

TOZALTI ARK KAYNAK (SAW) YÖNTEMİNDE KAYNAK GENİŞLİĞİNİN TAGUCHİ METODUYLA OPTİMİZASYONU

Aydın ŞIK^{1*}, Ali AKAY², Turabi BİNGÖL³

¹Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü Ankara <https://orcid.org/0000-0002-8977-9094>

²Birikim Mühendislik ve Endüstriyel Yüklenim Ltd. Şti. Tasarım Merkezi Ankara
<https://orcid.org/0000-0003-3700-0779>

³Birikim Mühendislik ve Endüstriyel Yüklenim Ltd. Şti. Tasarım Merkezi Ankara
<https://orcid.org/0000-0001-7757-7236>

Anahtar Kelimeler

Öz

Taguchi Metodu,
Tozaltı Ark Kaynağı,
Helezonlar,
Tozaltı Kaynak Makinesi
Tasarımı

Dikey karıştırıcı öğütücüler, çeşitli maden cevherinin ekonomik olarak öğütülmesinde kullanılırlar. Karıştırma vidası öğütme haznesinin üstüne dik eksenli çalışacak şekilde yataklanması yapılır. Öğütücü karıştırma sırasında oluşan zorlanmalara karşı mukavim olması ve rijitliğini koruması istenir. Bu nedenle parçalar birleştirilirken Tozaltı Ark Kaynağı (SAW) yöntemi seçilmiştir.

Bu çalışmada, Genichi Taguchi tarafından kurulan yöntem kullanılmıştır. Genel olarak tasarım değişkenlerini optimize etmek için benimsenmiştir. Çünkü bu yöntem genel test süresini ve maliyetleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Özel olarak tasarlanan VTM Tozaltı Ark Kaynak Tezgâhında, Hardox 400 (400HBW) nominal sertliğe sahip aşınmaya dayanıklı çelik malzemenin kaynak işlemleri yapılmıştır. Tasarlanan bu tezgâhta vidaların kaynak edilmesi aynı anda çift taraflı otomatik olarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaynak genişlikleri ölçülmüştür. SAW makinesi ile kaynak yapılmış deney numuneleri Taguchi'nin deney tasarımına göre veriler toplanmış ve sürecin girdi-çıkış ilişkilerini kurmak için varyans (ANOVA: Analysis of Variance) ve regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen bu verilerin ışığında tozaltı ark kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile en iyilenmesi uygulaması için Minitab programında analizleri elde edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen optimize edilmiş değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre eniyilenmesi değerleri A2B2C2D1'de elde edilmiştir. Değerler; Kaynak akımı (37,17), Kaynak hızı (37,20), elektrot çıkıntısı (37,41) ve Isı girişi (37,23) olarak tespit edilmiştir. Sinyal-gürültü oranı (S/N) grafiğinde en çok etkileyen faktörlerin elektrot çıkıntısı ve ısı girişi en az etkileyen ise kaynak akımı ve kaynak hızı olduğu görülmüştür.

THE OPTIMIZATION OF WELDING WIDTH BY TAGUCHI TECHNIQUE IN SUBMERGED ARC WELDING (SAW) METHOD

Keywords

Abstract

Taguchi Method,
Submerged Arc Welding,
Spirals,
Submerged Arc Welding
Machine Design

The vertical mixer grinders used in this study are used for economical grinding of various mineral ores. The mixing screw is placed on the top of the grinding chamber in such a way that it works vertically. It is required that the grinder should be resistant to the strains that occur during mixing and maintain its rigidity. For this reason, submerged arc welding (SAW) method was chosen when joining the parts.

In this study, the method established by Genichi Taguchi was used because this method significantly reduces overall testing time and costs, it is generally adopted to optimize design variables.

In the specially designed VTM Submerged Arc Welding Machine, welding processes of wear-resistant steel material with a nominal hardness of Hardox 400 (400HBW) were performed. In this designed workbench, the welding of the screws and the double-sided automatic joining processes were carried out at the same time.

Then weld widths were measured. Test samples welded with SAW machine, and data were collected according to Taguchi's experimental design and variance (ANOVA: Analysis of Variance) and regression analysis were performed to establish the input-output relations of the process. In the light of these data obtained, analyzes were made



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

in the Minitab program for the application of the submerged arc welding process to be optimized with the Taguchi method. The optimized values obtained from these analyzes were compared with the experimental results. According to the data obtained from the results of the analyzes, optimal values were obtained in A2B2C2D1.Values; Welding current (37.17), Welding speed (37.20), electrode protrusion (37.41) and Heat input (37.23) were established. In the signal-to-noise ratio (S/N) graph, the most influencing factors were the electrode protrusion and the heat input, the least affecting being the welding current and welding speed.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 01.06.2022
Kabul Tarihi : 07.03.2023

Submission Date : 01.06.2022
Accepted Date : 07.03.2023

*Sorumlu yazar: aydins@gazi.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1124675>

1. Giriş

Kalite, günümüz küresel ve ekonomik liberalleşmede rekabet avantajı elde etmek için önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Kaliteli bir ürün veya hizmet, bir kuruluşun müşteri artışını ve devamlılığını sağlar. Düşük kalite, memnuniyetsiz müşterilere yol açar, bu nedenle düşük kalitenin maliyetleri yalnızca anlık israf veya düzeltme maliyetleri değil, aynı zamanda gelecekteki satışların da kaybıdır (Deshmukh, ve Sorte, 2013). Tozaltı Ark Kaynağı (SAW), derin penetrasyon ve pürüzsüz bir dikiş gibi avantajları nedeniyle endüstrideki en önemli kaynak yöntemlerinden biridir. Gerekli kaynak parçası kalitesini elde etmek için kontrol edilmesi gereken tozaltı ark kaynak işleminde birçok kritik girdi parametresi yer almaktadır.

Çevrimdışı kalite kontrol yöntemleri, ürün üretilebilirliğini ve güvenilirliğini artırmak, ürün geliştirme ve ömür boyu maliyetlerini azaltmak için ürün ve süreç tasarım aşamalarında gerçekleştirilen kalite ve maliyet kontrol faaliyetleridir. Parametre tasarımı, çevrim dışı bir kalite kontrol yöntemidir. Ürün tasarımı aşamasında, parametre tasarımının amacı, ürünün performansını çevresel değişkenlerin, bozulmanın ve üretim değişikliklerinin etkilerine karşı daha az duyarlı hale getiren ürün tasarım özelliklerinin ayarlarını belirlemektir. Parametre tasarımı, değişkenlik kaynaklarının etkisini kontrol etmek yerine azaltarak performans değişimini azalttığından, ürün kalitesini iyileştirmek için çok uygun bir tekniktir (İç ve Yıldırım, 2012).

2. Bilimsel Yazın Taraması

2.1. Taguchi Yöntemi

Taguchi'nin teknikleri mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ross, 1996; Phadke, 1989). Taguchi tekniklerinin temel güveni, minimum

varyasyon ile bir kalite karakteristiğinin (performans ölçüsü) en iyi seviyelerini üreten parametre (faktör) ayarlarını belirlemeye yöneliktir. Taguchi tasarımları, çeşitli koşullarda tutarlı ve optimum şekilde çalışan süreçlerin tasarlanması için güçlü ve verimli bir yöntem sağlar. En iyi tasarımı belirlemek için, süreci çeşitli tasarım parametreleri seviyelerine maruz bırakan stratejik olarak tasarlanmış bir deneyin kullanılmasını gerektirir. Deneysel tasarım yöntemleri 20. yüzyılın başlarında geliştirilmiş ve o zamandan beri istatistikçiler tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Ancak uygulayıcılar tarafından kullanımı pek kolay olmamıştır. Taguchi'nin deney tasarımı yaklaşımının benimsenmesi ve istatistik konusunda sınırlı bilgisi olan kullanıcılar için uygulanması kolay; bu nedenle mühendislik ve bilim alanında geniş bir popülerlik kazanmıştır. Proses optimizasyonu için malzeme işlemede Taguchi tekniklerinin birçok yeni uygulaması olmuştur (Yang ve Trang, 1998; Su, Yao, Wei, Kao ve Wu, 2013; Nian, Yang ve Tarng, 1999; Lin, 2002; Davim, 2003).

Japon kalite yönetim danışmanı Dr. Genichi Taguchi, proses kontrol parametrelerinin optimum ayarıyla deney için çok daha az varyans sağlayan ortogonal dizi deneylerine dayalı bir yöntem geliştirmiştir. Ortogonal dizi, bir dizi minimum deney çalıştırması sağlar ve istenen çıktının logaritmik işlevleri olan Taguchi'nin sinyal-gürültü oranları, optimizasyonun nesnel işlevleri olarak hizmet eder. Bu teknik, veri analizinde ve optimum sonuçların tahmininde yardımcı olmaktadır. Optimum parametre ayarlarını değerlendirmek için Taguchi yöntemi, sinyal-gürültü oranı adı verilen istatistiksel bir performans ölçüsü kullanır. Sinyal-gürültü oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. Genel olarak kullanılan standart S/N oranı şu şekildedir; Nominal-en-En İyidir (NB), Daha Düşüktür (LB) ve Daha Yüksek (HB). Optimum ayar, en yüksek S/N oranına sahip olan parametre kombinasyonudur (Kumar ve Gupta, 2017).

Taguchi Metodu, ortogonal dizileri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan bir deneysel tasarım tekniğidir (Canıyılmaz, 2001). Ürünü üretmek için en iyi girdi kombinasyonunu belirlenen standartlaştırılmış bir yaklaşımdır. Taguchi yöntemi, tüm parametre uzayını yalnızca az sayıda deneyle incelemek için özel bir ortogonal dizi tasarımı kullanır (Lin, Chou ve Chou, 2007; Hsiao, Tarng ve Huang, 2008). Bu yöntemin en büyük avantajı, deneylerin yürütülmesinde harcanan çabadan tasarruf sağlamasıdır; deneysel zamandan tasarruf etme, maliyeti düşürme ve önemli faktörleri hızlı bir şekilde keşfetmektir. Taguchi yöntemi:

1. Kontrol edilebilir ürün tasarım faktörleri ile bir sürecin sonuçları arasındaki işlevsel ilişkiyi belirlemek için bir temeli,
2. Kontrol edilebilir değişkenleri optimize ederek bir sürecin ortalamasını ayarlamak için bir yöntemi,
3. Rastgele gürültü ile ürün değişkenliği arasındaki ilişkiyi incelemek için bir prosedürü sağlar (Deshmukh et al., 2013; Pan, 2004).

Proses parametrelerinin sayısı arttığında çok sayıda deneysel çalışma yapılması gerekmektedir. Bu sorunu çözmek için yöntemin en büyük avantajı, deneylerin yürütülmesinde harcanan çabadan tasarruf sağlamasıdır (Datta ve Mahapatra, 2010; Datta, Bandyopadhyay ve Kumar, 2007). Taguchi yöntemi adımları:

- Adım1:Önemlisüreçdeğişkenlerinin tanımlanması,
 Adım 2: Süreç planının geliştirilmesi,
 Adım 3: Plana göre deneylerin yapılması,
 Adım 4: Yanıtları kaydetme,
 Adım 5: Kaynaklı işin test edilmesi,
 Adım 6: Parametrelerin optimize edilmiş değerlerinin bulunması,
 Adım 7: Proses parametrelerinin ana ve önemli etkilerinin sunulmasıdır (Aytekin, 2011; Atar, 2021; Lin ve Chou, 2006; Lochner, 1990).

Demir, (2019) tarafından, "Projeksiyon kaynağı ile dual faz çeliğe cıvata kaynatılması ve Taguchi yöntemi ile parametre optimizasyonu" isimli yapılan çalışmada, öncelikle farklı parametreler herhangi sistematik kural olmadan denemeler yapılmış ve basma test sonuçları incelenmiştir. 3 farklı makine için yapılan testlerde optimuma yakın parametre aralıkları çıkarılmıştır. Bu süreçte çok fazla sayıda deneme parçası harcanmış, fazla zaman kaybı yaşanmıştır. Daha sonra sistematik yaklaşım sergilemek için Taguchi metodu kullanılmış ve ön analizlerde kullanılan parametreler limit değerler olarak belirlenmiştir. Taguchi metodu sayesinde çok düşük deneme adedi ile optimum parametre tespiti yapılmıştır. Bu sayede deneme parçalarının israfı da önlenmiştir. Taguchi metodunun sağladığı avantajlar değerlendirildiğinde fabrika proses iyileştirmelerinin

her alanında uygulanabileceği görülmüştür (Demir, 2019).

Kumanan ve Dhas (2011a), sürecin girdi-çıkı ilişkilerini kurmak için Taguchi'nin deney tasarımı ve regresyon analizini kullanmışlar. Bu ilişkiyle, optimal kaynak parametrelerini belirlemek için genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayalı optimizasyon prosedürleri kullanılarak kaynak dikişi genişliği en aza indirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak kaynak dikişi geometrisinin iyi bir göstergesi olarak tespit edilmiştir (Kumanan ve Dhas, 2011a).

Tarng ve arkadaşları tozaltı ark kaynağında proses parametrelerini belirlemek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin amacı, çok çeşitli kaynak kalitelerini de içerecek şekilde yeni bir çözüme ulaşmak olmuştur (Tarng, Juang ve Chang, 2002).

Akkaş yaptığı çalışmada, dikiş kalınlığının veya nüfuziyet alanının arzu edilen bir değeri için kaynak parametrelerinin alacağı değer teorik olarak belirlenmiştir. Teorik olarak elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, kaynak parametrelerinin dikiş kalınlığı için %98 ve nüfuziyet alanı için %99 doğrulukla tahmin edilebildiği görülmüştür. Bu çalışma tozaltı kaynağı için zeki kontrol sistemleri geliştirmeye yardımcı olabilmektedir. Geliştirilen sistem kullanılarak arzu edilen dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanı için kaynak parametreleri otomatik olarak seçilebilir. Bu durum, özellikle farklı kaynak kalınlıklarının söz konusu olduğu karmaşık yapıların tek operasyonla otomatik olarak kaynatılması hallerinde büyük önem taşımaktadır. Operasyon önceden hazırlanmış bir programla uygun bir nümerik kontrol sistemiyle denetlenebilmektedir. Böylece daha verimli ve kaliteli bir işlem gerçekleşmiş olmaktadır (Akkaş, 2006).

Ghosh ve diğerleri (2011), SAW prosesi tarafından üretilen kaynakta ve ısıdan etkilenen bölge (HAZ) ile ilgili belirsizliklerin sorununu ele almışlardır. En ilgi çekici konu, kaynaklı kalitede bazı belirsizlikler veren HAZ bölgesi ile ilgili olduğu görülmüştür. Kaynak bölgesinin ısıtma ve soğutma döngüsünün neden olduğu en zayıf bölgelerde yorulma arızası olasılığını artırdığını tespit etmişlerdir. Dijital görüntü işleme teknikleri aracılığıyla tane yapısının analizi yoluyla yapısal çelik plakaların tozaltı kaynağının ısıdan etkilenen bölgesi değerlendirilmiştir. Tanelerin ağırlıklı olarak daha küçük çeşitlilikte olduğu ve daha büyük tanelerin sayımlarının neredeyse ihmal edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Görüntüde daha büyük boyutlu tanelerin olmaması, yapısal çelik levhaların rakip kaynak metodolojilerine kıyasla kaynağın sağlamlığını tespit etmişlerdir (Ghosh, Chattopadhyaya, ve Singh 2011).

Abdubaset, Sonosi ve Abohusina (2022), kaynak dikişi geometri parametrelerinin kalitesi üzerindeki toz altı ark kaynağı (SAW) işlem değişkenlerini araştırmış ve optimum işlem değişkenlerini (akım (I), gerilim (V) ve hız (S)) olarak tanımlamışlar. ANOVA analiz sonuçları, kaynak akımının özellikle genişlik ve penetrasyon açısından kullanılan üç işlem değişkenden önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ve bunu kaynak hızının izlediğini göstermiştir (Abdubaset, Sonosi ve Abohusina, 2022).

Ghosh ve diğerleri (2011) tozaltı ark kaynağı verim parametrelerini tahmin etmek için grafik tekniği kullanmış ve ana faktörlerin etkisini yani akımın, tel besleme hızının, hareket hızının ve ana faktörler arasındaki etkileşimlerin kaynak dikişi parametreleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Etkileşimler, sürecin önemli verim parametrelerine etki ettikleri görülmüştür (Chattopadhyaya, Ghosh, Das ve Sarkar, 2011).

2.2. Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi (SWA)

Tozaltı kaynak işlemi, yüksek güvenilirlik, tam veya yarı otomatik uygulanabilirliği, derin nüfuziyeti ve düzgün bir kaynak dikişi elde edilebilirliği sebebi ile endüstride geniş uygulama alanına sahiptir (Karabulut, 2016). Kaynak değişkenlerinin bir kaynak bağlantısının kalitesini belirlemede önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle optimum mekanik özelliklere sahip yüksek kaliteli kaynak özellikleri elde etmek için bu değişkenlerin stabilitesini incelemek esastır (Karaoğlu ve Seçgin, 2008). Bu değişkenler arasında akım, voltaj, hız, memeden plakaya mesafe, tel besleme hızı, akım tipi ve plaka kalınlığı bulunmaktadır (Jain, 2018; Choudhary, Kumar ve Unune, 2019; Vedrtam, Singh ve Kumar, 2018; Abohusina, 2018).

Reddy (2013), tozaltı ark kaynağında kaynak kalitesi, kaynak akımı, kaynak hızı, ark voltajı ve elektrot çıkıntısı gibi kaynak parametrelerinden büyük ölçüde etkilenir. Proses değişkenleri arasındaki ilişkiyi kurmak için deney tasarımı yapılmış ve en uygun çözümü bulmak için optimizasyon araçları kullanılmıştır. Kullanılan modüler ağ modelinde doğru veriler elde edilmiştir. Elde edilen analizler, kaynak genişliğinin kaynak akımına, kaynak takviyesinin ve kaynak sertliğinin elektrot çıkıntısına ve penetrasyon derinliğinin kaynak hızına bağlı olduğunu göstermiştir (Reddy, 2013).

Kumanan, Dhas ve Gowthaman (2007) tarafında yapılan çalışmada, kaynak deneylerinin ekonomik olarak araştırılması için deney tasarımında Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. ANOVA'dan elde edilen sonuçlar, kaynak akımı ve ark voltajının, dikiş genişliğini etkileyen önemli kaynak işlemi parametreleri olduğunu göstermiştir. Matematiksel model, dikiş genişliği, dikiş takviyesi, penetrasyon derinliği ve dikiş sertliği için SPSS Paketi ile

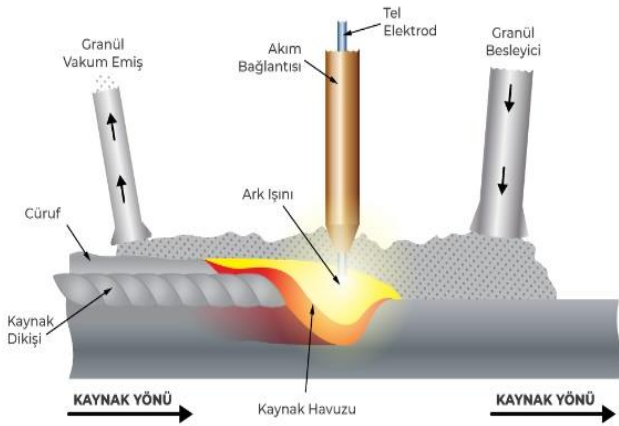
oluşturulmuştur. Öngörülen modelin çıktı sonuçları ilgili girdi verileri için hesaplanmıştır. Deneysel değerler ile tahmin edilen çoklu regresyon analizi modeli arasındaki dikiş genişliği, kaynak takviyesi, penetrasyon derinliği ve kaynak dikişi sertliği karşılaştırmaları arasında ilişki olduğu görülmüştür (Kumanan, Dhas ve Gowthaman, 2007).

Toz altı ark kaynağı, çoğu imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kaynak işlemidir. Sürekli beslenmeyen bir sarf malzemesi katı veya boru şeklinde elektrot gerektirir. Erimiş kaynak ve ark bölgesi, kireç, silika, manganez oksit, kalsiyum florür ve diğer bileşiklerden oluşan bir granül eriyebilir, akış örtüsü altına daldırılarak atmosferik kirlenmeden korunur. Eritildiğinde, akı iletken hale gelir ve elektrot ile iş arasında bir akım yolu sağlar. Bu kalın akı tabakası erimiş metali tamamen kaplar, böylece sıçrama ve kıvılcımların yanı sıra, Şekil 1'de gösterildiği gibi korumalı metal ark kaynağı (SMAW) işleminin bir parçası olan yoğun ultraviyole radyasyonu ve dumanları bastırır. Otomatik veya mekanize mod, bununla birlikte, basınçlı veya yerçekimi akı beslemeli yarı otomatik (el tipi) SAW tabancaları mevcuttur. Bu çalışmada yerçekimi akı beslemeli yarı otomatik SAW makinesi kullanılmıştır.

Karıştırıcı vidaların imalatında kullanılan parametrelerden biri de yaprakların mile kaynak yapılmasında kullanılan tozaltı ark kaynak yöntemi Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Toz altı kaynak yönteminde kaynak parametreleri (kaynak akımı, ark voltajı, tel ilerleme hızı, kaynak hızı, elektrot çıkıntısı, vb.) iyi seçildiği takdirde hatasız ve çok güzel görünümlü dikişler elde edilir. Normal örtülü elektrotla yapılan kaynağa göre bu yöntemde kullanılan aynı çaplı elektrot daha yüksek kaynak akımı ile yüklendiğinden, daha büyük kaynak banyosu ve daha derin nüfuziyet elde edilir. Yöntem, yarı otomatik ve tam otomatik kaynak uygulamalarına da müsait olduğu için, modern kaynak uygulaması olarak sanayileşmiş ülkelerde yaygın kullanım sahası bulmuştur (Akay, 2021; Kim, Young, Hwang, Kim ve Kim, 2001; Kaluç, 2004).



Şekil 1. Tozaltı ark kaynak yöntemi



Şekil 2. Tozaltı ark kaynak grafiği

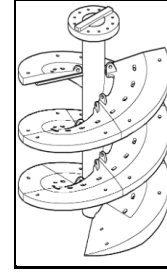
2.2.1. Tozaltı Ark Kaynak Yönteminin Avantajları

Tozaltı ark kaynak yöntemi, çok yüksek birikme oranına sahip yüksek kaliteli bir kaynak işlemidir. Genellikle düz pozisyonda kalın malzemeleri birleştirmek için kullanılır. Tamamen mekanize veya otomatik işlenmiş olarak çalıştırılır. Ancak yarı otomatik olarak da kullanılabilir. Kaynak işlemi sırasında operatör kaynak havuzunu gözlemleyemez ve kaynak işlemine doğrudan müdahale edemez. Kaynak prosesinde otomasyon arttıkça operatörün direkt etkisi azalmakta ve parametrelerin hassas olarak ayarlanması manuel kaynak proseslerinden çok daha önemli hale gelmektedir. Otomatik kaynak proseslerinde yüksek kalitede kaynak elde edebilmek için optimum parametrelerin seçimi mühendislik gerçeklerine göre yapılmalıdır (Çetinkaya, 2022; Anık, 1998; Külahlı, 1988).

Tozaltı ark kaynağı işlemi, istenen kaynak dikişi parametrelerine ve minimum bozulma ile mükemmel mekanik özelliklere sahip bir kaynaklı bağlantı elde eder. Kaynak değişkenlerinin, bir kaynak bağlantısının kalitesini belirlemede önemli bir etkisi vardır; bu nedenle, optimum mekanik özelliklere sahip yüksek kaliteli kaynak özelliklerine ulaşmak için bu değişkenlerin stabilitesini incelemek önemlidir. Bu değişkenler arasında akım, voltaj, hız, memeden plakaya mesafe, tel besleme hızı, akım türü ve plaka kalınlığı yer alır (Abdulbaset ve diğ., 2022).

Bu çalışmada Şekil 3'te gösterilen VTM karıştırma vidaları kullanılmıştır. Dikey karıştırıcı öğütücüler maden cevherlerinin öğütülmesinde ekonomik çözümler sunmaktadır. Bununla birlikte işleme zor kalın vida yaprağı ve dolu millerden üretilmeleri gerekmektedir.

Kaynak kullanımıyla beraber mil ile alaşımlı döküm vida yapraklarının birleştirilmesinde daha yüksek mukavemet ve rijitlik elde edilir. Dikey eksenli rulmanlı yataklama kullanılarak verimli çalışma sağlanır.



Şekil 3. Karıştırıcı vida

Aşınmaya dayanıklı alaşımlar ve paslanmaz çelikler gibi malzemeler yıllar içinde geliştikçe, karıştırma vidalarının kullanımı da endüstrinin birçok alanında kullanımı artmıştır. Üretim teknolojisindeki son gelişmeler, kaliteyi artıran ve maliyetleri azaltan belirli üretim süreçlerinin otomasyonunu içerir. Vida üretim sürecinde otomatik veya robotik kaynak kullanımı buna iyi bir örnektir.

Karıştırıcı vida yapımı için üretilen döküm yapraklar kanatlar uniform kalınlığa sahiptir. Vida yeterli sayıda profil kanadın döküm vida yaprağının merkez mil üzerine kaynatılması ile oluşturulur (Cema, 2003; Forcade, 1999; Nogay, 2007; Alışverişiçi, 1985; Seshagiri ve Moorthi, 2015).

3. Yöntem

3.1. Çalışmada Kullanılan Yöntem ve Malzemeler

Bu çalışmada, bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Hardox 400, (400HBW) nominal sertliğe sahip aşınmaya dayanıklı bir çelik malzeme kullanılmıştır. Esas olarak, aşınmaya maruz kalan yapılar, kazı, madencilik ve hafriyat makineleri, kamyon damperli gövdeler, taşıma, kırma ve toz haline getirme ekipmanları, hurda presleri ve kaldırım kalıpları alanlarında kullanılmaktadır. İşleme ve uygulama teknikleri bu çelikten imal edilen ürünlerin başarılı bir şekilde kullanılması için temel öneme sahiptir. Yüksek tokluğu, iyi bükülebilirliği ve kaynaklanabilirliği sayesinde bu çelik aşınmaya sahip yapılarda kullanılmaktadır.

Deney numuneleri Ankara'da bulunan Birikim Mühendislik Tasarım Merkezi'nde yapılmıştır. Firmanın özel olarak tasarlamış olduğu VTM Tozaltı Ark Kaynak Tezgâhında kaynak işlemleri yapılmış ve sonra deney numuneleri hazırlanmıştır. Tasarlanan bu tezgâhta, otomatik olarak vidaların aynı anda çift taraflı kaynak edilmesi gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları bu şekilde elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu verilerin ışığında tozaltı ark kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile eniyenmesi uygulaması için Minitab programında analizler elde edilmiştir.

Tablo 1.'de, tozaltı ark kaynak toz bileşenlerinin görevleri birbirinden farklı olup, tüm bileşenler farklı bir ihtiyaca göre karışıma katılmaktadır. Silisyum dioksit (SiO_2); asidik özelliğe sahip olup, viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Alüminyum oksit (Al_2O_3); doğal bileşen olup, cüruf oluşumunu sağlayarak, kaynak yapılabirliği kolaylaştırmaktadır. Ayrıca; viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmakta ve yüksek akımlarda arkın kararlılığını sağlamaktadır. Titanyum dioksit (TiO_2); asidik özelliğe sahip olup, cüruf oluşumunu başlatıcı bileşiktir. Cürufun kolayca kalkmasına yardımcı olmaktadır. Kalsiyum oksit (CaO); bazik özelliğe sahip cürufun viskozitesinin ayarlanmasına yardımcı olup kaynak metalinde oksijen miktarını azaltmaktadır. Kalsiyum florür (CaF_2); bazik özelliğe sahip, cürufun akışkanlığını iyileştirmekte, flor gazının oluşumunu sağlayarak ve kısmi buhar basıncını düşürerek kaynak metalindeki hidrojen miktarını azaltmaktadır. Mangan oksit (MnO); bazik özelliğe sahip

olup kaynak metalinin şeklini geliştirerek cürufun ergime sıcaklığı ve viskozitesinin ayarlanmasında etkilidir. Magnezyum oksit (MgO); bazik özelliğe sahip, ergimiş cürufun bazikliğini arttırmakta ve hidrojenin kaynak metalinden cürufa doğru ilerlemesini sağlamaktadır. Sodyum oksit (Na_2O) bu bileşik arkın kararlı olarak devam etmesinde önemli rol oynamaktadır (Davis, 1993).

Çalışmada kullanılan malzemeler Tablo 1.'de tozaltı ark kaynak makinesinde kullanılan kaynak tozlarının kimyasal analizleri, Tablo 2.'de tozaltı ark kaynak makinesinde kullanılan elektrotların kimyasal analizleri, Tablo 3.'te tozaltı ark kaynak makinesinde kullanılan milin kimyasal analizleri, Tablo 4.'te tozaltı ark kaynak makinesinde kullanılan yaprakların kimyasal analizleri, Tablo 5.'te gazaltı ve tozaltı ark kaynak makinesi kaynak parametreleri ve Tablo 6.'da kaynak dikişlerinin ölçülmesinde çıkan sonuçlar verilmiştir.

Tablo 1 .Tozaltı Ark Kaynak Makinesinde Kullanılan Kaynak Tozlarının Kimyasal Analizleri

| Malzeme | Kimyasal Bileşim % | | | | | | | | |
|----------|--------------------|--------------|--------------|----------------|-----------------------|-------------------------|--------------|----------------|---------------|
| | SiO_2 | MnO | MgO | CaF_2 | Na_2O | Al_2O_3 | CaO | TiO_2 | Metal alaşımı |
| FX860-25 | 19 | 11 | 17 | 12 | 2 | 32 | 2 | 2 | 3 max. |

Tablo 2. Tozaltı Ark Kaynak Makinesinde Kullanılan Elektrotların Kimyasal Analizleri

| Kullanılan elektrot | Kimyasal Bileşim | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu |
| AS S2 | 0,095 | 0,900 | 0,080 | 0,011 | 0,012 | 0,037 | 0,025 | 0,017 | 0,190 |

Tablo 3. Tozaltı Ark Kaynak Makinesinde Kullanılan Milin Kimyasal Analizleri

| Malzeme | Kimyasal Bileşim | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu | Al | H(ppm) |
| ASTM A36 | 0,210 | 1,270 | 0,250 | 0,011 | 0,002 | 0,100 | 0,050 | 0,020 | 0,110 | 0,048 | 1,000 |

Tablo 4. Tozaltı Ark Kaynak Makinesinde Kullanılan Yaprakların Kimyasal Analizleri

| Malzeme | Kimyasal Bileşim | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | |
| ASTM A216 Grade WBC | 0,189 | 1,001 | 0,475 | 0,015 | 0,013 | 0,116 | 0,001 | 0,002 | |

Tablo 5. Gazaltı ve Tozaltı Ark Kaynak Makinesi Kaynak Parametreleri

| Paso Sayısı | Yöntem | Akımı (A) | Voltaj (V) | Kaynak Hızı (mm/dk) | Tel çapı (mm) | Akım tipi | Kaynak tozu/Gazı | Isı girdisi (KJ/mm) |
|-------------|--------|-----------|------------|---------------------|---------------|-----------|------------------|---------------------|
| 1-2 | 135 | 258-260 | 28-29 | 10,21/124-135 | 1,2 | DC(+) | M24 | 2,57-2,52 |
| 3-37 | 121 | 520-570 | 27,5-27,6 | 200-380 | 4,0 | DC(+) | FX860-25 | 2,26-2,48 |
| 38-68 | 121 | 520-578 | 27,6 | 200-240 | 4,0 | DC(+) | FX860-25 | 3,59-4,79 |

Tablo 6.'da VTM tozaltı helezon kaynak makinesi tezgâhında kaynak işlemleri yapılmış ve sonra deney numuneleri hazırlanmıştır. Tasarlanan bu tezgâhta


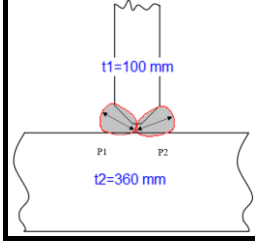
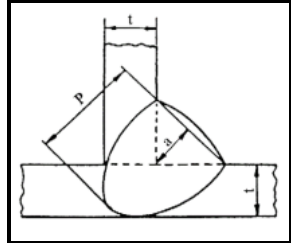
vidaların kaynak deney numuneleri Ankara'da bulunan Birikim Mühendislik Tasarım Merkezi'nde yapılmıştır. Tezgâhta, vidaların kaynak edilmesi aynı anda çift taraflı

otomatik olarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları bu verilerden elde edilmiştir. Daha sonra elde

edilen bu verilerin ışığında tozaltı kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile en iyilenmesi uygulaması için Minitab programında analizleri yapılmıştır.

Tablo 6. Kaynak Dikişlerinin Ölçülmesinde Çıkan Sonuçlar

Kaynak Ölçüleri

| Kaynak ölçüleri (mm), (Numune kalınlığı: t1=100/t2=360 mm) | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|
| t1 | t2 | P1 | P2 | a1 | a2 |
| 100 | 360 | 68 | 76 | 18 | 26 |

3.2. Taguchi Deney Tasarımı

3.2.1. Ortogonal Dizi ve Parametrelerin Seçilmesi

SAW kaynağında kaynak dayanımını direkt olarak etkileyen kaynak parametreleri;

1. Kaynak ilerleme hızı,
2. Kaynak akımı,
3. Gaz akış hızı,
4. Elektrot çapı
5. Elektrot çıkıntısı,
6. Isı giriştir.

Yöntem olarak kaynak genişliği için Taguchi, ANOVA ve Regresyon analizi sırası ile kullanılmıştır. Taguchi, tercih edilen kalite karakteristiği olarak sinyal-gürültü (S/N) oranını kullanılmıştır. S/N oranı, standart sapma yerine ölçülebilir bir değer olarak kullanılır. ANOVA analizi, deneysel parametrelerin hangisinin en çok etkili olduğu ve modellemenin güvenliği için seçilmiştir. Regresyon analizi ise kaynak akımı, kaynak hızı, elektrot çıkıntısı ve ısı girişi ile kaynak dikiş nüfuziyetinin bağımlı değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır.

En basit hali ile S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. S/N oranı; En büyük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını ifade eder (Eşme, 2006).

Bu çalışmada, kaynak nüfuziyeti kalite karakteristiği için "en büyük en iyi" (1, 2) denklem kriterleri kullanılmıştır.

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

Nominal en iyi olduğu durumda: kullanıldığı için aşağıdaki denklem uygulanmıştır.

$$\frac{S}{N}: 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s^2_y} \right) \quad (2)$$

Bu durumda, ikili toleransı olan bir karakteristik olduğunda nominal değer hedefdir. Yani bütün parçalar bu değere getirilirse, varyasyon sıfır olur ve en iyisidir. Hedef değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını ifade eder. Kalite karakteristiği kategorisine bakılmaksızın, daha yüksek bir S/N oranı daha iyi kalite özelliklerine karşılık gelir. Bu nedenle proses parametrelerinin optimal seviyesi en yüksek S/N oranına sahip seviyedir (Montgomery, 1991; Gunaraj ve Murugan, 2000; Datta et. al., 2010).

Sinyal ve gürültü (S/N) oranı eniyilenmesi formülü (3) olarak tasarım yapılmıştır.

$$\frac{S}{N}: 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum \left(\frac{1}{y^2} \right) \right) \quad (3)$$

Çalışmada yapılan analizdeki etkili faktörler Tablo 7.'de tanımlanmıştır. Her faktör için 2 seviye belirlenmiştir. Bilinen faktörlerin en iyi kombinasyonunu ve seviyelerini belirlemek için Taguchi yöntemi kullanılmış Minitab programı yardımıyla tasarlanmış ve analiz edilmiştir

Performans karakteristiğini etkileyecek faktör ve bunların seviyeleri Tablo 7.'de verilmiştir.

Tablo 7. Performans Karakteristikleri ve Faktör Seviyeleri

| Malzeme | Kalınlık | Sembol | Kaynak Parametreleri | 1. seviye | 2. seviye |
|------------|----------|--------|----------------------|-----------|-----------|
| Hardox 400 | 16 | A | Kaynak akımı (amp) | 520 | 578 |
| | | B | Kaynak hızı | 200 | 240 |
| | | C | Elektrot çıkıntısı | 30 | 33 |
| | | D | Isı Girişi (KJ/mm) | 3,59 | 4,79 |

Çalışmada L_8 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Kullanılan dizinin serbestlik derecesi ise ($VL_8=8-1=7>9$) 7'dir. Ortogonal dizi $L_8 (2^7)$: 1 2 4 7 kullanılmıştır (Taguchi, 1989).

Tablo 8.'de 8 testin tümü gerçekleştirildikten sonra sonuçlar kaynak genişliği olarak ölçülmüştür. Her faktör için 2 seviye bulunmaktadır. Bilinen faktörlerin en iyi kombinasyonunu ve seviyelerini belirlemek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Minitab programı yardımıyla tasarlanmış, analiz edilmiş ve sonuç L_8

olarak belirtilmiştir. Tablo 9.'da analizdeki etkili faktörler tanımlanmıştır.

Tablo 8. Deney Tasarımı

| Taguchi Array | $L_8(2^4)$ |
|---------------|------------|
| Faktör | 4 |
| Runs | 8 |

Tablo 9.'da tozaltı kaynak yöntemi ile yapılan deney numunelerinin nüfuziyet ölçüm değerleri sonuçları verilmiştir.

Tablo 9. Geleneksel Yöntemlerle Ölçülen Deney Girdileri ve Sonuçları

| Deney No | A | B | C | D | |
|----------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| | Kaynak akımı (Amp) | Kaynak hızı (mm/dak) | Elektrod Çıkıntısı (mm) | Isı girişi (KJ/mm) | Kaynak genişliği (mm) |
| 1 | 520 | 200 | 30 | 3.59 | 70 |
| 2 | 520 | 200 | 33 | 4.79 | 72 |
| 3 | 520 | 240 | 30 | 4.79 | 68 |
| 4 | 520 | 240 | 33 | 3.59 | 76 |
| 5 | 578 | 200 | 30 | 4.79 | 69 |
| 6 | 578 | 200 | 33 | 3.59 | 74 |
| 7 | 578 | 240 | 30 | 3.59 | 71 |
| 8 | 578 | 240 | 33 | 4.79 | 75 |

4. Bulgular

4.1. Kaynak Genişliği İçin Taguchi Analizi

Taguchi yöntemi ile analiz yapıldıktan sonra Tablo 10. ve Tablo 11.'de ki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 10. ve Tablo 11.'de gösterilen değerler, analizde büyük değer

daha iyi diye düşünülür. Bunun için her faktörde en büyük olan S/N oranı hangi faktörde hangi seviye en iyi sonucu verdiğini gösterir (Eşme, 2006). Bu sonuçlar incelendiğinde eniyilenmesi değerleri **A2B2C2D1**'de elde edilmiştir.

Tablo 10. S/N Oranı İçin Yanıt Tablosu

| Seviye | Kaynak akımı (amp) | Kaynak hızı (mm/dak) | Elektrot çıkıntısı (mm) | Isı girişi (kj/mm) |
|--------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 37,08 | 37,05 | 36,84 | 37,23 |
| 2 | 37,17 | 37,20 | 37,41 | 37,02 |
| Delta | 0,09 | 0,15 | 0,57 | 0,21 |
| Sıra | 4 | 3 | 1 | 2 |

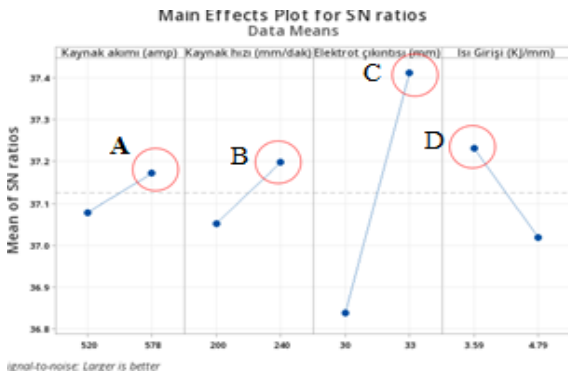
Tablo 11. Ortalama İçin Yanıt Tablosu

| Seviye | Kaynak akımı (amp) | Kaynak hızı (mm/dak) | Elektrot çıkıntısı (mm) | Isı girişi (kJ/mm) |
|--------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 71,50 | 71,25 | 69,50 | 72,75 |
| 2 | 72,25 | 72,50 | 74,25 | 71,00 |
| Delta | 0,75 | 1,25 | 4,75 | 1,75 |
| Sıra | 4 | 3 | 1 | 2 |

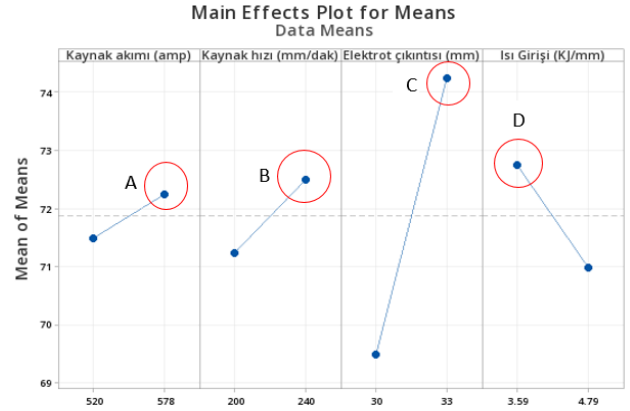
Şekil 4 ve Şekil 5'teki grafikler, yani ana etkiler grafikleri incelendiği zaman, seçilen kaynak parametrelerinden 'elektrot çıkıntısı'nın SN oranı üstünde ve ortalama kaynak dikiş genişliği üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Taguchi yönteminde sonuçları analiz etmek için, sinyal gürültü oranı (S/N) adı verilen istatistiksel bir performans ölçüsü kullanılır. S/N oranı, ortalamayı ve değişkenliği hesaba katar ve optimize edilecek kalite karakteristiğinin kriterlerine bağlıdır (Konishi ve Taguchi, 1987). Sinyal/Gürültü oranının hesaplanmasında deneyler sonucu ulaşılması hedeflenen kalite değerinin özelliği de önemlidir.

p-değeri (örneğin, $\alpha=0,05$), belirli bir eşik değerinin altında ise, ANOVA hipotezini reddetmek ve grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu sonucuna varabiliriz. Tablo 14'te de $p= 0,008$ elektrot çıkıntısı olarak bulunmuştur. Şekil 4 ve Şekil 5'teki grafikler incelendiği zaman seçilen kaynak parametrelerinin kaynak dikiş genişliği üzerinde kuvvetli etkisi olduğu görülmektedir.

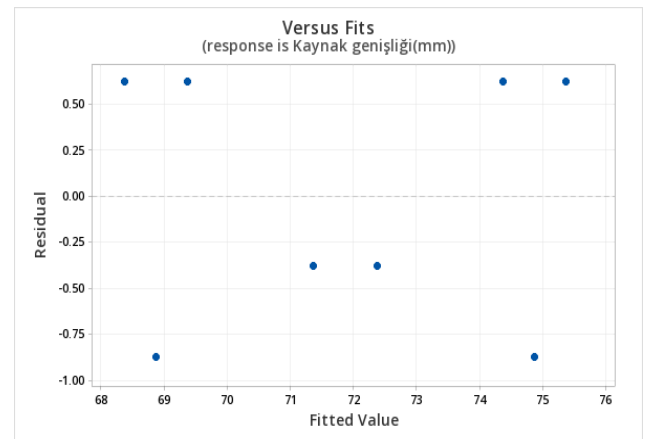


Şekil 4. Sinyal-Gürültü (S/N) oranı grafiği

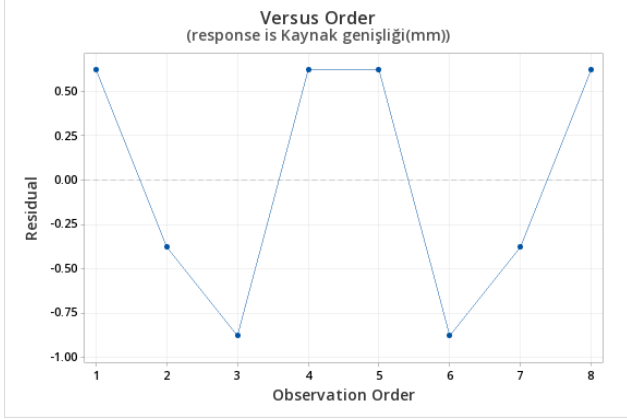


Şekil 5. Ortalama değer grafiği

Şekil 6 ve Şekil 7'de bir artık analizi yapılırken, en sık oluşturulan çizim bir "artıklar ve uyanlar grafiği"dir. Bu, y ekseninde artıkların ve x ekseninde uydurulmuş değerlerin (tahmini tepkiler) bir dağılım grafiğidir. Grafik, doğrusal olmayan, eşit olmayan hata varyansları ve aykırı değerleri tespit etmek için kullanılır. Artıkların rastgele dağıldığı ve sabit varyansa sahip olduğu varsayımını doğrulamak için artıklara karşılık uygun grafiği kullanılır. İdeal olarak, noktalar 0'ın her iki tarafına rastgele düşmelidir ve noktalarda tanımlanabilir desenler olmamalıdır.



Şekil 6. Kaynak genişliği için uygunluklar



Şekil 7. Kaynak genişliği için güven ve tahmini aralıklar

4.2. Kaynak Genişliği İçin Genel Doğrusal Model (ANOVA):

ANOVA analizi deneysel parametrelerin hangisinin en çok etkili olduğunu ve modellemenin güvenliğini gösterir. Bunun için Tablo 12’de yöntem ve Tablo 13’te faktör bilgileri verilmiştir.

Tablo 14. Varyans Analizi

| Kaynak | DF | Seq SS | Contribution | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|------------------------|----|--------|--------------|--------|--------|---------|---------|
| Kaynak akımı(amp) | 1 | 1,125 | 1,91% | 1,125 | 1,125 | 1,00 | 0,391 |
| Kaynak hızı(mm/dak) | 1 | 3,125 | 5,31% | 3,125 | 3,125 | 2,78 | 0,194 |
| Elektrot çıkıntısı(mm) | 1 | 45,125 | 76,65% | 45,125 | 45,125 | 40,11 | 0,008 |
| Isı girişi(kj/mm) | 1 | 6,125 | 10,40% | 6,125 | 6,125 | 5,44 | 0,102 |
| Error | 3 | 3,375 | 5,73% | 3,375 | 1,125 | | |
| Total | 7 | 58,875 | 100,00% | | | | |

DF(DOF): Serbestlik derecesi.

Seq Ss: Sequential sum of squares: Modelin farklı bileşenleri için varyasyon ölçüsü.

Contribution: Her faktörün katkı yüzdesini göstermektedir. Bu analizde C (Elektrot çıkıntısı), D (Isı girişi), B (Kaynak hızı) ve A (Kaynak akımı) yani en çok katkısı olan faktör elektrot çıkıntısı ve en az katkısı olan kaynak akımı olduğu görülmektedir.

F-Value: F değeri hesaplanması: Numune ortalamaları arasındaki varyasyon/numuneler içindeki varyasyon; $40,11=45,125/1,125$ değer çıkmıştır.

F değeri ne kadar yüksek olursa, numuneler içindeki varyasyona göre numune ortalamalar arasındaki varyasyon o kadar yüksek olur.

F değeri ne kadar yüksek olursa, karşılık gelen p değeri o kadar düşük olur.

p-değeri (örneğin, $\alpha=0,05$), belirli bir eşik değerinin altında ise, ANOVA hipotezini reddetmek ve grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu sonucuna varılabilir. Tablo 14’te de $p=0,008$ çıktı üzerinde %5 anlam düzeyinde anlamlı etkiye sahip olan

Tablo 12. Yöntem

Faktör kodlaması: (-1; 0; +1)

Tablo 13. Faktör Bilgileri

| Faktör | Tip | Seviyeler | Değerler |
|------------------------|-------|-----------|-----------|
| Kaynak akımı(amp) | Fixed | 2 | 520; 578 |
| Kaynak hızı(mm/dak) | Fixed | 2 | 200; 240 |
| Elektrot çıkıntısı(mm) | Fixed | 2 | 30; 33 |
| Isı girişi(kj/mm) | Fixed | 2 | 3,59;4,79 |

Tablo 14’te ise varyans analiz değerleri görülmektedir.

tek parametrenin elektrot çıkıntısı olduğu görülmektedir.

R-sq (R²), model tarafından açıklanan yanıtta varyasyon yüzdesidir. 1 eksi kareler hata toplamının (model tarafından açıklanmayan varyasyon) toplam kareler toplamına (modeldeki toplam varyasyon) oranı olarak hesaplanır. Modelin güvenilirliği Tablo 15’te %94,27 gibi yüksek bir değer çıkmıştır. Çıkan bu değer de modelin uygulanabileceğini göstermektedir.

Tablo 15. Model Özeti

| S | R-sq | R-sq(adj) | PRESS | R-sq(pred) |
|---------|---------------|-----------|-------|------------|
| 1,06066 | 94,27% | 86,62% | 24 | 59,24% |

4.3. Kaynak Genişliği İçin Regresyon Analizi

Kaynak akımı, kaynak hızı, elektrot çıkıntısı ve ısı girişi ile kaynak dikiş nüfuziyetinin bağımlı değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizi Minitab 18

yazılımı ile yapılmıştır. Giriş parametrelerinin regresyon analizi Tablo 16.'da doğrusal denklemde ifade edilmiştir.

Elde edilen regresyon denklemi ile öngörülen kaynak genişliği Tablo 17.'de hesaplanmıştır.

Tablo 16. Regresyon Denklemi

$$\text{Kaynak genişliği (mm)} = 1.583 * \text{Elektrot çıkıntısı (mm)}$$

Tablo 17. Katsayılar

| Term | Coef | SE Coef | 95% CI | T-Value | P-Value | VIF |
|-------------------------|--------|---------|-------------------|---------|--------------|------|
| Sürekli | 14.1 | 11.7 | (-23.0, 51.3) | 1.21 | 0.313 | |
| Kaynak akımı (amp) | 0.0129 | 0.0129 | (-0.0282, 0.0541) | 1.00 | 0.391 | 1.00 |
| Kaynak hızı (mm/dak) | 0.0313 | 0.0187 | (-0.0284, 0.0909) | 1.67 | 0.194 | 1.00 |
| Elektrot çıkıntısı (mm) | 1.583 | 0.250 | (0.788, 2.379) | 6.33 | 0.008 | 1.00 |
| Isı Girişi (KJ/mm) | -1.458 | 0.625 | (-3.447, 0.531) | -2.33 | 0.102 | 1.00 |

Tablo 18.'de model özeti, Tablo 19.'da varyans analizi ve Tablo 20.'de ise öngörülen kaynak genişliği değerleri verilmiştir.

Tablo 18. Kaynak Genişliği Model Özeti

| S | R-sq | R-sq(adj) | PRESS | R-sq(pred) | AICc | BIC |
|---------|--------|-----------|-------|------------|--------|-------|
| 1.06066 | 94.27% | 86.62% | 24 | 59.24% | 111.80 | 28.28 |

Tablo 19. Kaynak Genişliği Varyans Analizi

| Kaynak | DF | Seq SS | Contribution | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|-------------------------|----|--------|--------------|--------|--------|---------|---------|
| Regresyon | 4 | 55.500 | 94.27% | 55.500 | 13.875 | 12.33 | 0.033 |
| Kaynak akımı (amp) | 1 | 1.125 | 1.91% | 1.125 | 1.125 | 1.00 | 0.391 |
| Kaynak hızı (mm/dak) | 1 | 3.125 | 5.31% | 3.125 | 3.125 | 2.78 | 0.194 |
| Elektrot çıkıntısı (mm) | 1 | 45.125 | 76.65% | 45.125 | 45.125 | 40.11 | 0.008 |
| Isı Girişi (KJ/mm) | 1 | 6.125 | 10.40% | 6.125 | 6.125 | 5.44 | 0.102 |
| Error | 3 | 3.375 | 5.73% | 3.375 | 1.125 | | |
| Total | 7 | 58.875 | 100.00% | | | | |

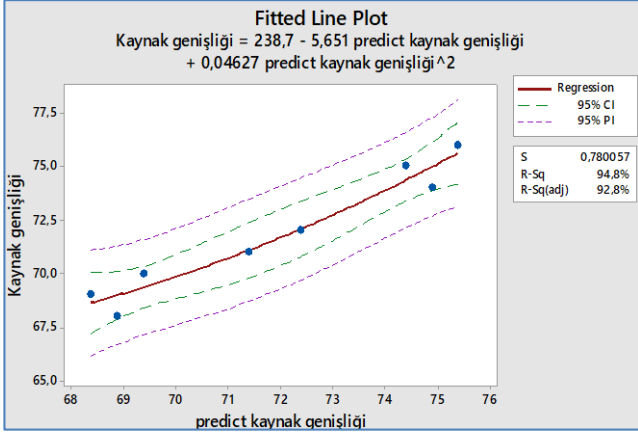
Tablo 20. Öngörülen Kaynak Genişliği Değerleri

| Deney No | A | B | C | D | E | F |
|----------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| | Kaynak akımı(amp) | Kaynak hızı(mm/dak) | Elektrot çıkıntısı(mm) | Isı girişi(Kj/mm) | Kaynak genişliği | Öngörülen kaynak genişliği |
| 1 | 520 | 200 | 30 | 3.59 | 70 | 69,375 |
| 2 | 520 | 200 | 33 | 4.79 | 72 | 72,375 |
| 3 | 520 | 240 | 30 | 4.79 | 68 | 68,875 |
| 4 | 520 | 240 | 33 | 3.59 | 76 | 75,375 |
| 5 | 578 | 200 | 30 | 4.79 | 69 | 68,375 |
| 6 | 578 | 200 | 33 | 3.59 | 74 | 74,875 |
| 7 | 578 | 240 | 30 | 3.59 | 71 | 71,375 |
| 8 | 578 | 240 | 33 | 4.79 | 75 | 74,375 |

Şekil 8'de güven aralıkları ve tahmin aralıkları görülmektedir. Burada;

PI: Tahmini değerlerin sınırı,

CI: Güven aralığıdır.



Şekil. 8 Güven aralıkları ve tahmini aralıklar

Şekil 8'de görüldüğü gibi mavi çizgiler (deneyler) regresyon çizgisine (kırmızı) ne kadar yakın olursa R-sq yani bağımsız değişkenden tahmin edilebilen bağımlı değişkendeki varyasyonun oranı da o kadar yüksek olur.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, sinyal-gürültü oranı (S/N) grafiğinde en çok etkileyen faktörler elektrot çıkıntısı ve ısı girişidir. Deneyleri en az etkileyen ise kaynak akımı ve kaynak hızıdır. Analizde büyük değer daha iyi diye düşünüldüğü için her faktörde en büyük olan S/N oranı hangi faktörde hangi seviye en iyi sonucu verdiğini gösterir. Kaynak genişliğine göre S/N oranının cevabı, kaynak genişliğini kontrol eden en önemli parametrenin elektrot çıkıntısı olduğu görülürken, diğer parametreler bu açıdan nispeten daha az önemlidir. Bu sonuçlar incelendiğinde eniyilenmesi değerleri A2B2C2D1'de elde edilmiştir. Kaynak akımı (37,17), Kaynak hızı (37,20), elektrot çıkıntısı (37,41) ve Isı girişi (37,23) değerleri tespit edilmiştir.

Taguchi yöntemi, proses parametrelerini basit bir şekilde basitleştirmek için etkili bir yöntem olarak bulunmuştur. Bu nedenle kalite iyileştirme ve kalite çözümlerinde kullanılabilir. Tam faktöriyel analiz ile güvenilir ve basit bir doğrulama yöntemi olan bu yöntem diğer tüm çalışmalarda önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi (TTO) ile Birikim Mühendislik Tasarım Merkezi arasında yapılan "VTM Tozaltı Helezon Kaynak Tezgahı Tasarımı" konulu ve 081251 STB kodlu proje kapsamında yapılmıştır. Her iki kuruma teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Aydın ŞİK, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması deneylerin yürütülmesi ve sonuçların raporlanması; Dr. Ali AKAY, deneylerin yapılması ve yürütülmesi, sonuçların yorumlanması; Turabi BİNGÖL, deneylerin yapılması ve yürütülmesi, sonuçların yorumlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abdulbaset, A. F., Sonosi, A. & Abohusina, M., (2022). Optimizing submerged arc welding process Variables using Taguchi method. *Al Academia Journal for Basic and Applied Sciences (AJBAS)*, 4(2), 15514-15518.
- Abohusina, A. (2018). *Determining the optimum welding parameters on the weldability of mild steel using submerged arc welding process.* (MSc). Department of Mechanical Engineering and Energies, School of Engineering and Applied Sciences, Libyan Academy for Post Graduate Studies, Janzur, Libya.
- Akay, A. (2021). *Astar Kaplama Uygulamalarının S235 JR Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti Üzerine Etkilerinin Araştırılması.* (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Akkaş, N. (2006). *Tozaltı Köşe Kaynağında Yapay Zekâ Teknolojileri Kullanılarak Dikiş Geometrisinin Modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya
- Alışverişiçi, M. (1985). *Transport tekniği, bantlı konveyörler-* İstanbul, Arpaz Matbaacılık
- Anık, S. (1998). *Kaynak Teknolojisi II Tozaltı Kaynak Tekniği.* İstanbul, Gedik Kaynak San. Tic. A. Ş.
- Atar, E. (2021). *Taguchi Yönteminin Sağlık Araştırmalarında Uygulanabilirliği.* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Isparta.
- Aytekin, A. G. (2011). Robotik Gazaltı Köşe Kaynak İşleminin Taguchi Yöntemi İle Eniyilenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(15), 7-28. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/203449>

- Canyılmaz, E. (2001). *Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara
- Cema. (2003). *Screw Conveyors for Bulk Materials*. CEMA. Florida Erişim adresi: <https://cemanet.org/wp-content/uploads/2019/06/ANSI-CEMA-350-FinalReview.pdf>
- Chattopadhyaya, S., Ghosh, A. C., Das, R. K. & Sarkar, P.K. (2011). Prediction of submerged arc welding yield parameters through graphical technique. *Procedia Engineering*, 10, 2797-2802 Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.465>
- Choudhary, A. K., Kumar, M. & Unune, D. R. (2019). Experimental investigation and optimization of weld bead characteristics during submerged arc welding of AISI 1023 steel. *Defence Technology*, 15(1), 72-82. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914718300540?via%3Dihub>
- Çetinkaya, C. A. (2022, 10 01). S235JR Malzemeye Uygulanan Astar Kaplamanın Tozaltı Ark Kaynak Kabiliyetine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1335-1348. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2438226>
- Datta, S., Bandyopadhyay, A., & Kumar, P. (2007). Application of Taguchi Philosophy For Parametric Optimization of Bead Geometry And HAZ Width in Submerged Arc Welding Using A Mixture of Fresh Flux And Fused Flux. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7-8), 689-698. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-006-0894-7>
- Datta S. & Mahapatra, S. D. (2010). Multi-Objective Optimization of Submerged Arc Welding Process. *The Journal of Engineering Research*, 42-52. <https://doi.org/10.24200/tjer.vol7iss1pp42-52>
- Davim, J. P. (2003). Study of Drilling Metal-Matrix Composites Based on the Taguchi Techniques. *Journal of materials processing technology*, 132(1-3), 250- 254. doi:10.1016/S0924-0136(02)00935-4. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013602009354>
- Davis, J. R. (1993). *Brazing and Soldering*. ASM Handbook: *Welding*, Vol. 6, ASM International, USA. Erişim adresi: <https://dl.asminternational.org/handbooks/edited-volume/61/Welding-Brazing-and-Soldering>
- Demir, S. (2019). *Projeksiyon Kaynağı İle Dual Faz Çeliğe Cıvata Kaynatılması ve Taguchi Yöntemi İle Parametre Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi).
- Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Deshmukh, P. S. & Sorte, M. B. (2013). Optimization of Welding Parameters Using Taguchi Method for Submerged Arc Welding On Spiral Pipes. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 3(5), 50-54. Erişim adresi: <https://www.ijrte.org/portfolio-item/E0864112513/>
- Eşme, U. B. (2006). TIG Kaynağında Kaynak Dayanımının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi* (s. 335-343). TİMAK Balıkesir
- Forcade, M. (1999). *Screw Conveyor*. Goodman Conveyor Company.
- Ghosh, A. C., Chattopadhyaya, S. & Singh, N. K. (2011). Assessment of heat affected zone of submerged arc welding process through digital image processing. *Procedia Engineering*, (326-328), 400-404 <https://doi:10.4028/www.scientific.net/DDF.326-328.400>.
- Gunaraj, V. M. & Murugan, N. (2000). Prediction and Optimization of Weld Bead Volume for the Submerged Arc Process. *Part 2 Welding Research Supplement Welding Journal*, 331-338. Erişim adresi: https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_2000_10_s_286.pdf
- Hsiao, Y. F., Tarng, S. & Huang, W. J. (2008). Optimization of Plasma Arc Welding Parameters by Using the Taguchi Method with the Grey Relational Analysis. *Materials and Manufacturing Processes*, 23(1), 51-58.
- İç, Y. T. ve Yıldırım, S. (2012). Improvement Of A Product Design Using Multi Criteria Decision Making Methods With Taguchi Method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 447-458. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6692/88659>
- Jain, A. B. (2018). Development of mathematical models to analyze and predict the weld bead geometry in submerged arc welding of low carbon alloy steel. *International Journal on Emerging Trends in Mechanical & Production Enginee*, 2(1), 2581-4486.
- Kaluç, E. (2004). *Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri*. Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi. Kocaeli: Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1 Yayın No: 356.
- Karabulut, H. T. (2016). Effect Of Different Current Values On Microalloyed Steels Joined By Submerged ArcWelding Method. *4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi* (109-117). Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi.

- Karaoglu, S. & Seçgin, A. (2008). Sensitivity analysis of submerged arc welding process parameters. *Journal of Material Processing Technology*, 202(1-3), 500-507. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092401360700903X>
- Kim, J. H., Young, J. O., Hwang, S., Kim, D. J. & Kim J. T. (2001). Fracture behavior of heat-affected zone in low alloy steels. *Journal of Nuclear Materials*, 209(2), 132-139.
- Konishi, S. & Taguchi, G. (1987). *Orthogonal arrays and linear graphs: tools for quality engineering*. MI: American Supplier Institute Allen Park.
- Kumanan, S., Dhas, E., Er, J. R. & Gowthaman K. (2007). Determination of submerged arc welding process parameters using Taguchi method and regression analysis. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 14, 177-183.
- Kumanan, S. & Dhas, J. K. (2011a). "Optimization of parameters of submerged arc weld using non conventional techniques. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5198-5204. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494611002018?via%3Dihub>
- Kumar, S. G., & Gupta, E. D. (2017). Optimization of Submerged Arc Welding Parameters for Joining Dissimilar Materials Using Taguchi. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 14(1), 51-54, <https://doi.org/10.9790/1684-1401035154>.
- Külahlı, E. (1988). *Kaynak Bilimi*. İstanbul: Oerlikon Yayını.
- Lin, H. L., Chou T. & Chou, C. P. (2007). Optimization Of Resistance Spot Welding Process Using Taguchi Method. *A Neural Network, Experimental Techniques*, 31, 30-36, Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2007.00186.x>.
- Lin, H. & Chou, C. (2006). Optimisation of The GTA Welding Process Using The Taguchi Method and a Neural Network. *Science and Technology of Welding & Joining*, 11(1), 120-128, Erişim adresi: <https://doi.org/10.1179/174329306X84328>.
- Lin, T. R. (2002). Experimental design and performance analysis of TiN coated carbide tool in face milling stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 217(1), 1-7, Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00026-2)
- Lochner, J. A. (1990). *Designing for Quality*. London: Wiley Online Library.
- Montgomery, D. (1991). *Design and Analysis of Experiments*. Toronto Singapore: John Wiley & Sons.
- Nian, C. Y., Yang, W. H. & Tarng, Y. S. (1999). Optimization of turning operations with multiple performance characteristics. *Journal of Materials Processing Technology*, 95(1-3), 90-96, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00271-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00271-X).
- Nogay, M. N. (2007). *Helezon Konveyörler Tasarım Kriterleri*. (Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Bölümü. İstanbul
- Pan, L. C. (2004). Optimization of Nd-YAG laser welding on magnesium alloy through Taguchi analysis. *J. of Optics & Laser Technolog*, 37(1), 33-42, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2004.02.007>.
- Phadke, M. S. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ United States
- Reddy, K. S. (2013). Optimization & Prediction Of Welding Parameters And Bead Geometry In Submerged Arc Welding. *International Journal of Applied Engineering Research and Development (IJAERD)*, 3(3), 1-6.
- Ross, P. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design - 2nd ed.*. New York: NY: McGraw-Hill.
- Seshagiri, S. M. & Moorthi, M. K. (2015). Electrode Extruder Using Screw Conveyor. *International Journal of Research (IJR)*, 2(5), 1095-1098.
- Su, Y. Y., Yao S. H., Wei C. S., Kao, W. H. & Wu, C. T. (2013). Design and performance analysis of TiCN-coated cemented carbide milling cutters. *Journal of Materials Processing Technology*, 15(1), 82-89, <https://doi.org/10.1179/026708499322911629>.
- Taguchi, G. E. (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. New York: McGraw Hill.
- Tarng, Y. S., Juang S. C. & Chang, C. H. (2002). The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology*, 128(1-3), 1-6, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01261-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01261-4).
- Vedrtam, V. S., Singh G. & Kumar, A. (2018). Optimizing submerged arc welding using response surface methodology, regression analysis, and genetic algorithm. *Defence Technology*, 14(3), 204-212, <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.01.008>.
- Yang, H. T. & Tarng, Y. S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 122-