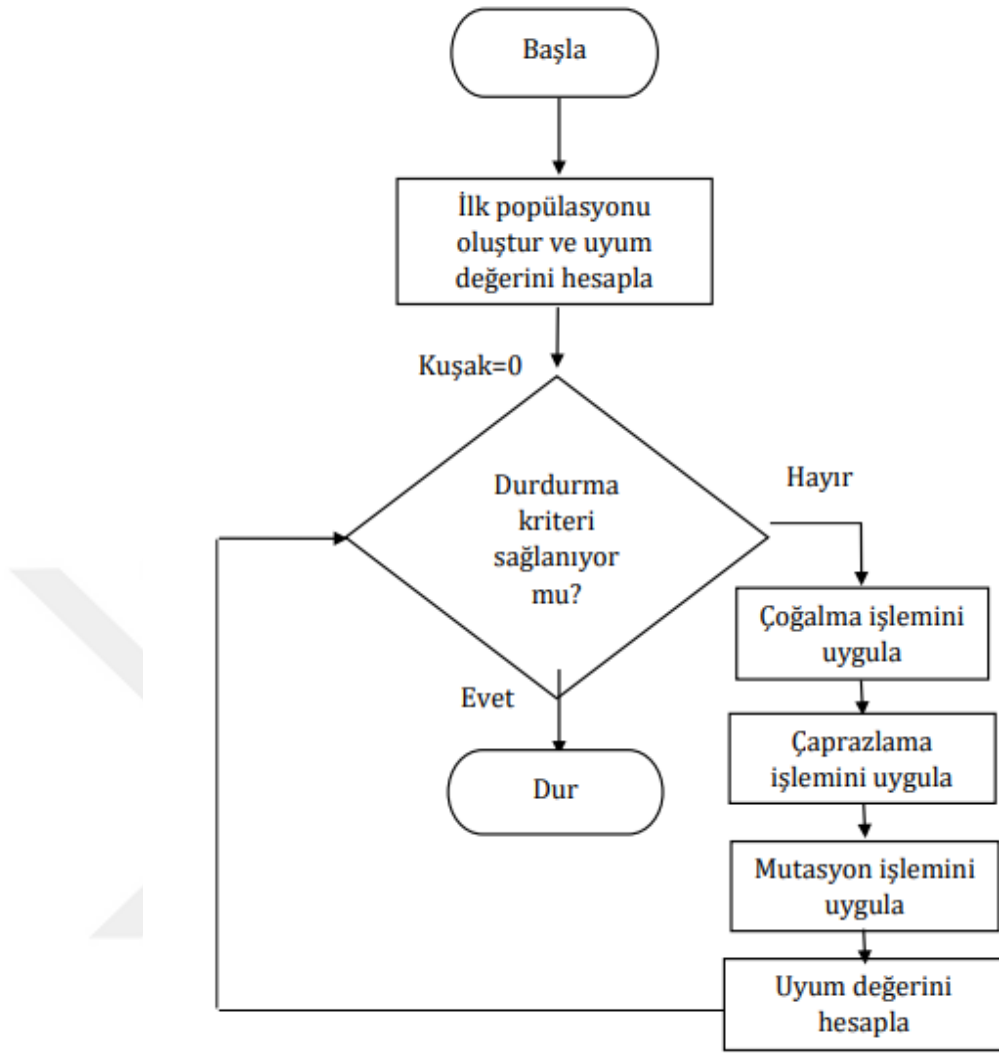
8. Genetik algoritmanın sonlanması için kadar sonlandırma kriterinin belirlenmesi gerekmektedir [32]. Bu kriterlerden bazıları:

- Olası çözüm hedeflenen değere ulaştığında hesaplamaların durdurulması,
- Model dizayn edilirken belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığı anda hesaplamaların sonlanması
- Hesaplama sonucunda belirlenen değerde sonuçlar değişmiyorsa yani bir sabitlik var ise işleme daha fazla devam etmeye gerek yoktur. Bu nedenle de hesaplama sonlandırılabilir [40].

9. Genellikle her bir uygulama işleminin sonunda probleme oldukça yakın bir olası çözüm olan en az bir kromozom bulunmaktadır. Genetik algoritmanın çalışması sonucunda sonuç gösterilen değer elde edilmiş en iyi kromozom optimizasyon sonucu olarak alınır [30].

Neredeyse bütün genetik algoritmalar aşağıdaki parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Optimizasyon probleminin çözümü için bir uygunluk(amaç) fonksiyonu
- Popülasyon bilgisi
- Yeniden üretilen kromozomların seçilmesi
- Çaprazlama
- Mutasyon oranı [9].



Şekil 2.9: GA akış diyagramı [33]

2.3.3.3 Genetik Algoritmanın Temel Kavramları

Bu kısımda genetik algorithmada kullanılan temel kavramlar açıklanacaktır.

Gen: Doğal biyolojik süreçte anlamlı genetik bilgi içeren en küçük yapı taşı gen olarak ifade edilmektedir. GA’da oluşturulan gen dizileri kromozom olarak adlandırılır ve bu diziler her bir elemanın özelliğini temsil etmektedir [33]. Gen dizileri bir problem için tam çözüm olmasada olası çözümleri taşıyabilmektedir [22].

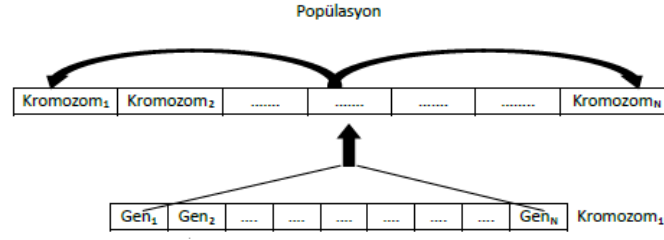
Allel: Bir genin alabileceği değerler serisi allel olarak ifade edilmektedir. Genetik algoritmalar ise allel nitelik değeri anlamı taşımaktadır. Örneğin saç renginin bir gende gösteriminde bu genin allelleri kırmızı, siyah, sarı ve kahverengi şeklinde ifade edilebilmektedir [33].

Kromozom: Doğada genlerin oluşturduğu yapıya kromozom denilmektedir. Kromozom, genetik algoritmanın çözmek istediği problemin olası çözümlerini beyan eden değeri veya değerleri göstermektedir. Kromozom, bir dizi değer seti sunan gen dizilerinden meydana gelmektedir. Her bir kromozom ele alınan problem için olası bir çözüm bilgisini ifade eder. İlk olarak kromozomlar çözüm ile bir başlangıç topluluğunu meydana getirmektedir. Çaprazlama ve mutasyon aşamaları oluşturulan bu başlangıç topluluğu içerisinde meydana getirilmektedir. Daha sonra ise evrim gerçekleşirken yeni kromozomlar oluşur. Evrim sonucu oluşan bu yeni kromozomlar ebeveynlerinden daha iyi olabilir veya olmayabilir [2].

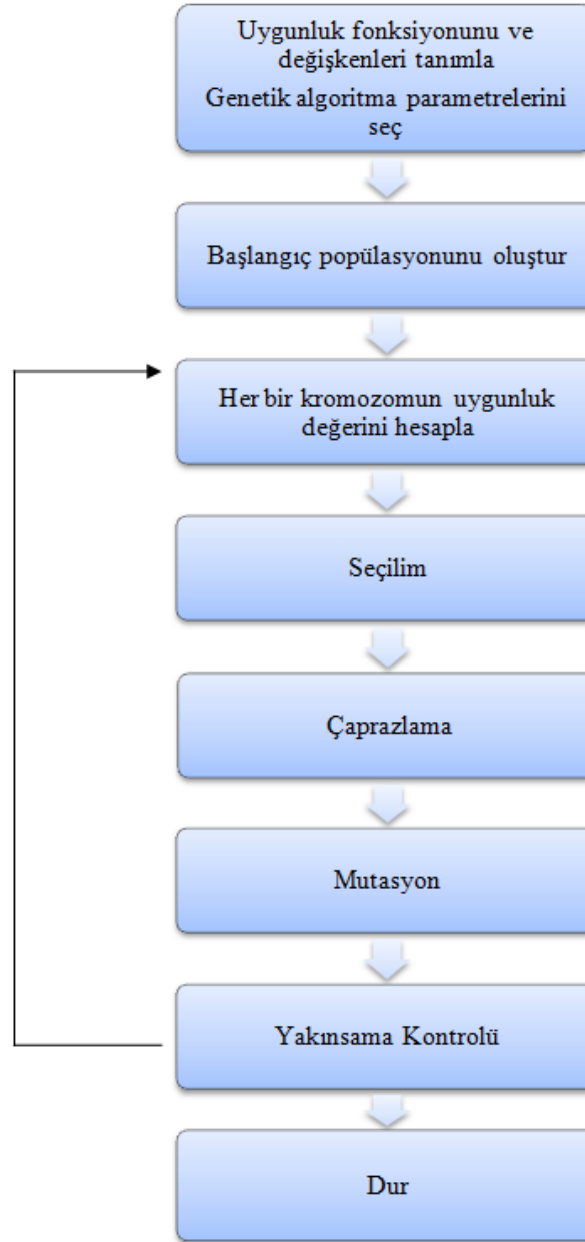
Lokus: Doğadaki biyolojik süreçte bir kromozom üstündeki herhangi bir genin lokasyonu lokus olarak tanımlanabilir. GA'da ise bu tanım bir genin kromozom üstündeki konumu ifade etmektedir [33].

Popülasyon: Genetik algoritmalarda oldukça önemli bir konu olan unsurlardan biri de popülasyon kavramıdır. Kısaca alternatif çözümler kümesidir. Konvansiyonel metotlardan değişik olarak genetik algoritmalar olası temsili çözümlerden oluşan bir topluluğu kullanır. Çoğunlukla topluluk büyüklüğü araştırmacı tarafından manuel girilen bir parametredir. Popülasyon algoritmadaki performansını etkilemektedir [40]. Popülasyonun genetik algoritma için tanımı, kromozomların bir araya gelerek oluşturdukları yapıdır. Ele alınan problemde genetik algoritmanın ile uygulanması esnasında popülasyon uzayındaki birtakım kromozomlar yaşamını yitirir ve yeni kromozomların yaratılır. Böylelikle popülasyon büyüklüğü korunmuş olur [8].

Popülasyon büyüklüğünün ne olacağına karar vermek araştırmacılar açısından oldukça önemli bir konudur. Popülasyon büyüklüğü genetik algoritmanın performansı ve olası en iyi çözüme varış zamanını belirlemektedir. Eğer popülasyon küçük bir değer olarak belirlenirse, genetik algoritma kısıtlı bir çözüm kümesine uygulanacağı anlamı taşır. Böylelikle olası çözümünün arama kümesi dışında kalması ihtimali artmaktadır. Topluluk büyüklüğünün gereğinden fazla seçilmesi durumunda, GA'nın mantıklı sonuçlara daha geç varmasına ve çalışma süresinin uzamasına neden olur. Büyük belirlenen nüfus seçiminde çözüm kümesi daha iyi örneklenebileceğinden mütevellit etkin bir arama yapılabilir [40].



Şekil 2.10: Gen, kromozom ve popülasyonun yapısı [8]



Şekil 2.11: Genetik algoritma akış diyagramı [18]

2.3.3.4 Genetik Algoritmada Sonlandırma Koşulu

GA sürecinde bitirilme durumuna ilişkin kesin bir kanı bulunmamaktadır. Bu algoritma bir arama algoritmasıdır. Bunun için her zaman en iyiyi bulacağını teminatı yoktur. Bu nedenle en iyiye varıldığı düşünüldüğünde algoritmanın sonlanmasını sağlayacak bir şartının belirlenmesi gereklidir. Aksi durumda GA sürekli çalışacaktır. Bu algoritmalarda sonlanma ile ilgili kesin bir kanı olmamakla beraber, yapılan çalışmalar neticesinde genellikle aşağıdaki durumlar tercih edilir:

1. Doğru cevabın bulunması durumu: Belirlenen olası en iyi kromozomun bilinen olası çözüme varması, sonlandırma işlemi için ideal bir seçenek olarak düşünülebilir.
2. Belli bir iterasyon sayısının belirlenmesi: Algoritma büyük bir iterasyon sayısı ile sınırlandırılabilir. Sınırlama işlemi yapılmaz ise algoritma sonsuza kadar devam eder.
3. Mevcut halde herhangi bir gelişme sağlanmamışsa: Eğer genetik algoritmada X sayıda yineleme işlemi için hep aynı optimum kromozom ile işlem devam ediyor ise algoritma durdurulabilir. Algoritmada iyi bir cevap bulunmuş olabilmektedir.
4. İstatistiksel koşul: Topluluğun ortalaması veya standart sapması belli bir değere vardığında algoritmanın sonlanması istenebilir. Bu işlemin anlamı ise, değerlerin daha fazla değişkenlik göstermemesidir [26].

2.3.3.5 Genetik Algoritmada Performansı Etkileyen Durumlar

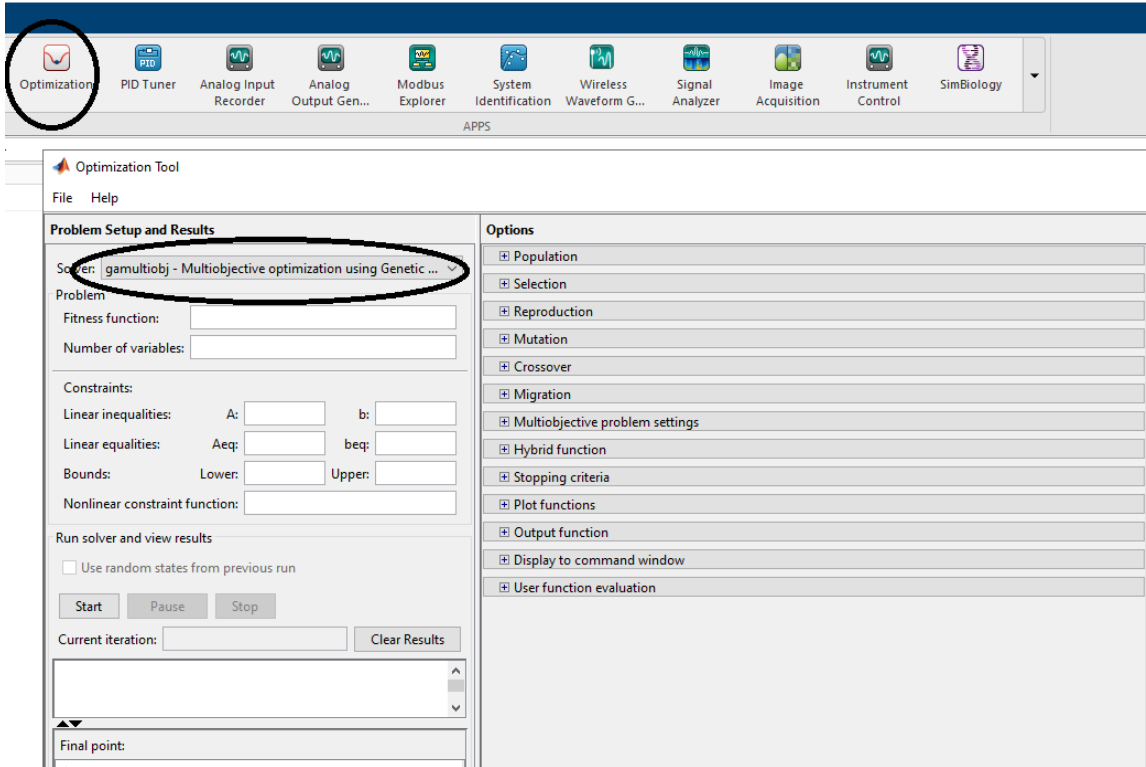
GA'nın hangi uygulamalarda daha iyi neticeler bulacağı hususunda kesin bir kanı ortaya koymak mümkün değildir. Bunun nedeni genetik algoritmanın arama yapması ve sezgisel bir algoritması olmasından ileri gelmektedir. Bu nedenle genetik algoritmanın performansının yeterli olup olmama durumunun kararı, daha önce deneyimlenen çalışmalar ve tecrübeler göz önüne alınarak tespit edilmesi gerekir. Aşağıda algoritmanın başarısını etkilediği düşünülen bazı parametreler verilmiştir:

- 1) **Popülasyon büyüklüğü / Kromozom sayısı:** Kromozomu yükseltmek çalışma zamanını artırır bir etki gösterirken, azaltmak ise kromozom çeşitliliğini yok olmasını neden olmaktadır.

- 2) **Mutasyon Oranı:** Kromozomlar birbirine benzer olmaya başladığında olası çözüm noktaları istenilen değerin hala uzağında bulunuyor ise mutasyon işlemi algoritmanın sıkıştığı aralıktan kurtulabilmesi için tek yoldur. Yüksek mutasyon oranı da algoritmanın kararlı bir noktaya varmasına mani olacaktır.
- 3) **Kaç Noktalı Çaprazlama Yapılacağı:** Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmektedir. Bazı araştırmalar da ise birtakım problemler tipleri için çok noktalı çaprazlamanın oldukça faydalı olduğu gösterilmiştir.
- 4) **İzin verilen maksimum nesil sayısı** [33].

2.3.3.6 Matlab Optimizasyon Arayüzü

MATLAB optimizasyon arayüzü genetik algoritma kullanmak için kullanıcılara bir arayüz sunmuştur. Bu arayüz ile komut sistemini kullanmadan var olan problemi çözülmesine fırsat vermekte ve kolaylık sağlanmaktadır. Bu çalışmada MATLAB Optimizasyon Arayüzü > Genetik Algoritma arayüzü kullanılmıştır. Options kısmında optimizasyonun başarısını önemli ölçüde etkilen parametreler girilerek algoritma çalıştırılır. Şekil 2.12’de MATLAB optimizasyon arayüzüne ait görünüm verilmiştir.



Şekil 2.12: Matlab optimizasyon arayüzü

2.3.3.7 Genetik Algoritma İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Wang ve ark. [47], 2015 yılında yaptıkları çalışmada, TC2 titanyum alaşımının küçük ölçekli dirençli nokta kaynağında kaynak kalitesi özelliklerinin tahmini ve optimizasyonu araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, Gri ilişkisel analiz, sinir ağı ve genetik algoritma ayrı ayrı uygulanmıştır. 0.4 mm TC2 titanyum alaşımı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Taguchi L16 deney düzenine göre punta parametreleri elektrot kuvveti, punta akımı ve elektrot baskı süresi 4 seviyede belirlenmiştir. Optimum kaynak parametrelerinin kaba bir tahmini için gri ilişkisel analiz yapılmıştır. GİA sonucunda elektrot kuvveti 125 N, akım 2.2 kA, zaman ise 10 ms olarak tespit edilmiştir. Daha sonra BPNN bazlı genetik algoritma ile optimum kaynak parametreleri bulunmuştur. GA sonuçlarına göre Elektrot Kuvveti: 145 N, Akım 1.7 kA, Zaman ise 14 ms olarak tespit edilmiştir. Öngörülen yanıtlar, doğrulama deneyleriyle iyi bir uyum gösterdiği görülmektedir.

Panchakshari ve arkadaşları 2013 yılında “Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Genetik Algoritma ile Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu” isimli konuda çalışmışlardır. Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı parametreleri olan, elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı belirlenmiştir. Kaynak parametrelerinin optimize etmek için genetik algoritma yöntemine odaklanmıştır. Malzeme olarak düşük karbonlu soğuk haddelenmiş EDD sınıfı 2.0 mm kalınlığında malzeme kullanılmıştır. GA metodolojisi ile, kaynap çapının maksimum değerini elde etmek için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, giriş parametrelerinin kaynap çapını önemli ölçüde etkilediğini görülmüştür.

Kemda ve ark. [22], yaptıkları araştırma neticesinde, direnç nokta kaynağında (RSW) proses parametrelerinin optimizasyonu yoluyla üretim sürelerini ve enerjileri en aza indirmek için verimli bir yöntem sunmaktadır. Bu çalışmada ASTM A36 çelik ve A653 sıcak daldırma galvanizli çelik olmak üzere iki kalite çelik kullanılmıştır. Kaynakların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme-kesme testleri yapılmıştır. Varyans analizi, kaynak akımının en önemli parametre olduğunu ve kaynağın mekanik mukavemetine yaklaşık %70 oranında katkıda bulunduğunu göstermiştir. Genetik algoritma aracılığıyla süreç parametrelerinin çok amaçlı bir optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon, sırasıyla %10,58, %13,59 ve %32,61'lik akım, elektrot presleme kuvveti ve kaynak süresinde azalma ile sonuçlandı. Optimize

edilmiş parametrelerin kullanılması, yalnızca kaynak enerjisinde bir azalmaya değil, aynı zamanda elektrot kaynak makinelerinin genel hizmet ömrünün artmasına da imkan vermektedir.

Cao ve ark.[6], direnç nokta kaynağını Al-Si kaplı bor çelik malzemeye uygulanmış ve optimizasyon çalışmaları yapılmışlardır. Çalışmada yanıt yüzey metodu ve genetik algoritma birlikte kullanılmıştır. Kaynak akımı çekme mukavemetini etkileyen parametredir. Daha büyük çekme mukavemeti daha büyük kaynak çekirdek çapını vereceği yorumlanmıştır. GA' da optimum kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot kuvvetine parametrelerine karşı çekme mukavemet değeri tahmin edilmiştir. GA tarafından önerilen kombinasyon kaynak zamanı için 26 kA, elektrot kuvveti 7.66 kN ve kaynak zamanı 139.3 ms, tahmin edilen çekme mukavemeti ise 5.8 kN'dir. Numune nispeten kötü bir çekme mukavemetine sahiptir ve aşırı sıçramalar ve yanma nedeniyle anormal kaynak çekirdek çapı gözlenmiştir.

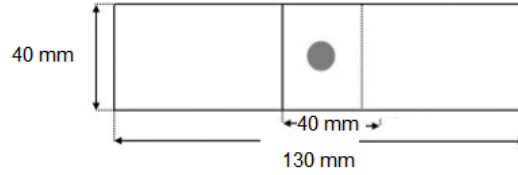
3. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında 1.2 mm kalınlığında DP1180 (SCGA1180DUB-45) sac malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: DP1180 malzemenin kimyasal kompozisyonları (%)

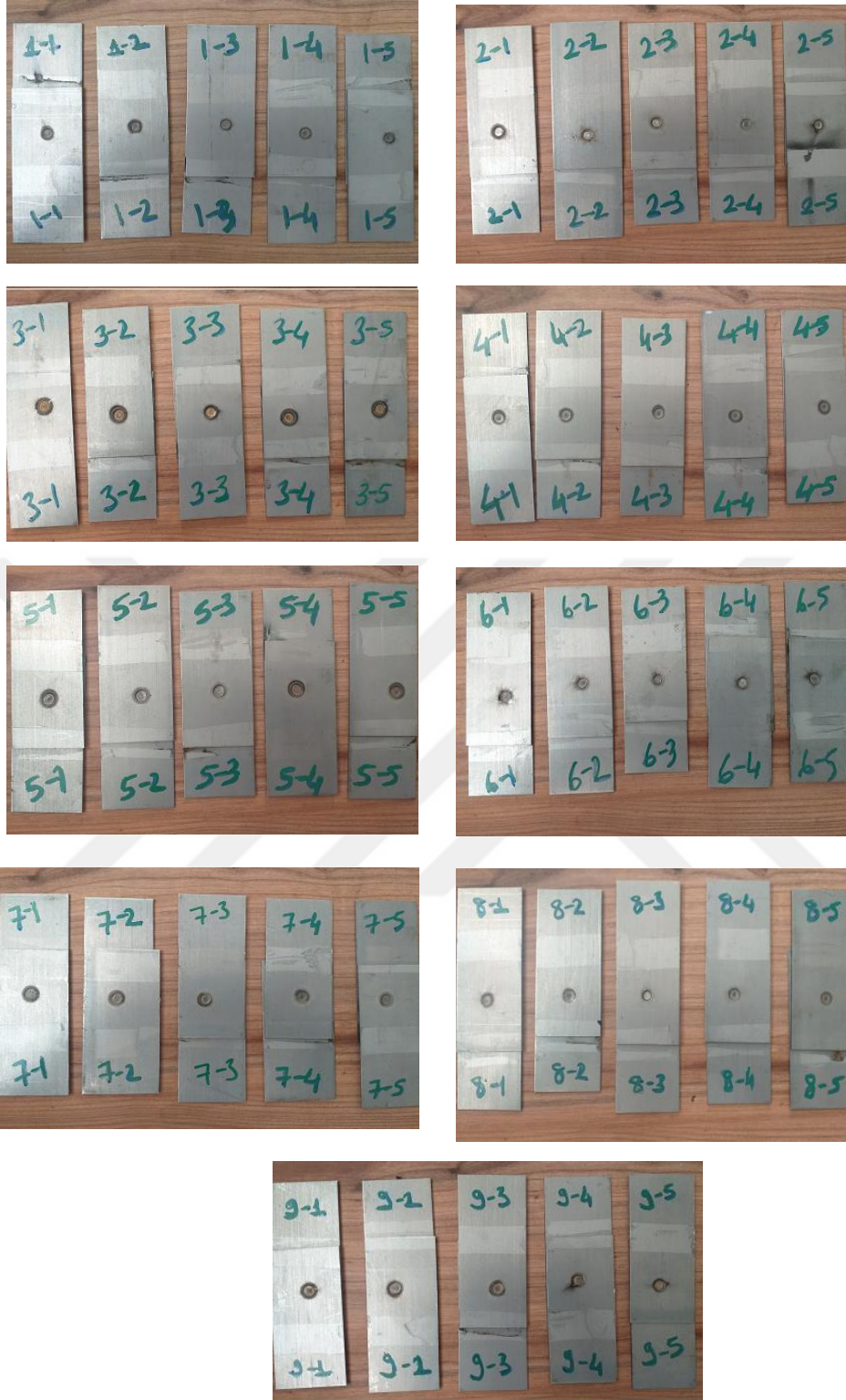
C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo
0.168	2.222	0.015	0.0053	1.421	0.021	0.007	0.036	0.013
Sn	Al	Zr	V	Nb	Ti	B	N	0.007
0.051	0.005	0.012	0.007	0.039	0.0004	0.0086		

Tüm kaynak işlemleri Bursa-UNIROB firmasında yapılmıştır. Çalışma kapsamındaki punta kaynakları 6 eksenli KUKA KRC4 AROGUN robot ile gerçekleştirilmiştir. MFDC kaynak trafosuna sahiptir (75 kva). Çalışma kapsamında çift darbeli akım tercih edilmiştir. Kaynaklı numunelerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için kaynak esnasında kaynak noktalarının numunelerinin hep aynı yerine gelebilmesi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında Şekil 3.1’de gösterilen proses konfigürasyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Oluşturulan deney numune şeması

Punta kaynaktaki en etkin parametreler olarak belirtilen punta akımı, elektrot baskı süresi ve elektrot baskı kuvveti gözlenecek kaynak parametreleri olarak tespit edilmiştir. Numunelerin kaynak prosesi boyunca sabitlenmesinin sağlanması ve kaynak işlemini pratikleştirebilmek için tüm kaynak işlemlerinde kaynaklanacak numunelerin sabitlenmesine özen gösterilmiştir. Kaynak işlemi sonundaki kaynaklı numunelerin görüntüleri Şekil 3.2 ‘de verildiği gibidir.



Şekil 3.2: Oluşturulan kaynak numuneleri

3.1 Deney Tasarımı

Bu çalışma kapsamında üç farklı işlem parametresinin üç farklı seviyesi için L9 ortogonal dizini kullanılmıştır. Yani Taguchi deneysel tasarımı üç sütun ve 9 satırdan oluşmuştur. Her bir parametre içinde ön deneme sonuçlarına bağlı olarak üç seviye belirlenmiştir. Seçilen proses parametreleri ve seviyeleri Çizelge 3.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2 : Taguchi yönteminde kullanılan proses parametreleri ve seviyeleri

Proses Parametreleri	Birimi	Seviye - 1	Seviye - 2	Seviye - 3
Elektrot Kuvveti	N	2000	2500	3000
Kaynak Akımı	A	8000	9000	10000
Kaynak Zamanı	s	0.25	0.5	0.75

Taguchi yöntemindeki temel amaç hedef değerin etrafındaki değişkenlerin azaltılmasıdır. Bu yöntemde belirlenen kriterlerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır (S/N). Buradaki sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri ifade etmektedir. Gürültü faktörü de ölçülen değer içindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder. Çalışma kapsamında maksimum mekanik dayanım minimum batma oranı hedeflenmektedir.

Çizelge 3.3: Çalışmada kullanılacak S/N formülleri

Yanıt Değişkenleri	S/N Grubu	Kullanılacak Formül
Çekme Mukavemeti	En Yüksek- En İyi	$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n}$
Batma Oranı	En Düşük- En İyi	$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}$

3.2 Çekme Testleri

Çalışma kapsamındaki çekme testleri, SHIMADZU AG-IC marka universal çekme-basma test cihazı ile yapılmıştır. Kaynaklı numunelere çekme cihazında oda sıcaklığında 5 mm/dk çene hareket hızı ile çekme işlemleri uygulanmıştır. Her bir parametre için 3 adet çekme örneği test edilmiş ve deney sonuçları olarak ortalamaları alınmıştır. Şekil 3.3’de çekme deney cihazı gösterilmiştir.

Çekme işlemleri sırasında ortaya çıkabilecek eğilme momentlerinden kaçınmak için çekme deneylerinden önce çekilecek kaynaklı parçaların uç kısmına 2 adet 1.2 mm kalınlığındaki ilave parçalar yapıştırılmıştır.



Şekil 3.3: SHIMADZU AG-IC Çekme deney cihazı.

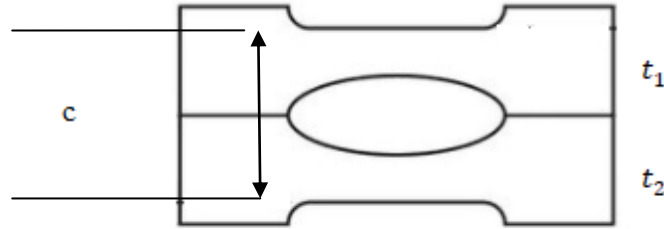
3.3 Batma Oranı Ölçümü

Kaynaklı numunelere ait batma ölçümleri mikrometre kullanılarak elde edilmiştir. Numunelere ait batma oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [44].

$$\text{Batma Oranı(\%)} = \left(1 - \frac{c}{t_1 + t_2}\right) * 100 \quad (3.1)$$

Kaynaklı numunelerden alınan ölçüm “c” değeridir. C değeri batma derinliğini, t_1 ve t_2 sac kalınlığını ifade etmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan sac kalınlığı

1.2 mm'dir. Çalışma kapsamında 3 ölçüm alınmış daha sonra ortalamaları alınmıştır. Şekil 3.4'de batma derinliğine ait şematik görünüm verilmiştir.



Şekil 3.4:Batma derinliği şematik görünümü

3.4 Gri İlişkisel Analiz

Tez kapsamında uygulanan Gri İlişkisel Analizin işlem adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Tez çalışmasında mukavemet ve batma oranı için sırasıyla “EnYüksek – En İyi” ve “En Düşük- En İyi” kriteri dikkate alınmıştır.

2. Adım: Verilerin normalize edilmesi “En Yüksek-En İyi” ve “En Düşük- En İyi” durumunda normalizasyonu yukarıda verilen Denklem 2.5 ve 2.6’a göre serinin elemanları tekrar hesaplanır.

3. Adım: Normalize edilmiş serinin referans serisine olan uzaklık matrisi hesaplanır.

4. Adım: Uzaklık matrisi hesaplanmış serinin Eşitlik 2.9’e göre gri ilişkiler katsayı matrisi elde edilir. Tez kapsamında formülasyonda yer alan ξ değeri 0.5 olarak alınmıştır.

5. Adım: Bu adımda çıktıların performansa olan etkileri (ağırlıkları) belirlenir. Eğer çıktılarından biri daha fazla etki ediyorsa etkili olduğu düşünülen parametrenin ağırlığı diğerine göre daha fazla verilir. Bu ağırlıklandırma kombinasyonları sırasıyla kopma mukavemeti 0,6 ve batma oranı için 0,4 olarak alınmıştır [43].

6. Adım: Gri ilişkiler derecesi Denklem 2.14’teki gibi hesaplanır. Gri ilişkiler derece büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu sıralama sonucunda en büyük gri ilişkiler derecesine sahip deney kombinasyonu, en iyi çoklu performans karakteristiğine sahiptir.

7. Adım: Gri ilişkiler derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenir.

8. Adım: ANOVA testi yapılır. F değeri en yüksek olan faktör proses performansına etkisi en yüksek olan faktör olarak tespit edilir. Katkı (%) faktörlerin prosese olan etkilerinin % olarak ifadesini belirtmektedir. Her bir faktörün katkı yüzdesi ne kadar büyükse o parametrenin çıktı üzerinde o oranda etkili olduğu anlaşılır.

Tez çalışmasında istatistik analizler için Minitab 18 yazılımı kullanılmıştır. Minitab ANOVA analizleri Gri İlişkiler Derecesi değerleri kullanılarak, Gri İlişkiler Analizi için de Gri İlişkiler Derecesi değerleri kullanılarak Excel’de uygulanmıştır.

3.5 Genetik Algoritma İle Optimizasyon

GA, bir çok farklı alanların dışında; arama uzayının geniş olduğu ve bir noktadan başlayarak çözüme gitmenin imkan olmadığı mühendislik hesaplamalarında kullanılmaktadır. Genetik algoritma yöntemi ile yapılan optimizasyon işlemi uygunluk denklemi ve sınırlayıcıların belirlenmesi gerekir. Matematiksel modelinin oluşturulması için Minitab 18 paket programı kullanılmıştır. (Denklem 3.2, ve 3.2). Burada; elektrot kuvveti(E), kaynak akımı(C) ve kaynak zamanı ise (t) ile temsil edilmiştir.

$$\text{Kopma Mukavemeti} = (288 -(0.0121 * E) - (0.0143 * C) - (28.4 * T)) \quad (3.2)$$

$$\text{Batma oranı} = (-15.4 -(0.00533 * E) + (0.00688 * C) + (16.7 * T)) \quad (3.3)$$

Problemin kısıtları aşağıdaki gibidir;

$$2000 \leq E \leq 3000$$

$$8000 \leq C \leq 10000$$

$$0,25 \leq T \leq 0,75$$

Ayrıca problemin çözümü için popülasyon sayısı, çaprazlama tipi, çaprazlama olasılığı, mutasyon oranı gibi değerler önem arz etmektedir.

Popülasyon sayısı, GA kullanıcılarınca, verilmesi gereken kayde değer kriterlerdendir. Eğer popülasyon çok küçük olursa, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilir. Topluluk sayısı çok büyük seçilirse çözüme varış süresi

artmaktadır. Mevcutta yapılan çalışmalar neticesinde, 20–30 arası bir popülasyon değerinin optmizasyon çalışmaları kabul edilir sonuçlar verdiğini belirtilmiştir [29]. Bu çalışmada için popülasyon büyüklüğü 20 olarak belirlemiştir.

Algoritmada yer alan mutasyon oranının gayesi popülasyondaki genetik çeşitliliği muhafaza etmektir. Mutasyon sayesinde oluşan yeni çözümler önceki çözümü kopyalamasını önler. Böylelikle sonuca daha hızlı ulaşacağı öngörülür. Yapılan araştırmalar sonucunda, optimizasyon problemleri için 0.001 ile 0.01 arasında değişen mutasyon oranları önermişlerdir. Bu nedenle bu çalışma için mutasyon orası 0.001 olarak belirlenmiştir [32]. Wang ve arkadaşlarının yaptıkları araştırma dikkate alınarak, Durdurma kriteri 100 olarak belirlenmiştir. aprazlamayla birlikte, iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha iyi kromozomlar oluşturulur. Kromozom çiftleri çaprazlama olasılığı ile çaprazlamaya uğratılmak amacı ile seçilmektedir. Literatürde farklı optimizasyon problemleri için farklı çaprazlama olasılık değerleri görülmektedir. Bu alışmada Wang ve arkadaşlarının yaptıkları araştırma dikkate alınarak, çaprazlama olasılığı 0.8 olarak belirlenmiştir [47].

4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında, 1,2 mm kalınlığında DP 1180 saclar birbirleri arasında eşleştirilerek elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynaklanmışlardır. Kaynak akım şiddeti, elektrot kuvveti ve kaynak zamanı değişken parametreler olarak seçilmiş, maksimum kopma mukavemeti ve minimum batma oranı için uygulanması gereken optimum parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Optimum parametrelerin belirlenmesi için, Gri ilişkisel analiz, Taguchi yöntemi, ANOVA ve Genetik Algoritma ayrı ayrı uygulanmıştır. Optimum kaynak parametrelerinin bir tahmini için gri ilişkisel analiz yapılmıştır. Optimum kaynak parametreleri genetik algoritma ile belirlenmiştir. Çizelge 4.1’de deney parametreleri ve sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.1: Deney parametreleri ve sonuçları

No	Kod	Elektrot Kuvveti (N)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Zamanı (s)	Kopma Mukavemeti (kN)	Batma Oranı (%)
1	111	2000	8000	0,25	18,95	39,9
2	122	2000	9000	0,5	6,16	47,4
3	133	2000	10000	0,75	11,18	48,8
4	212	2500	8000	0,5	12,61	27,1
5	223	2500	9000	0,75	10,28	50,1
6	231	2500	10000	0,25	11,37	40,1
7	313	3000	8000	0,75	12,28	35,6
8	321	3000	9000	0,25	7,67	29,5
9	332	3000	10000	0,5	12,7	55

Bu bölümde Gri ilişkisel analizin çalışmaya uyarlama adımları verilecektir.

1. Adım: En Büyük ve En Küçük Değerlerin Belirlenmesi

Tez çalışmasında Çekme Mukavemet ve Batma Oranı için sırasıyla “EnYüksek – En İyi” ve “ En Düşük – En İyi “ kriteri istenmektedir. En büyük Kopma Mukavemeti 18,95 kN, en küçük Kopma Mukavemeti 6,16 kN’dir. En büyük Batma Oranı % 55, en küçük batma oranı % 27,1’dir.

Çizelge 4.2: Maksimum ve minimum değerler

No	Kod	Elektrot Kuvveti (N)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Zamanı (s)	Kopma Mukavemeti (kN)	Batma Oranı (%)
1	111	2000	8000	0,25	18,95	39,9
2	122	2000	9000	0,5	6,16	47,4
3	133	2000	10000	0,75	11,18	48,8
4	212	2500	8000	0,5	12,61	27,1
5	223	2500	9000	0,75	10,28	50,1
6	231	2500	10000	0,25	11,37	40,1
7	313	3000	8000	0,75	12,28	35,6
8	321	3000	9000	0,25	7,67	29,5
9	332	3000	10000	0,5	12,7	55

2. Adım: Verilerin normalize edilmesi

Çizelge 4.3’de normalizasyon sonuçları verilmiştir. Kopma mukavemeti ve batma oranı Denklem 2.4 ve 2.5’ dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3: Kopma mukavemeti ve batma oranı normalizasyon sonuçları

No	Kod	Kopma Mukavemeti (kN)	Kopma Mukavemeti Normalizasyon Sonucu	Batma Oranı (%)	Batma Oranı Normalizasyon Sonucu
1	111	18,95	1,0000	39,9	0,5412
2	122	6,16	0,0000	47,4	0,2724
3	133	11,18	0,3925	48,8	0,2222
4	212	12,61	0,5043	27,1	1,0000
5	223	10,28	0,3221	50,1	0,1756
6	231	11,37	0,4077	40,1	0,5341
7	313	12,28	0,4785	35,6	0,6953
8	321	7,67	0,1181	29,5	0,9140
9	332	12,7	0,5113	55	0,0000

3. Adım: Normalize edilmiş serinin uzaklık matrisi Denklem 2.7 ile hesaplanmış olup bu sonuçlar Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Kopma mukavemeti ve batma oranı uzaklık matrisi sonuçları

No	Kod	Kopma Mukavemeti (Kn)	Kopma Mukavemeti Uzaklık Matrisi Sonucu	Batma Oranı (%)	Batma Oranı Uzaklık Matrisi Sonucu
1	111	18,95	0,0000	39,9	0,4588
2	122	6,16	1,0000	47,4	0,7276
3	133	11,18	0,6075	48,8	0,7778
4	212	12,61	0,4957	27,1	0,0000
5	223	10,28	0,6779	50,1	0,8244
6	231	11,37	0,5923	40,1	0,4659
7	313	12,28	0,5215	35,6	0,3047
8	321	7,67	0,8819	29,5	0,0860
9	332	12,7	0,4887	55	1,0000

4. Adım: Denklem 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 ile serinin gri ilişkiler katsayı matrisi elde edilir. Hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.5'teki gibidir.

Çizelge 4.5: Gri ilişkiler katsayı matrisi sonuçları

No	Kod	Kopma Mukavemeti(kN)	Kopma Mukavemeti GİA Sonucu	Batma Oranı(%)	Batma Oranı GİA Sonucu
1	111	18,95	1,0000	39,9	0,5215
2	122	6,16	0,3333	47,4	0,4073
3	133	11,18	0,4515	48,8	0,3913
4	212	12,61	0,5022	27,1	1,0000
5	223	10,28	0,4245	50,1	0,3775
6	231	11,37	0,4578	40,1	0,5176
7	313	12,28	0,4895	35,6	0,6214
8	321	7,67	0,3618	29,5	0,8532
9	332	12,7	0,5057	55	0,3333

5. Adım: Bu adımda çıktıların performansa olan ağırlıkları belirlenir. Araştırmacılar, yaptıkları çalışmalar sonucunda, Kopma mukavemetinin batma oranından daha etkili bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında belirlenen bu ağırlıklar kopma mukavemeti için %60, batma oranı için %40 olarak belirlenmiştir [43]. Bu sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Hesaplanan gri ilişkiler dereceleri

No	Kod	Gri İlişkiler Dereceleri
1	111	0,8086
2	122	0,3629
3	133	0,4274
4	212	0,7013
5	223	0,4057
6	231	0,4817
7	313	0,5422
8	321	0,5584
9	332	0,4368

7. Adım: Bu adımda gri ilişkiler derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenmiştir. Çizelge 4.7’de faktörlerin yeni seviyelerin hesap sonuçları gösterilmiştir. Bu kısımda faktörler sütununda, elektrot baskı kuvveti (E), kaynak akımı (C) ve kaynak süresi (T) olarak ifade edilecektir.

Çizelge 4.7: Hesaplanan yeni seviye değerleri

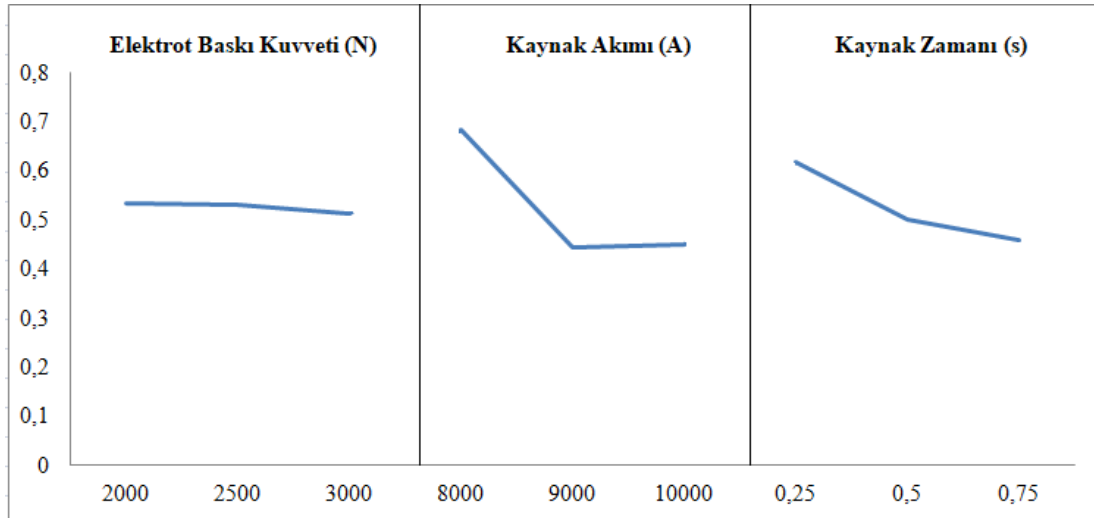
Faktörler	No	Deney No	Yeni Seviye Değerleri
E	1	1,2,3	0,5330
E	2	4,5,6	0,5296
E	3	7,8,9	0,5125
C	4	1,4,7	0,6840
C	5	2,5,8	0,4423
C	6	3,6,9	0,4486
T	7	1,6,8	0,6162
T	8	2,4,9	0,5003
T	9	3,5,7	0,4584

Çizelge 4.8: Faktörlerin yeni hesaplanan seviye sonuçları ve sıralaması

Faktörler	Seviyeler				
	1	2	3	Δ^*	Sıralama
E	0,5330*	0,5296	0,5125	0,0034	3
C	0,6840*	0,4423	0,4486	<u>0,2417</u>	1
T	0,6162*	0,5003	0,4584	0,1578	2

$\Delta^* = \text{Maximum değer} - \text{minimum değer}$

Çizelge 4.8’de ise faktörlerin yeni hesaplanan seviyeleri verilmiştir. Çizelgenin ilk sütunu faktörleri, ilk satırı ise seviyeleri ifade etmektedir. Son sütunda ise maksimum seviye ile minimum seviye arasındaki fark verilmiş buna göre sıralama yapılmıştır.



Şekil 4.1: Ortalamalar için sonuç grafiği

Deneylerin analizinde Minitab programı ve Taguchi fonksiyonu kullanılmıştır. GİA'den elde edilen seviyelere göre hangi parametrenin ne derece etkili olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1'de ortalamalar için sonuç grafiği gösterilmektedir. Daha sonra optimum koşullar için deney sonuçlarının tahmin edilmesi Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemden elde edilen tahmini sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9: Taguchi yöntemi tahmin değerleri

	Elektrot Baskı Kuvveti (N)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Zamanı (s)	Kopma Mukavemeti (kN)	Batma Oranı (%)
Taguchi Metodu Tahmin Değerleri	2000	8000	0,25	16,44	33,06

8. Adım: Bu adımda ANOVA testi yapılır. F değeri ve Katkı (%) değeri en yüksek olan faktör proses performansına etkisi en yüksek olan faktör olarak tespit edilir. Çizelge 4.10'da ANOVA testi sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.10: ANOVA sonuçları

Parametreler	Serbestlik Derecesi	% Katkı	F	P
E	2	0,42	0,04	0,961
C	2	65,98	6,36	0,136
T	2	23,22	2,24	0,309
Error	2	10,38		
Total	8	100,00		

Materyal ve Metot'ta anlatılan GA parametreleri MATLAB yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. Burada, MATLAB > Optimizasyon Arayüzü > Genetik Algoritma adımları sırasıyla seçilerek arayüz kullanılmıştır. Genetik algoritma kullanılarak yapılan optimizasyon sonucu aşağıdaki Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11: GA optimizasyon sonuçları

	Elektrot Baskı Kuvveti (N)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Zamanı (s)	Kopma Mukavemeti (kN)	Batma Oranı (%)
GA Optimizasyon Sonucu	2000	8000	0,25	17,84	34,15

Taguchi metot ve genetik algoritmanın optimum parametreler için tahmin ettikleri değerler ile deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış, hata yüzdeleri ile birlikte Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12: Deneysel sonuçlar, öngörülen değerler ve hata (%)

Deneysel Sonuçlar	Taguchi Yöntemi			Genetik Algoritma		
	Gerçek değer	Tahmini değer	Hata (%)	Gerçek değer	Tahmini değer	Hata (%)
Kopma Mukavemeti (kN)	18,95	16,44	13,2	18,95	17,84	5,6
Batma Oranı (%)	39,9	33,06	17,1	39,9	34,15	14,4

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada DP1180 malzemesi kullanılarak nokta direnç kaynağı uygulanmış, kaynak parametrelerinin kopma mukavemeti ve batma oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma planı Taguchi deney tasarım yönteminde L9 ortogonal dizinine göre seçilmiştir. Deneysel çalışmada elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı parametreleri seçilmiştir. Daha sonra Excel’de GİA kullanılarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. GİA sonucu elde edilen yeni seviye değerleri ile Minitab 18 paket programı kullanılarak optimum değerlere ait grafikler çizdirilmiştir. ANOVA varyans analizi ile istatistiksel olarak en etkili parametre belirlenmiştir. Minitab 18 paket programı kullanılarak optimizasyon problemine ait matematiksel modeli oluşturulmuştur. Ayrıca genetik algoritma yöntemi kullanılarak minimum batma oranı maksimum kopma mukavemeti için en uygun kaynak parametre değerleri belirlenmiştir.

- Taguchi metodundan elde edilen grafikler incelendiğinde, elektrot kuvvetinin kaynak kalitesi için en az etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.1). En etkili parametrenin kaynak akımı olduğu görülmektedir.
- Üstüste konulmuş iki parçayı elektrot baskı kuvvetiyle ne kadar çok basılırsa basılsın güçlü bir birleştirme elde edilemez. akım sayesinde iki parçanın noktadaki ergimesi vasıtasıyla tek bir parça olması sağlanır.
- Isı girdisi $Q=I^2Rt$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Buradaki formülasyonda I = akım, R = toplam direnç ve t = kaynak süresidir. Akım karesiyle, süre ise birincil kuvvetiyle yer almaktadır. Bu yüzden akım ısı girdisine daha fazla etkili olup, kaynak süresi ise ondan sonra gelmektedir. Eğer akım ve süre uzun tutulursa punta noktasında patlamalar ve bozulmalar görülebilir. Güçsüz bir bağlantı gözlenir. Bu nedenle bu iki parametrenin doğru seçilmesi gerekir.
- Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde buradaki hata oranının proses parametreleri içindeki varyasyonlardan kaynaklanmaktadır.
- Proses içindeki varyasyonların sebebi, birleştirilecek metallerin ana sanayide tam olarak yüzeylerinin oturtulması sağlanmaya çalışılıyorken, bu tez

çalışmasında parçaların elle tutulmasından kaynaklı boşluklar oluşmasıdır. Başka bir varyasyon nedeni ise, el ile tutulan parçaların elektrot yüzeylerine tam olarak oturtulamamasından dolayı, elektrotların hem boşluklar ihtiva etmesi ve yüzeylere açılı basmasıdır.

- Çizelge 4.9 incelendiğinde, kaynak parametrelerinin genel etki sıralaması, kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot baskı kuvveti şeklinde olduğu görülmüştür. Kaynak akımı % 65,98 oranı ile en etkili parametredir.
- Yapılan GİA sonucunda kaynak parametrelerinin optimum kombinasyonu, 2000 N elektrot kuvveti, 0,25 s kaynak zamanı ve 8000 A kaynak akımı olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).
- Taguchi yöntemiyle elde edilen optimum parametreler ise elektrot baskı kuvveti için 2000N, elektrot akımı 8000 A ve kaynak zamanı 0,25 s olarak bulunmuştur. İlaveten bu yöntem ile kopma mukavemeti 16,44 kN, batma oranı ise %33,06 olarak tahmin edilmiştir. Bahsi geçen yöntem bu tahminleri kopma mukavemeti için %13,2, batma oranı için ise %17,1 hata oranı ile yapmıştır.
- Çizelge 4.10'da verilen genetik algoritma sonuçlarına göre, kaynak parametrelerinin optimum kombinasyonu, 2000 N elektrot kuvveti, 0,25 s kaynak zamanı ve 8000 A kaynak akımı olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile uyum içindedir. Tahmin edilen deneysel sonuçlar ise kopma mukavemeti için 17,84 kN, batma oranı için %34,15 olduğu görülmüştür. Genetik algoritma bu optimizasyon probleminde çekme mukavemeti için %5,6, batma oranı için %14,4'lük bir hata payıyla tahmin yapmıştır. Bu hata payı kabul edilebilir bir değerdir. Genetik algoritma yöntemi ile tahmin edilen sonuçlar ve Taguchi yöntemiyle bulunan sonuçlar incelendiğinde genetik algoritma daha düşük hata oranı ile tahmin yaptığı görülmüştür.

- Ana sanayide, önceden üretilmiş araçlarda kullanılan sac parçalarına uygulanmış parametreler, yeni bir proje çıktığı zaman benzer materyallerin ve sac kalınlıklarının kullanılmasından dolayı, punta kaynak parametrelerinin seçimi tecrübe odaklı olarak ilerlemektedir. Yeni bir proje çıktığında ise genellikle bir çok parça kaliteli bir parametrenin yakalanması için israf edilmektedir. Kaliteli punta parametresi yakalanana kadar harcanan araç parçalarının azaltılması, uygun parametrenin yakalanması için optimizasyon çalışmaları önem kazanmaktadır.



6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında otomotiv sektöründeki araç gövde imalatında en önemli birleştirme yöntemi olarak kullanılan punta direnç kaynağı incelenmiş ve optimum kaynak parametreleri bu çalışma için belirlenmiştir. Genetik algoritma yöntemi ile elde edilen sonuçlar GİA ve Taguchi yöntemiyle uyum gösterdiği görülmüştür. GA'nın deneysel çalışmalarda güçlü bir araç olabileceği görülmektedir. Genetik algoritmalar, çok sayıda değişken ile çalışabilmekte ve farklı problemlere kolaylıkla modifiye edilebilmektedir. Böylelikle optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmakta ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Ancak bazı kısıtları bulunmaktadır. Sınırlı bir arama işlemi gerçekleştiği için en ideal bir sonuca ulaşmayı garanti etmemektedir. Popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı, çaprazlama oranı, seçim metodu gibi çeşitli parametrelerin kullanıcı tarafından belirlenmesi problem oluşturabilmektedir.

Kaynak parametrelerinin optimizasyonu probleminde GA gibi diğer sezgisel algoritmaların da (Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi vb.) kullanabileceği gelecekteki çalışmalar için önerilmektedir.

İşletmelerde zaman ve maliyet açısından bilimsel metotların kullanılması bir gereklilik haline gelmiştir. Parametre tasarımı esnasında optimizasyon yöntemlerinin uygulanması, yani ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce uygulanması firmalar için büyük bir fayda sağlayacaktır. Böylelikle, işletmeler sistemlerini, zaman ve maliyet kaybı olmaksızın etkin ve verimli bir şekilde kurabilme fırsatı bulabilmektedir.

Çok sayıda kriteri hesaba katarak birçok seçim arasından en iyisini seçme problemi günlük hayatımızda sürekli karşılaştığımız önemli bir konudur. Bu çalışmada gösterilen gri ilişkisel analiz, taguchi ve genetik algoritma gibi uygulaması kolay teknikler, hızlı bir şekilde doğru karar vermemize yardımcı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]Acış F. İ. (2019). Punta Kaynak Keplerinin Fe Ve Ni Esaslı İntermetaliklerle Esd Kullanılarak Kaplanması.Yüksek Lisans Tezi.Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [2]Akduman B. (2010). Evrimsel Algoritmalar ile Elektrik Şebekelerinin Restorasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [3]Akkaş A. (2017). Welding Time Effect on Tensile-Shear Loading in Resistance Spot Welding of SPA-H Weathering Steel Sheets Used in Railway Vehicles.
- [4]Aras S. (2016). Nokta Direnç Kaynağı Uygulanan Farklı Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [5]Andersson O. (2013). Process planning of resistance spot Welding. Thesis, Faculty Of Production Engineering, Royal Institute of Technology University, Stockholm Sweden.
- [6]Cao X., Li Z., Zhou X., Duan J., (2021). Modeling and optimization of resistance spot welded aluminum to Al-Si coated boron steel using response surface methodology and genetic algorithm.0263-2241/ Elsevier
- [7] Carr J. (2014). "An Introduction to Genetic Algorithm" Senior Project.
- [8]Chen G. (2017). Multi-performance optimization of small-scale resistance spot welding process parameters for joining of Ti-1Al-1Mn thin foils using hybrid approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 89:3641–3650
- [9]Dil Y. (2015). Yazılım Projelerinin Optimizasyon Problemi Olarak İncelenmesi Ve Genetik Algoritma İle Çözümü. Doktora Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- [10]Elmas Ç. (2016). Yapay Zeka Uygulamaları. Ankara
- [11]Ertem M. (2021). Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Niyobyum Karbür–Bor (NbC-B) Kaplanan Hardox 400 Çeliğin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi Ve Taguchi Yöntemiyle Aşınma Davranışının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.
- [12]Gur A. K. (2013). Investigating The Wear Behaviour Of FeCr/CB4C Powder Alloys Coating Produced By Plasma Transferred Arc Weld Surfacing Using The Taguchi Method, Materials Testing.
- [13]Güneş S. (2015). Honlama Prosesinde Yüzey Kalitesini Etkileyen Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi.
- [14]Güzel M. Ders Notu. Ankara Üniversitesi.
- [15]Ghazali A. (2014). Multi-Response Optimization using Taguchi Method of Resistance Spot Welding Parameters. Applied Mechanics and Materials Vol 660 pp 120-124
- [16]Granbom, Y. (2010). Structure and mechanical properties of dual phase steels, Doctoral thesis.
- [17]Hayat F. (2010). Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi. Metalürji Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi.
- [18]Karasu M. (2017). Popülasyon Temelli Sezgisel Algoritmaya Dayanan Genetik Algoritma İle Rüzgar Santrali Türbin Yerleşimi Optimizasyonu Ve Bir Uygulama . Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü

- [19]**Kartal Y. (2014).** Taşıtlarda Akustik Performansı Gözetilerek Uygulanan Ağırlık Azaltma Yöntemleri Yüksek lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20]**Karasoy O.** Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı. Ders Notu.
- [21]**Kaya. S. (2017).** Yüzeyi modifiye edilmiş ferritik paslanmaz çeliğin aşınma direncinin Taguchi metoduyla optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]**Kemda F., Barka B., Jahazi N., (2021).** Multi-Objective Optimization of Process Parameters in Resistance Spot Welding of A36 Mild Steel and Hot Dipped Galvanized Steel Sheets Using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm. Met. Mater. Int.
- [23]**Kekik M. (2021).** AHSS Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [24]**Kekik M. (2018).** 1200m-Dp800hf Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Hasar Modunun Tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [25]**Kelleci O. (2021).** Odun Biyopolimer Kompozitlerin Üretilmesi Ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Parametre Optimizasyonu. Doktora Tezi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26]**Kırda K. (2013).** Evsel İlaç Atıklarının Toplanması Prosesindeki Tersine Lojistik Sürecinin Modellenmesi için Genetik Algoritmaların Kullanılması. Dokuz Eylül Üniversitesi.Sosyal Bilimler Enstitüsü
- [27]**Muthu P. (2019).** Optimization of the Process Parameters of Resistance Spot Welding of AISI 316l Sheets Using Taguchi Method. Mechanics and Mechanical Engineering 2019; 23:64–69
- [28]**Özcan A, Peşteli V, Yöntem O. (2018).** Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Kaynaklanabilirliği Ve Direnç Spot Kaynağı Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.
- [29]**Pattanaika A. K., Pandaa S., Palb K. (2018).** A Comparative Investigation to Process Parameter Optimization for Spot Welding Using Taguchi Based Grey Relational Analysis and Metaheuristics.ScienceDirect Materials Today:Proceedings 11408–11414[30]Sabırlı A. (2020).
- [30]**Sapan Ç. (2021).** Arabağlayıcı Kullanılarak Difüzyon Kaynağı İlebirleştirilen Gr2 Ve Cu Malzemelerin Kaynak Parametrelerinin Araştırılması Ve Optimizasyonu.Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30]**Sarpkaya Ç. (2014).** Taguchi Metoduna Dayalı Gri İlişkiler Analizi İle Haşıl Prosesinin Optimizasyonu. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü
- [28]**Selova L. (2019).** Üçlü sac elektrik direnç nokta kaynak birleşimlerinde kaynak parametrelerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi.* Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29]**Panda S., (2010).** Effect of weld location, orientation, and strain path on forming behavior of AHSS tailor welded blanks,” J. Eng. Mater. Technol. Trans.
- [30]**Suvay H., (2019).**Sınav Çizelgeleme Probleminin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı.Yüksek Lisans Tezi.Cumhuriyet Üniversitesi
- [31]**Şafak A. S., (2011).** Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Elektrik Direnç Nokta Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [32]**Şahin İ., (2020).** Bor Alaşımlı Çeliklerin Elektro Erozyon İle İşleme Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33]**Taşkın E., Gökay E.(2010).** Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar. Bursa: Alfa Aktüel Yayınları.
- [34]**Tekin G., (2019).** Otomotiv Sektöründe Kullanılan Elektrik Direnç Kaynağına Alternatif Laser Nokta Kaynağının Mekanik ve Termal Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35]**Türker M.** Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden genetik algoritma yaklaşımı ile bina tespiti .Yüksek Lisans Tezi.
- [36]**Tutar M., Aydın H., Bayram A. (2018).** Elektrik direnç punta kaynağı ile kaynak edilmiş TWIP çeliklerinde kaynak parametrelerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi
- [37]**Uzun R. (2016).** Ön Deformasyon Uygulanmış Dp600 Kalite Çeliklerin Punta Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü
- [38]**Vasu S., Rawal M.R., Rakesh R. (2016).** Optimization of Resistance Spot Welding of 304 Steel Using GRA.
- [39]**Vatansever F., Şen D., (2013).** Genetik Algoritma Tabanlı Pıd Kontrolör Simülatörü Tasarımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2.
- [40]**Yapıcı, M. M., (2012).** Genetik Algoritma Kullanılarak Ders Çizelgeme Yazılımının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Bilişim Enstitüsü.
- [41]**Yıldırım, S., (2011).** Ürün Tasarım Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı. Başkent Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [42]**Yılmaz A., (2017).** YAPAY ZEKA.Ders.Notu. İstanbul
- [43]**Yüce C. (2018).** Yüksek Mukavemetli Çelikler ile Alüminyum Alaşımlarının Lazer Kaynağı İle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Bağlantı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44]**Yüce C., Tutar M., Karpat F., Yavuz N., (2016).** The Optimization of Process Parameters and Microstructural Characterization of Fiber Laser Welded Dissimilar HSLA and MART Steel Joints.
- [45]**Uygun Ö., Kökçam H. A., Kılışaslan E., (2018).** Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Optimum Lastik Seçimi
- [46]**Wahid A. M., Tyagi A., Kumar G., .Kumar M., Neha E. (2021).** Experimental investigation for optimization of robot spot welding parameters on low carbon steel. Materials Today.
- [47]**Wang Y., Wan X., Zhao D., (2016).** Grey relational and neural network approach for multi-objective optimization insmall scale resistance spot welding of titanium alloy. Journal of Mechanical Science and Technology
- [48]<http://www.saujs.sakarya.edu.tr/tr/download/article-file/193242>
- [49]www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Merve ÜLKÜ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2018, Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** :2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Liberec Technical University,
- Yeşim Tekstil, ARGE Merkezi, Proje Uzmanı
- Bursa Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi