

ROBOTİK GAZALTI KÖŞE KAYNAK İŞLEMİNİN TAGUCHI YONTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

Arş. Gör. Dr. A. Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN*

ÖZET

Günümüzde iki veya daha çok yanıtı beraber analiz ederek ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre en iyi kombinasyonları ortaya koyan yaklaşımlar önem kazanmıştır. Bu yaklaşımlardan biri de Taguchi Deneysel Tasarımı Yöntemidir. Bu yöntemde klasik deneysel tasarımların aksine faktör ve seviyeler teker teker değiştirilmek yerine eşzamanlı olarak değiştirilerek deneyler yapılmaktadır.

Bu çalışmada, optimizasyon problemlerinde başarılarını kanıtlayan ve kalite geliştirmenin yanı sıra ürünün kalitesini tasarım aşamasında sağlayan deneysel tasarımı metodu incelenmiştir. Ortogonal dizileri kullanarak deney sayısını büyük ölçüde azaltmaya ve kalite kayıplarına neden olan faktörleri belirleyerek kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en küçüklemeye çalışan aynı zamanda da bir deneysel tasarımı tekniği olan Taguchi Yöntemi robotik gazaltı kaynak işlemine uygulanmış ve modelden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deneysel Tasarımı, Taguchi Yöntemi, Robotik Gazaltı Kaynağı

THE IMPLEMENTATION OF TAGUCHI METHOD TO OPTIMIZATION OF ROBOTIC GAS METAL ARC WELDING

ABSTRACT

Today, with two or more response by analyzing the effects on the quality of the product and accordingly determines the best combination of approaches have gained importance revealing. One of these approaches is a method of Taguchi Design of Experiments. In this method, unlike the classic experimental design factors and levels to be changed one at a time instead of changing the experiments carried out simultaneously.

In this study, the experimental design method which has proven success in the optimization problems and ensures the quality of product at the design stage, is analyzed. An experimental design technique using orthogonal arrays to reduce number of experiments greatly and to minimize the impact of uncontrollable factors by identifying the factors that may cause loss of quality Taguchi Method is applied to robotic gas metal welding process and the results of the model are interpreted.

Key Words: Design of Experiment, Taguchi Method, Robotic Gas Metal Arc Welding

GİRİŞ

Günümüzün artan küresel rekabet ortamı ve ekonomik koşulları, işletmeleri ayakta kalabilmek için yüksek kaliteli fakat bunun yanı sıra düşük maliyetli ürünler veya süreçler üretmeye zorlamaktadır. Bu konuda, müşterilerin giderek artan beklentileri ve teknolojik ilerlemeler, kalite geliştirebilmek için çeşitli yaklaşımlar ve bazı yöntemler kullanmayı gerektirmektedir. Böylece ürünün veya sürecin istenen özelliklerini ifade eden kalite karakteristikleri tek tek ele alınarak kalite geliştirilmeye çalışılmıştır.

Taguchi Yöntemi optimizasyon problemlerinde çözüme, ortogonal diziler yardımıyla daha az sayıda deneyle ulaşılmasını sağlamaktadır. Ayrıca ürünün, üretim sırasındaki farklı değişkenlere ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı hassasiyetinin minimum olması, gerekli toleransların en az maliyetle sağlanması yoluyla ürünün toplumda yol açtığı kaybı en aza indirmeye çalışmaktadır. Bütün bunlar da yüksek kalitede ürün ve süreç geliştirilmesini desteklemektedir.

* Balıkesir Üniversitesi, Bandırma İ.İ.B.F., aysegamze@balikesir.edu.tr

Yöntemde kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörlerin çıktı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılır. Böylece ürün veya süreçteki değişkenlikleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirebilmek için kontrol edilebilen faktörlerin en iyi değerleri belirlenerek ürün ve süreç değişkenlikten en az etkilenecek duruma getirilmeye çalışılmaktadır. Ürün veya süreç performansına ancak kontrol edilemeyen faktörlere karşı duyarsız hale getirildiğinde robust denilir. Snee (1993), “bir prosesin yüksek kaliteli sayılabilmesi için etkin, yeterli ve robust (sağlam, güçlü) olmalıdır” demektedir. Taguchi Yönteminin robustluğu sağlama, kaliteyi artırma ve maliyetleri düşürme konusunda etkili olan yaklaşımı ciddi bir kullanım alanı bulmaktadır.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Y. S. Tarn; W. H. Yang (1998); Taguchi yöntemini kullanarak tozaltı SAW kaynağı işleminin optimizasyonu amacıyla yaptıkları çalışmada 30mmx80mmx120mm boyutlarında yumuşak çelik levhalar kullanmışlardır. Yapılan ANOVA analizleri sonucunda başlangıç faktör ve seviye kombinasyonundan çok farklı olarak $A_2B_1C_2D_2E_2$ şeklinde optimizasyon sağlanmıştır. SN oranlarındaki iyileşme de 3,64 dB olmuştur.

Y.S. Tarn, S.C. Juang ve C.H. Chang (2002); çalışmalarında tozaltı SAW kaynak işleminde kaynak parametrelerinin en iyilenmesi amacıyla çalışmışlardır. Yapılan analizler sonucunda; başlangıçta $A_1B_1C_2D_2E_1$ olan faktör ve seviye kombinasyonu $A_2B_2C_2D_2E_2$ olarak bulunmuştur. Kaynak işlemindeki gelişme ise 0,4373 birim olarak gerçekleşmiştir.

Lung Kwang Pan, Che Chung Wang, Ying Ching Hsiao, Kye Chyn Ho (2004), Nd: YAG lazer kaynağı işleminde magnezyum alaşımların Taguchi yöntemiyle optimizasyonunu konu almışlardır. Analizler sonucunda SN oranı en iyi kombinasyonda 44,56dB olmuştur. Toplam iyileşme yaklaşık %75 oranında gerçekleşmiştir.

G. Casalino, F. Curcio, F. Memola Capece Minutolo (2005), uçak ve uzay endüstrisi yanı sıra otomotiv endüstrisinde de kullanılan ve bir titanyum alaşımı olan Ti6Al4V'nin lazer kaynak makinasında Taguchi modeli ile optimizasyonu için deneyler yapmışlardır. Kalınlık, koruyucu gaz türü ve kaynak hızı denemedeki faktörleri oluşturmaktadır. Her bir kombinasyon için dört deneme yapılmıştır ve analizler sonucunda optimum faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

H. L. Lin, C. P. Chou'nun (2006), çalışmaları GTA (gaz tungsten ark) kaynağı sürecinin Taguchi yöntemi ve sinir ağları kullanarak optimizasyonuna dayanmaktadır. Deney materyali olarak 50mmx100mmx2,8mm boyutlarında çelik seçilmiştir. ANOVA analizi ile optimal faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

Hyoun-Keun Lee, Hyon-Soo Han, Kwang-Jae Son, Soon-Bog Hong (2006), çalışmalarında özellikle kanser rahatsızlığının tedavisinde radyoterapi aşamasında faydalanılan Nd: YAG(katı hal lazeri) lazer yönteminde kullanılan, iyot-125 radyoizotopu deney materyali olarak seçilmiştir. Radyoterapi işleminden önce iyot-125 maddesi titanyum kapsüllerin içine yerleştirilmektedir. Kullanılan Nd: YAG tipi lazerde yukarıdaki işlemin etkinliğini ve uygun faktör ve seviye kombinasyonunu belirlemek amacıyla Taguchi yöntemi uygulanmıştır.

A.G. Olabi, G. Casalino, K.Y. Benyounis, M.S.J. Hashmi (2006), yaptıkları çalışmada hem yapay sinir ağları hem de Taguchi yöntemini kullanmışlardır. CO₂ lazerli kaynak makinasında çeliğin kaynağını kaynak hızı, lazer gücü ve odak uzaklığı faktörleri açısından incelemişlerdir. L₉ ortogonal dizisi kullanılmıştır. Deney verilerini oluşturmak için kaynak dikişinin çeşitli noktalarından ölçümler yapılmıştır. SN oranı için en büyük-en iyi kullanılmıştır.

Saurav Datta, Asish Bandyopadhyay, Pradip Kumar Pal (2007), çalışmalarında tozaltı SAW kaynak işleminde Taguchi yöntemi kullanarak kaynak dikiş geometrisinin ve IEB geometrisinin parametre optimizasyonu için çalışmışlardır. Deneyler sonucunda her bir kalite karakteristiğine uygun SN oranları seçildikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen optimal faktör ve seviye kombinasyonu ile başlangıç faktör ve seviyelerine göre önemli iyileşmeler sağlanmıştır.

H.-L. Lin, T. Chou, C.-P. Chou (2007) Direnç nokta kaynağı işleminde Taguchi metodu ve sinir ağları kullanılarak optimizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Deney materyali olarak 0,7mm kalınlığında 30mmx100mm boyutlarında çelik kullanılmıştır. Analizler sonucunda optimizasyon sorunu çözülmüş ve uygun kombinasyon belirlenmiştir. Bu kombinasyondaki toplam iyileşme %15,98 olmuştur.

E.M. Anawa, A.G. Olabi (2008), CO₂ lazer kaynak yöntemi kullanarak kaynak banyosunun değerlerinin optimizasyonu için yapılan çalışmalarında faktör olarak lazer gücü, kaynak hızı ve odak kullanmışlardır. Kaynak banyosunun çeşitli noktalarından elde edilen ölçümler sonucu uygulanan deneyde varyans analizi yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlara kaynak hızı, kaynak banyosunun optimizasyonunda en önemli faktör olarak öne çıkmıştır.

Y. F. Hsiao, Y. S. Tarn, W. J. Huang (2008), çalışmayı PAW (plazma ark kaynağı) parametrelerinin gri ilişki analizi ile birlikte Taguchi yönteminin de kullanılmasıyla optimize edilmesi amacıyla yapmışlardır. Yapılan varyans analizi sonucunda en iyi faktör seviye kombinasyonu tespit edilmiştir. Buna göre faktörlerin kaynak işlemindeki önem sırası akım, kaynak hızı, plazma gazı akış oranı ve torç mesafesi şeklinde olmuştur.

2. METODOLOJİ: TAGUCHI YÖNTEMİ

Taguchi metodu, ürün ve proses performansını kontrol edilmesi zor olan faktörlere karşı duyarsızlaştırarak ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle geliştiren, klasik deney tasarımının G. Taguchi tarafından geliştirilmiş halidir.

Taguchi, kalite kontrolünün sadece üretim esnasında değil, aynı zamanda üretim öncesinde de önemini vurgulayarak, deney tasarımı ve analiz tekniklerini daha da geliştirmiştir. Taguchi'nin tam ve bütünlük sistemi, dünyada üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemekte, bu spesifikasyonlara göre tasarım geliştirmekte ve ürünün ya da üretim sürecinin bu spesifikasyonlara göre gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır (Barker, 1990: 13). Ayrıca Taguchi'ye göre ürün kalitesi ya da kalitesizliği ürünün müşteriye teslim edilmesinden sonra oluşan toplumsal kayıptır.

Taguchi yaklaşımını diğer lider kalite uzmanlarının yaklaşımlarından ayıran en önemli özelliklerden birisi; Taguchi'nin kalitenin yönetim felsefesi ya da istatistiğinden ziyade, teknik tarafıyla ilgilenmesidir. Ayrıca, Taguchi deney tasarımını, ürünleri gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı hale getirmek için temel bir araç olarak kullanmaktadır. Başka bir deyişle, Taguchi deney tasarımını, ürün ve üretim süreci kalite özelliklerindeki değişkenliğin etkilerini azaltmak için bir araç olarak görmektedir (Kağncıoğlu, 1998: 43).

3. ARAŞTIRMANIN AMACI ve DENEYİN YAPILMASI

Robotik gazaltı kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile eniyilenmesi uygulaması için Balıkesir'de faaliyet gösteren bir işletme seçilmiştir. Çalışmalarına 1976 yılında kabin üretmek başlayan Yariş Kabin şu anda 30.000m² açık, 40.000 m² kapalı alan içerisinde faaliyetine devam etmektedir.

Uygulama safhası, Taguchi Metodunun parametre tasarımı safhasında gerçekleştirilmiştir. Parametre tasarımının uygulama adımlarını incelemek için robotik kaynak yöntemi seçilmiştir. Emniyet kabini üretiminde kullanılan saç plakaların robotik gazaltı kaynak makinasında köşe kaynakların yapılmasında karşılaşılan penetrasyon (nüfuziyet) sorununun Taguchi deney tasarımını kullanarak optimizasyonunun sağlanması amaçlanmıştır.

Çok yanıtlı problem belirlenmesi ve çalışma ortamını oluşturulması için firmadaki uzman kişilerle bilgi alış verişi sağlanmıştır. Problemi belirlerken firmanın da aynı anda sorun yaşadığı, sorunları düzeltmek için deney çalışmaları yaptığı alanlar dikkate alınmıştır. Yapılan beyin fırtınası ve neden sonuç teknikleri sonrasında problem: 3 mm ERDEMİR 3237 (sıcak haddelenmiş alaşımsız yapı çeliği) tipi saç levha kullanılan kabin prototipinde köşe kaynakta yaşanan nüfuziyet sorunları olarak belirlenmiştir.

Probleme konu olan yapı çeliği Ereğli Demir Çelik fabrikasından levhalar şeklinde fabrikaya ulaşmaktadır. Bu levhalar kabin prototipinde kullanılacak boyutlarda lazer kesme makinasında kesilmek-

tedir. Kesilen levha parçalarına robotik gazaltı kaynak makinasında belli değerler altında kaynak yapılmaktadır. Sorun yaşanan 3 mm kalınlığında ERDEMİR 3237 tipi çelik, kabinin yapısal kaynak bölgeleri denilen kısımlarında kullanılmaktadır.

Üretilen kabinler çeşitli yöntemlerle parçalanmış ve her bir parça önceden belirlenen kalite kontrol testlerine tabi tutulmuştur. 3mm kalınlığındaki 3237 çeliğin kullanıldığı kısımlarda yapılan dağlama deneyleri sonucu elde edilen değerlerin önceden belirlenen standartlara uymadığı görülmüştür.

3 mm ERDEMİR 3237 tipi çelikte köşe kaynakta yaşanan nüfuziyet sorununun çözümü için Fronius TPS 4000 tipi robotik kaynak makinesiyle gazaltı kaynak metodu ile iterek ve sinerjik kaynak yöntemi kullanılarak, 15 derecelik bir açıyla nüfuziyeti arttırmak için deneyler yapılmıştır.

3.1. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

Çalışmada çeliğin kaynak nüfuziyetinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen faktörler ve bunların seviyeleri çalışma ekibi tarafından beyin fırtınası ve neden sonuç araçları kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca kullanıcı tarafından değiştirilmesi mümkün olmayan kontrol edilemeyen değişkenler de belirlenmiştir.

Faktörler belirlenirken, genel olarak tüm kaynak sürecinde çıktıya etki eden faktörler üzerinde tartışılmış ve nüfuziyete etki eden beş faktör belirlenmiştir. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deney bu üç seviyeli beş kontrol faktörünü içeren bir yapıda $L_{27}(3^5)$ ortogonal dizisi kullanılarak ve 27 deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri tablo 1’de verilmektedir.

Kontrol edilemeyen faktörler olarak da sıcaklık ve hava sirkülasyonu belirlenmiştir. Firmadan edinilen bilgiler doğrultusunda kaynak yapılan ortamda sıcaklığın minimum 12-13 °C ile maksimum 38 °C olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca kaynak banyosunun korunabilmesi için ortamda hava sirkülasyonu olamaması gerekmektedir.

Tablo 1: Kontrol Faktörleri ve Seviyelerin Değerleri

FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
1 A: Akım(Amper)	220	250	280
2 B: Kaynak Hızı(mm/sn)	0,3	0,4	0,5
3 C: Tel Kalınlığı (mm)	0,8	1	1,2
4 D: Zigzag Boyu (mm)	3	1	2
5 E: Gaz Karışımı	%93 Argon , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂	%83 Argon,%17 CO ₂	%98 Argon, %2 CO ₂

Ayrıca denemelere ek olarak faktörler arası etkileşim olup olmadığı incelenmiştir. Bunun sonucunda akım ile kaynak hızı arasında ters, akım ile tel kalınlığı arasında doğru orantı olduğu gözlenmiştir. Etkileşimler uygun ortogonal dizinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.2. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilmektedir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir.

Tablo 2: Faktör ve Etkileşimlerin Serbestlik Dereceleri ve Toplam Serbestlik Derecesi

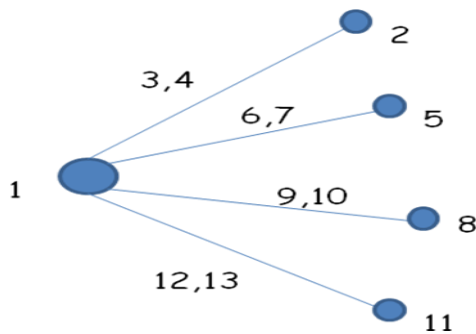
Faktör/Etkileşim	Serbestlik derecesi
A	$V_A=K_A-1=3-1=2$
B	$V_B=K_B-1=3-1=2$
C	$V_C=K_C-1=3-1=2$
D	$V_D=K_D-1=3-1=2$
E	$V_E=K_E-1=3-1=2$
A*B	$V_{A*B}=V_A*V_B=2*2=4$
A*C	$V_{A*C}=V_A*V_C=2*2=4$
Toplam Serbestlik Derecesi 18	

Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir (Ross, 1989: 74). Bu durumda $10+4+4=18$ bu çalışmanın serbestlik derecesidir. Serbestlik dereceleri için ayrıntılı tablo, tablo 2’de verilmektedir.

3.3. Faktörlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması

Faktör ve etkileşimlerin L_{27} ortogonal dizisine atanması doğrusal grafikler yardımıyla yapılmıştır. Kullanılmasına karar verilen doğrusal grafik şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1: Taguchi L_{27} Ortogonal Dizinine Ait Doğrusal Grafik



Kaynak: Park,1996: 87.

Yukarıdaki şekilde de açıkça görüldüğü gibi L_{27} ortogonal dizisi için etkileşimler dikkate alınarak A faktörü 1. sütun, B faktörü 2. sütun, 3 ve 4. sütunlar AxB etkileşimi olarak belirlenirken; C faktörü 5. sütun, 6 ve 7. sütunlar AxC etkileşimi için kullanılmıştır.

8. sütün D faktörü, 11. sütün E faktörü için kullanılacaktır. Kullanılmayan 9,10 ve 12,13 sütünları kukla sütünlarıdır. Faktörlerin L_{27} Tasarımına uygulanmış hali tablo 3'te gösterilmektedir.

Ayrıca Taguchi yönteminin rassallık prensibi gereği deneyler için rassal sıralar tayin edilmiştir. Deneyler rassal sıraya uygun olarak yapılmıştır. Ancak değerlerin tablolara işlenmesi işlemi ilk sıralamaya sadık kalınarak yapılmıştır.

Tablo 3: Taguchi L_{27} Tasarımının Deneye Uygulanmış Hali

Dency No	Rassal Sıra	FAKTÖRLER				
		AKIM	KAYNAK HIZI	TEL KALINLIĞI	ZİGZAG BOYU	GAZ KARIŞIMI
1	11	220	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
2	22	220	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO ₂
3	6	220	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
4	27	220	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
5	15	220	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
6	18	220	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO ₂
7	3	220	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO ₂
8	21	220	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
9	17	220	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
10	23	250	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
11	16	250	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO ₂
12	9	250	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
13	25	250	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
14	8	250	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
15	5	250	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO ₂
16	20	250	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO ₂
17	24	250	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
18	26	250	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
19	2	280	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂

20	10	280	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO2
21	14	280	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
22	12	280	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
23	19	280	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
24	7	280	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO2
25	4	280	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO2
26	1	280	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
27	13	280	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂

3.4. Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi

Deneyler, deney planına (L₂₇) uygun olarak yapılmıştır. Taguchi'nin tekraralama prensibi gereği her deney koşulunda beş ürün üretilmiştir. Problemin belirlenmesi kısmında bahsedilen 3mm kalınlığındaki ERDEMİR 3237 tipi çelik levhada yaşanan nüfuziyet sorununun giderilmesi için Metkon marka Metacut M250 metal kesme makinesiyle kesilen, kaynak yapılmış parçalara deney uygulanmıştır. Deneyler yapılırken L₂₇ deneyinde belirtilen her seviye kombinasyonu kaynak makinasına girilerek, parçalara belirlenen seviyelerde kaynak yapılmıştır. Kaynak yapılan bu parçalar, çelik üzerindeki çapaklanmayı engellemek için zımpara işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımpara işleminden sonra yüzeyin parlaklaşması ve görüntünün netleşmesi için %10'luk nitrik asit (HNO₃) çözeltisi banyosu içine atılmışlardır (dağlama deneyi). Parlatılan bu parçaların nüfuziyet değerlerinin, Nikon SMZ 800 Stereo Mikroskobu yardımıyla çekilen fotoğraflarının Clemex CAPTIVA yazılımı sayesinde bilgisayar ortamında ölçülmesiyle deneyler sonlandırılmıştır. Üretilen bu parçalar şeffaf torbalar içine konularak üzerlerine deney numaraları yazılmıştır. Belirtilen dağlama deneyleri kaynak parametrelerindeki değişmelerin kaynak metalinin boyut ve şekline, nüfuziyet derinliğine, kaynak yapısına ve derinliğine etkilerini belirtmek için kullanılmaktadır.

Bütün parçalar nüfuziyetin görünümü ve nüfuziyetin değeri gibi iki kalite karakteristiği açısından ölçülmüştür. Gözle inceleme işlemi uzman kişilerce yapılmıştır. Üretilen ürünlerin görünüm açısından incelenmesi kabul-evet/red-hayır şeklinde yapılmaktadır. Bu nitel değerler nicel değerlere dönüştürülerek, (0 ve 1) sayısal olarak incelenmeye ve analizlere uygun hale getirilmiştir.

Nüfuziyetin değeri için fabrika tarafından kaynak yapılan her türlü metal için ayrı ayrı uygulanan sınır değerler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sınır değerler çalışmanın uygulandığı fabrikanın tedarikçisi olduğu; tarım ve iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren Case New Holland'ın standartları ve TS EN 50160 Metal Standartları çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu çalışma için standart şöyledir: 3mm kalınlığında çeliğin köşe kaynağında nüfuziyet; kalınlığın minimum %15' i ile maksimum %60'ı arasında olmalıdır. Bu durumda değerler, minimum 0,45 ile maksimum 1,8 arasında olmalıdır.

Bu karakteristiklere ait veriler tablo 4 ve tablo 6'da görüldüğü gibidir. Hesaplanan bu verilere dayanarak her bir yanıtın ortalama, standart sapma ve değişim aralığı deney bazında belirlenmiştir.

Tablo 4: Nüfuziyetin Görünüm Verileri

Deney No	Nüfuziyet Görünümü İçin Nitel Veriler	Nüfuziyet Görünümü İçin Nicel Veriler	Nicel Veriler İçin
----------	---------------------------------------	---------------------------------------	--------------------

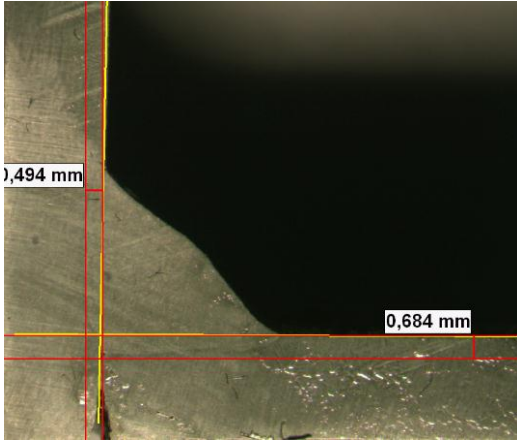
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	TOP1	ORT1	SS1	R1
1	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
2	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
3	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
4	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
5	H	H	H	E	E	0	0	0	1	1	2	0,40	0,55	1
6	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
7	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
8	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
9	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
10	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
11	E	E	E	H	H	1	1	1	0	0	3	0,60	0,55	1
12	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
13	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
14	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
15	H	H	E	E	E	0	0	1	1	1	3	0,60	0,55	1
16	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
17	E	E	H	H	H	1	1	0	0	0	2	0,40	0,55	1
18	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
19	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
20	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
21	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
22	H	H	H	H	E	0	0	0	0	1	1	0,20	0,45	1
23	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
24	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
25	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
26	E	E	E	H	H	1	1	1	0	0	3	0,60	0,55	1

27	E	E	H	H	H	1	1	0	0	0	2	0,40	0,55	1
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------	------	---

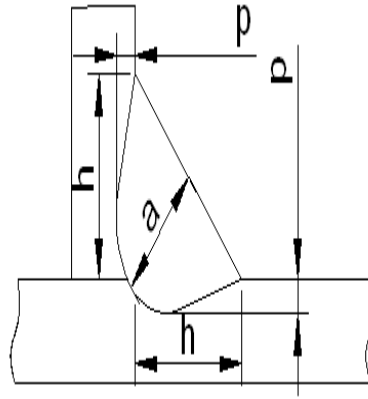
E:Kabul (1) H:Red(0)

Nüfuziyetin değeri için veriler fotoğraflardaki değerlerden elde edilmişlerdir. Aşağıdaki şekil 2(a) ve 2(c) sırasıyla birinci ve ikinci deney için sonuçları içerir. Şekilden de anlaşılacağı gibi kaynak, köşe kaynağı olması nedeniyle iki ayrı sonuç ortaya çıkmıştır. Şekil 2 (b)'de "p" ile gösterilen kısmın ölçülmesinden elde edilen değerler şekil 2 (a) ve 2(c) üzerinde yazılı olan değerlerdir. Analizler sırasında sorun yaşamamak amacıyla her bir parça x ve y eksenine ayrılarak model uygulanmıştır. Burada ilk sütunlar x eksenindeki değerleri, ikinci sütunlar y eksenindeki değerleri göstermektedir.

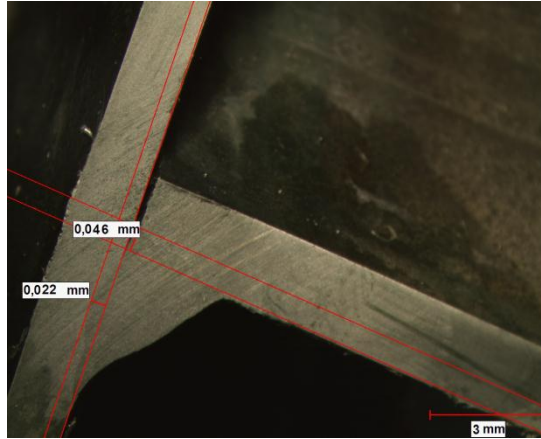
Şekil 2: İlk Deney İçin Nüfuziyet Değerleri



(a)



(b)



(c)

Tablo 5: Nüfuziyetin Değeri

Deneý No	Nüfuziyet Değeri									
	1		2		3		4		5	
1	0,684	0,494	0,678	0,456	0,712	0,470	0,688	0,465	0,710	0,466
2	0,022	0,046	0,035	0,022	0,043	0,042	0,033	0,056	0,023	0,051
3	0,475	0,480	0,468	0,411	0,435	0,499	0,410	0,485	0,465	0,475
4	0,612	0,587	0,634	0,548	0,602	0,512	0,534	0,523	0,622	0,567
5	1,294	0,513	1,212	0,498	1,287	0,498	1,231	0,423	1,342	0,502
6	0,196	0,172	0,156	0,163	0,178	0,176	0,156	0,112	0,198	0,143
7	0,203	0,284	0,213	0,273	0,265	0,276	0,298	0,277	0,201	0,223
8	0,896	0,952	0,801	0,902	0,889	0,899	0,865	0,917	0,876	0,925
9	0,465	0,462	0,468	0,411	0,465	0,689	0,462	0,675	0,465	0,564
10	0,713	0,983	0,693	0,973	0,735	0,786	0,998	0,677	0,921	0,610
11	0,456	1,058	0,466	1,056	0,478	1,057	0,522	1,056	1,043	0,498
12	0,486	0,462	0,501	0,612	0,489	0,689	0,465	0,687	0,476	0,675
13	0,684	0,964	0,678	0,956	0,671	0,912	0,465	0,415	0,718	0,904
14	0,612	1,587	0,634	1,548	0,602	1,512	0,554	1,423	0,522	1,467
15	0,455	0,718	0,468	0,711	0,445	0,707	0,476	0,685	0,465	0,765
16	1,070	0,984	1,071	0,673	1,076	0,676	1,069	0,677	1,070	0,623
17	0,465	0,662	0,478	0,711	0,475	0,689	0,482	0,743	0,495	0,764
18	0,684	0,454	0,678	0,456	0,712	0,465	0,688	0,465	0,753	0,466
19	1,049	0,972	1,050	0,952	1,089	0,889	0,875	0,987	1,047	0,965
20	0,453	0,642	0,712	0,695	0,452	0,541	0,653	0,902	0,752	0,445
21	0,335	0,412	0,435	0,432	0,715	0,712	0,613	0,801	0,793	0,815
22	0,712	0,623	0,956	0,563	0,811	0,623	0,715	0,756	0,825	0,922
23	1,041	1,232	1,078	1,221	0,985	1,307	0,923	1,005	1,052	1,033
24	0,923	0,871	0,930	0,751	0,785	0,825	0,743	0,833	0,791	0,843

25	0,958	1,021	0,828	1,033	0,993	0,871	1,038	1,113	1,075	1,003
26	0,658	0,633	0,727	0,518	0,577	0,635	0,817	0,551	0,458	0,539
27	0,351	0,423	0,391	0,417	0,228	0,535	0,343	0,456	0,652	0,527

Tablo 6: x ve y Eksenleri İçin Nüfuziyetin Değeri

Deney No	Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)				Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)			
	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3
1	3,472	0,694	0,016	0,034	2,351	0,470	0,014	0,038
2	0,156	0,031	0,009	0,021	0,217	0,043	0,013	0,034
3	2,253	0,451	0,027	0,065	2,350	0,470	0,034	0,088
4	3,004	0,601	0,039	0,100	2,737	0,547	0,031	0,075
5	6,366	1,273	0,052	0,130	2,434	0,487	0,036	0,090
6	0,884	0,177	0,021	0,042	0,766	0,153	0,026	0,064
7	1,180	0,236	0,043	0,097	1,333	0,267	0,025	0,061
8	4,327	0,865	0,038	0,095	4,595	0,919	0,021	0,053
9	2,325	0,465	0,002	0,006	2,801	0,560	0,124	0,278
10	4,060	0,812	0,138	0,305	4,029	0,806	0,169	0,373
11	2,965	0,593	0,253	0,587	4,725	0,945	0,250	0,560
12	2,417	0,483	0,014	0,036	3,125	0,625	0,096	0,227
13	3,216	0,643	0,101	0,253	4,151	0,830	0,234	0,549
14	2,924	0,585	0,046	0,112	7,537	1,507	0,065	0,164
15	2,309	0,462	0,012	0,031	3,586	0,717	0,029	0,080
16	5,356	1,071	0,003	0,007	3,633	0,727	0,146	0,361
17	2,395	0,479	0,011	0,030	3,569	0,714	0,041	0,102
18	3,515	0,703	0,031	0,075	2,306	0,461	0,006	0,012
19	5,110	1,022	0,084	0,214	4,765	0,953	0,038	0,098
20	3,022	0,604	0,143	0,300	3,225	0,645	0,173	0,457

21	2,891	0,578	0,191	0,458	3,172	0,634	0,198	0,403
22	4,019	0,804	0,100	0,244	3,487	0,697	0,144	0,359
23	5,079	1,016	0,062	0,155	5,798	1,160	0,133	0,302
24	4,172	0,834	0,086	0,187	4,123	0,825	0,045	0,120
25	4,892	0,978	0,095	0,247	5,041	1,008	0,087	0,242
26	3,237	0,647	0,138	0,359	2,876	0,575	0,055	0,117
27	1,965	0,393	0,157	0,424	2,358	0,472	0,056	0,118

3.4.1. Kalite Kaybının Hesaplanması

Bu aşamada, her bir yanıt için kalite kaybı hesaplanır. Taguchi'ye göre aşağıdaki üç formül kullanılmaktadır;

Daha küçük daha iyi yanıt için,

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (1)$$

Daha büyük daha iyi yanıt için,

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (2)$$

Nominal en iyi yanıt için,

$$L_{ij} = k_3 \left(\frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2 \quad (3)$$

Burada;

L_{ij} = j. denemedeki i. yanıtın kaybı

y_{ijk} = k. tekrar ve j. denemede i. yanıt için gözlenen veri

n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2$$

k_1, k_2, k_3 = kalite kayıp katsayıları

$$-10 \log_{10}(MSD) = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - T)^2 \right] \quad (4)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada T, hedef değeri gösterir. Taguchi'deki tanımlama:

$$(5)$$

dır. Sonuç olarak nominal en iyi yanıt için kalite kaybı denklemleriyle hesaplanmaktadır.

Kalite kaybı hesaplanırken nüfuziyet değerleri belli aralıkta olması istendiği için “nominal en iyi” yanıtının formülü kullanılmıştır. Hesaplanan kalite kayıpları tablo 7’de gösterilmektedir.

3.4.2.Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü Oranını Belirlenmesi

Varyasyonun azaltılmasında ilk olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsünü normalleştirmek gerekmektedir. Her yanıt için, her bir denemede kalite kaybı, j. denemede en büyük kalite kaybına bölünür. Dolayısıyla normalleştirilen en büyük değer 1'dir. Normalleştirilen daha küçük değer, daha küçük kalite kaybı anlamına gelir. Böylece, normalleştirilen kalite kaybı, 0 ile 1 arasında değişir. Bu yüzden her bir yanıt için kalite kaybı doğrudan doğruya toplanabilir. İkincisi, her denemede normalleştirilen toplam kalite kaybını (TNQL) hesaplamak için her bir yanıtı uygun bir ağırlık verilir. En sonunda, MRSN oranı da TNQL'a dayanarak hesaplanır. Bu üç adım aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Tong, Su ve Wang, 1997: 371);

Adım 1: Her bir yanıt için her denemenin kalite kaybını normalleştir.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i} \quad L_i = \max\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \quad (6)$$

Adım 2: Her deneme için normalleştirilen kalite kaybını hesapla.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \quad (7)$$

$w_i = i$. Normalleştirilen yanıtın ağırlığı ($i = 1, 2, \dots, m$)

Adım 3: Her deneme için MRSN oranı belirle.

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(NTNQL_j) \quad (8)$$

Adım 1’de verilen formül dikkate alınarak hesaplanan normalleştirilen kalite kayıpları tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 7: Hesaplanan Kalite Kayıp Değerleri

D deney No	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)
	L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}
1	0,00000	0,00050	0,00092
2	-	0,07931	0,09068
3	-	0,00369	0,00529
4	0,00000	0,00425	0,00317
5	1,87500	0,00168	0,00553
6	-	0,01347	0,02951
7	0,00000	0,03379	0,00859
8	0,00000	0,00192	0,00054
9	0,00000	0,00002	0,04914
10	0,00000	0,02896	0,04415
11	0,83333	0,18176	0,06992
12	0,00000	0,00079	0,02379
13	0,00000	0,02478	0,07917
14	0,00000	0,00610	0,00184
15	0,83333	0,00068	0,00168
16	0,00000	0,00001	0,04019
17	1,87500	0,00052	0,00328
18	-	0,00192	0,00015
19	0,00000	0,00676	0,00158
20	0,00000	0,05603	0,07173
21	-	0,10897	0,09741
22	5,00000	0,01547	0,04267
23	0,00000	0,00373	0,01314

24	0,00000	0,01065	0,00293
25	0,00000	0,00944	0,00753
26	0,83333	0,04536	0,00913
27	1,87500	0,15956	0,01425

Tablo 8: Hesaplanan Normalleştirilen Kalite Kayıp Değerleri

Deney No	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)
	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}
1	0,00000	0,00277	0,00943
2	-	0,43632	0,93087
3	-	0,02030	0,05428
4	0,00000	0,02340	0,03256
5	0,37500	0,00923	0,05674
6	-	0,07414	0,30298
7	0,00000	0,18591	0,08815
8	0,00000	0,01057	0,00552
9	0,00000	0,00011	0,50446
10	0,00000	0,15931	0,45325
11	0,16667	1,00000	0,71777
12	0,00000	0,00436	0,24426
13	0,00000	0,13631	0,81269
14	0,00000	0,03358	0,01893
15	0,16667	0,00373	0,01729
16	0,00000	0,00004	0,41261
17	0,37500	0,00287	0,03364
18	-	0,01055	0,00158
19	0,00000	0,03718	0,01627
20	0,00000	0,30827	0,73640

21	-	0,59951	1,00000
22	1,00000	0,08511	0,43803
23	0,00000	0,02049	0,13487
24	0,00000	0,05861	0,03012
25	0,00000	0,05192	0,07729
26	0,16667	0,24954	0,09374
27	0,37500	0,87784	0,14626

Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kayıp her yanıtın aldığı ağırlık değeri ile çarpılarak toplanır ve bu şekilde bir deney için TNQL değeri hesaplanır.

$$TNQL_1 = w_1 C_{11} + w_2 C_{21} + w_3 C_{31} = 1*0,000 + 2*0,00277 + 2*0,00943 = 0,02441$$

w_i = i. yanıtın aldığı ağırlık katsayısıdır.

$TNQL_1 = 1$ nolu deney için normalleştirilen toplam kalite kaybını ifade etmektedir.

Yanıtların aldığı ağırlıklar firmada çalışma ekibiyle birlikte tartışarak verilmiştir. Ağırlıklar verilirken kaynak dikişinin şekli, önceden belirlenen sınırlamalar, dikişin güçlendirmeye ihtiyaç duyup duymaması gibi faktörler dikkate alınmıştır.

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. TNQL'nin daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir. Atanan ağırlıklara göre (w_1, w_2, w_3) sinyal gürültü oranı hesaplanmaktadır. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı deneyde yerine konularak 1 nolu deney için performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı;

$$MRSN_1 = -10 \log_{10} (TNQL_1) = -10 \log_{10} (0,02441) = 16,12422$$

olarak bulunur.

Aynı şekilde bulunan bütün deneylere ait L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Ölçülen Verilerden Hesaplanan ortalamalar ve L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_j$, $MRSN_j$ Değerleri

Deney No	Nicel Veriler İçin				Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)				Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)				Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	1:2:2 İçin		3:1:1 İçin		2:6:6 İçin	
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3	L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	$TNQL_j$	$MRSN_j$	$TNQL_j$	$MRSN_j$	$TNQL_j$	$MRSN_j$
1	5	1,000	0,000	0	3,472	0,694	0,016	0,034	2,351	0,470	0,014	0,038	0,00000	0,00050	0,00092	0,00000	0,00277	0,00943	0,0244	16,1242	0,0122	19,1345	0,0732	11,3530
2	0	0,000	0,000	0	0,156	0,031	0,009	0,021	0,217	0,043	0,013	0,034	-	0,07931	0,09068	-	0,43632	0,93087	-	-	-	-	-	-
3	0	0,000	0,000	0	2,253	0,451	0,027	0,065	2,350	0,470	0,034	0,088	-	0,00369	0,00529	-	0,02030	0,05428	-	-	-	-	-	-
4	5	1,000	0,000	0	3,004	0,601	0,039	0,100	2,737	0,547	0,031	0,075	0,00000	0,00425	0,00317	0,00000	0,02340	0,03256	0,1119	9,5112	0,0559	12,5215	0,3357	4,7400
5	2	0,400	0,548	1	6,366	1,273	0,052	0,130	2,434	0,487	0,036	0,090	1,87500	0,00168	0,00553	0,37500	0,00923	0,05674	0,5069	2,9504	1,1909	-0,7590	1,1458	-0,5911
6	0	0,000	0,000	0	0,884	0,177	0,021	0,042	0,766	0,153	0,026	0,064	-	0,01347	0,02951	-	0,07414	0,30298	-	-	-	-	-	-
7	5	1,000	0,000	0	1,180	0,236	0,043	0,097	1,333	0,267	0,025	0,061	0,00000	0,03379	0,00859	0,00000	0,18591	0,08815	0,5481	2,6113	0,2740	5,6216	1,6443	-2,1598
8	5	1,000	0,000	0	4,327	0,865	0,038	0,095	4,595	0,919	0,021	0,053	0,00000	0,00192	0,00054	0,00000	0,01057	0,00552	0,0321	14,9240	0,0160	17,9343	0,0965	10,1527
9	5	1,000	0,000	0	2,325	0,465	0,002	0,006	2,801	0,560	0,124	0,278	0,00000	0,00002	0,04914	0,00000	0,00011	0,50446	1,0091	-0,0395	0,5045	2,9707	3,0274	-4,8107
10	5	1,000	0,000	0	4,060	0,812	0,138	0,305	4,029	0,806	0,169	0,373	0,00000	0,02896	0,04415	0,00000	0,15931	0,45325	1,2251	-0,8817	0,6125	2,1285	3,6753	-5,6529
11	3	0,600	0,548	1	2,965	0,593	0,253	0,587	4,725	0,945	0,250	0,560	0,83333	0,18176	0,06992	0,16667	1,00000	0,71777	3,6022	-5,5657	2,2177	-3,4591	10,6399	-10,2694
12	5	1,000	0,000	0	2,417	0,483	0,014	0,036	3,125	0,625	0,096	0,227	0,00000	0,00079	0,02379	0,00000	0,00436	0,24426	0,4972	3,0343	0,2486	6,0446	1,4917	-1,7368
13	5	1,000	0,000	0	3,216	0,643	0,101	0,253	4,151	0,830	0,234	0,549	0,00000	0,02478	0,07917	0,00000	0,13631	0,81269	1,8979	-2,7829	0,9490	0,2273	5,6939	-7,5541
14	5	1,000	0,000	0	2,924	0,585	0,046	0,112	7,537	1,507	0,065	0,164	0,00000	0,00610	0,00184	0,00000	0,03358	0,01893	0,1050	9,7874	0,0525	12,7977	0,3150	5,0162
15	3	0,600	0,548	1	2,309	0,462	0,012	0,031	3,586	0,717	0,029	0,080	0,83333	0,00068	0,00168	0,16667	0,00373	0,01729	0,2087	6,8046	0,5210	2,8314	0,4594	3,3775
16	5	1,000	0,000	0	5,356	1,071	0,003	0,007	3,633	0,727	0,146	0,361	0,00000	0,00001	0,04019	0,00000	0,00004	0,41261	0,8253	0,8338	0,4126	3,8441	2,4759	-3,9373
17	2	0,400	0,548	1	2,395	0,479	0,011	0,030	3,569	0,714	0,041	0,102	1,87500	0,00052	0,00328	0,37500	0,00287	0,03364	0,4480	3,4871	1,1615	-0,6502	0,9690	0,1365
18	0	0,000	0,000	0	3,515	0,703	0,031	0,075	2,306	0,461	0,006	0,012	-	0,00192	0,00015	-	0,01055	0,00158	-	-	-	-	-	-

19	5	1,000	0,000	0	5,110	1,022	0,084	0,214	4,765	0,953	0,038	0,098	0,00000	0,00676	0,00158	0,00000	0,03718	0,01627	0,1069	9,7099	0,0534	12,7202	0,3207	4,9387
20	5	1,000	0,000	0	3,022	0,604	0,143	0,300	3,225	0,645	0,173	0,457	0,00000	0,05603	0,07173	0,00000	0,30827	0,73640	2,0893	-3,2000	1,0446	-0,1897	6,2680	-7,9712
21	0	0,000	0,000	0	2,891	0,578	0,191	0,458	3,172	0,634	0,198	0,403	-	0,10897	0,09741	-	0,59951	1,00000	-	-	-	-	-	-
22	1	0,200	0,447	1	4,019	0,804	0,100	0,244	3,487	0,697	0,144	0,359	5,00000	0,01547	0,04267	1,00000	0,08511	0,43803	2,0462	-3,1096	3,5231	-5,4693	5,1388	-7,1086
23	5	1,000	0,000	0	5,079	1,016	0,062	0,155	5,798	1,160	0,133	0,302	0,00000	0,00373	0,01314	0,00000	0,02049	0,13487	0,3107	5,0761	0,1553	8,0864	0,9322	0,3049
24	5	1,000	0,000	0	4,172	0,834	0,086	0,187	4,123	0,825	0,045	0,120	0,00000	0,01065	0,00293	0,00000	0,05861	0,03012	0,1774	7,5092	0,0887	10,5195	0,5323	2,7380
25	5	1,000	0,000	0	4,892	0,978	0,095	0,247	5,041	1,008	0,087	0,242	0,00000	0,00944	0,00753	0,00000	0,05192	0,07729	0,2584	5,8767	0,1292	8,8870	0,7752	1,1055
26	3	0,600	0,548	1	3,237	0,647	0,138	0,359	2,876	0,575	0,055	0,117	0,83333	0,04536	0,00913	0,16667	0,24954	0,09374	0,8532	0,6893	0,8432	0,7402	2,3930	-3,7894
27	2	0,400	0,548	1	1,965	0,393	0,157	0,424	2,358	0,472	0,056	0,118	1,87500	0,15956	0,01425	0,37500	0,87784	0,14626	2,4232	-3,8439	2,1491	-3,3225	6,8946	-8,3851

3.4.3. En iyi Faktör/Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi

MRSN çok yanıtli problemler için performans istatistiği olarak kullanılmaktadır. Deneyde bu performans ölçüsünün en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bulunan değerler yardımıyla faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörün daha önemli ve bu faktörlere ait hangi seviyenin daha iyi olduğu bulunmaktadır.

Bu çalışma için deneyde kullanılacak $MRSN_j$ değerlerini belirlemek için ağırlıklar $w_1=1.5$, $w_2=1.0$, $w_3=1.0$ olarak belirlenmiştir. Tablo 10'da bu ağırlıklar kullanılarak belirlenen $MRSN_j$ değerleri görülmektedir.

Tablo 10'daki $MRSN_j$ değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanıp tablo 11'de verilmiştir.

$$A_{S1} = (19,134+0+0+12,521+2,017+0+5,621+17,934+2,970)/9 = 6,689$$

$$A_{S2} = (2,128-2,939+6,044+0,227+12,797+5,669+3,844+0)/9 = 3,333$$

$$A_{S3} = (12,720-0,189+0-3,060+8,086+10,519+8,887+2,267-2,004)/9 = 4,136$$

Tablo 10: $w_1=1.5$, $w_2=1.0$ ve $w_3=1.0$ Ağırlıkları İçin MRSN Değerleri

Deney No	Sütun Numarası					Nüfuziyet Görünümü		Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)		Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)		1,5:1:1 İçin	
	A	B	C	D	E	ORT1	SS1	ORT2	SS2	ORT3	SS3	TNQL _j	MRSN _j
1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	0,694	0,016	0,470	0,014	0,01221	19,13452
2	1	1	2	2	2	0,00	0,00	0,031	0,009	0,043	0,013	-	-
3	1	1	3	3	3	0,00	0,00	0,451	0,027	0,470	0,034	-	-
4	1	2	1	2	3	1,00	0,00	0,601	0,039	0,547	0,031	0,05596	12,52157
5	1	2	2	3	1	0,40	0,55	1,273	0,052	0,487	0,036	0,62847	2,01716
6	1	2	3	1	2	0,00	0,00	0,177	0,021	0,153	0,026	-	-
7	1	3	1	3	2	1,00	0,00	0,236	0,043	0,267	0,025	0,27405	5,62165
8	1	3	2	1	3	1,00	0,00	0,865	0,038	0,919	0,021	0,01609	17,93430
9	1	3	3	2	1	1,00	0,00	0,465	0,002	0,560	0,124	0,50458	2,97074
10	2	1	1	1	1	1,00	0,00	0,812	0,138	0,806	0,169	0,61256	2,12854
11	2	1	2	2	2	0,60	0,55	0,593	0,253	0,945	0,250	1,96777	-2,93975
12	2	1	3	3	3	1,00	0,00	0,483	0,014	0,625	0,096	0,24862	6,04464

13	2	2	1	2	3	1,00	0,00	0,643	0,101	0,830	0,234	0,94900	0,22736
14	2	2	2	3	1	1,00	0,00	0,585	0,046	1,507	0,065	0,05251	12,79771
15	2	2	3	1	2	0,60	0,55	0,462	0,012	0,717	0,029	0,27102	5,66999
16	2	3	1	3	2	1,00	0,00	1,071	0,003	0,727	0,146	0,41265	3,84419
17	2	3	2	1	3	0,40	0,55	0,479	0,011	0,714	0,041	0,59901	2,22569
18	2	3	3	2	1	0,00	0,00	0,703	0,031	0,461	0,006	-	-
19	3	1	1	1	1	1,00	0,00	1,022	0,084	0,953	0,038	0,05345	12,72024
20	3	1	2	2	2	1,00	0,00	0,604	0,143	0,645	0,173	1,04467	-0,18978
21	3	1	3	3	3	0,00	0,00	0,578	0,191	0,634	0,198	-	-
22	3	2	1	2	3	0,20	0,45	0,804	0,100	0,697	0,144	2,02314	-3,06026
23	3	2	2	3	1	1,00	0,00	1,016	0,062	1,160	0,133	0,15537	8,08642
24	3	2	3	1	2	1,00	0,00	0,834	0,086	0,825	0,045	0,08873	10,51953
25	3	3	1	3	2	1,00	0,00	0,978	0,095	1,008	0,087	0,12921	8,88708
26	3	3	2	1	3	0,60	0,55	0,647	0,138	0,575	0,055	0,59328	2,26739
27	3	3	3	2	1	0,40	0,55	0,393	0,157	0,472	0,056	1,58660	-2,00469

Tablo 11: Faktörlerin MRSN Üzerindeki Ana Etkileri

MRSN'de Ana Etkiler SEVİYELER				
Faktörler	S1	S2	S3	Maks-Min
A	6,689	3,333	4,136	3,356
B	4,100	5,420	4,638	1,320
C	6,892	4,689	2,578	4,314
D	8,067	0,836	5,255	7,231
E	6,428	3,490	4,240	2,938

Bulunan bu değerler içinden en büyük değere sahip olan seviye, en iyi seviye olarak seçilmektedir. Buna göre A faktörü için en iyi seviye 1. seviyedir. Tabloya göre söz konusu ağırlıklar için en iyi faktör/seviye kombinasyonu $A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$ olarak bulunur. Bu durumda optimal kombinasyonda; akım: 220 Amper, kaynak hızı: 0,4mm/s, tel kalınlığı: 0,8mm, zigzag boyu: 3mm, koruyucu gaz türü: %93 Ar , % 2 O₂ , % 5 CO₂ olmuştur. Görüldüğü gibi, tüm faktörlerin 3. seviyelerinden oluşan başlangıç kombinasyonundan ($A_3 B_3 C_3 D_3 E_3$) çok farklı bir kombinasyon ortaya çıkmıştır.

Her faktörün seviyelerindeki değişimler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler D, C, A, E, B şeklinde sıralanırlar. D faktörünün önemli olması işlemin köşe kaynakta yapılmasından ve zigzag etkisinin nüfuziyetin eşit dağılmasına sağladığı faydadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.4.4. Doğrulama Deneyi

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden beşer adet deney numunesi alınmış ve bunların kalite karakteristiklerine ait analiz değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere ait değerler tablo 12’de verilmektedir. Her iki faktör/seviye kombinasyonuna göre ayrı ayrı elde edilen bu verilerden kalite karakteristiğine ilişkin ortalama, standart sapma, değişim aralığı hesaplanmıştır. Ayrıca daha önce yapıldığı gibi söz konusu kalite karakteristiklerine ait kayıp (L_{ij}), normalleştirilen kayıp (C_{ij}) hesaplandıktan sonra normalleştirilen toplam kalite kaybı (TNQL) ve çok yanıtlı sinyal gürültü (MRSN) oranı bulunmuştur. Bulunan veriler tablo 13 ve tablo 14’de verilmektedir.

Tablo 12: Doğrulama Deneyi Verileri

	Nüfuziyet Görünümü İçin Nicel Değerler				
	1	2	3	4	5
*	0	0	0	0	1
**	1	1	1	1	1
	Nüfuziyet Değeri (X eksen)				
	1	2	3	4	5
*	0,784	0,768	0,632	0,788	0,895
**	0,986	1,003	1,110	0,998	1,005
	Nüfuziyet Değeri (Y eksen)				
	1	2	3	4	5
*	0,814	0,876	0,702	0,814	0,808
**	0,998	1,006	1,104	0,995	1,112

* : Deneyden önceki faktör ve seviye kombinasyonuna ait veriler ($A_3B_3C_3D_3E_3$)

** : Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu ($A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$)

Tablo 13 ve tablo 14’den de görüleceği gibi iki farklı üretim koşulunda üretilen parçalar arasında ciddi farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Tablo 13: Normalleştirilen Kalite Kayıplarına Göre(C_{ij}) Hesaplanan TNQL Ve MRSN Değerleri

	Nicel Veriler İçin				Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)				Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)				Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	1,5:1:1 İçin	
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3							L_{1j}	L_{2j}
*	1	0,200	0,447	1	3,867	0,773	0,094	0,263	4,014	0,803	0,063	0,174	5,0000	0,0147	0,0061	1	1,0000	1,0000	3,5000	-5,4407
**	5	1,000	0,000	0	5,102	1,020	0,051	0,124	5,215	1,043	0,060	0,117	0,0000	0,0025	0,0033	0	0,1676	0,5318	0,6994	1,5524

Tablo 14: Kayıplara Göre (L_{ij}) Hesaplanan TNQL Ve MRSN Değerleri

	Nicel Veriler İçin				Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)				Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)				Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	1,5:1:1 İçin				
	TOP 1	ORT 1	SS1	R 1	TOP 2	ORT 2	SS2	R2	TOP 3	ORT 3	SS3	R3				L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}	TNQL _j	MRSN _j
*	1	0,200	0,447	1	3,867	0,773	0,094	0,263	4,014	0,803	0,063	0,174	5,0000	0,0147	0,0061	1	1,0000	1,0000	3,5000	-5,4407
**	5	1,000	0,000	0	5,102	1,020	0,051	0,124	5,215	1,043	0,060	0,117	0,0000	0,0025	0,0033	0	0,1676	0,5318	0,6994	1,5524

* : Deneyden önceki faktör ve seviye kombinasyonuna ait veriler ($A_3 B_3 C_3 D_3 E_3$)

** : Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu ($A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$)

Tablo 13'deki sonuçlarda da görüldüğü gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme $1,55244 - (-5,44068) = 6,99312$ dB dir. Normalleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre $22,4256 - (-8,7626) = 31,1882$ dB'lik iyileşme sağlanmıştır. Doğrulama deneyinin yapılmasıyla prostedeki iyileştirme açıkça görülmüştür.

Kalite karakteristikleri düzeyinde de iyileşmeler hesaplanarak tablo 15 oluşturulmuştur. Tablo 13'deki verilerde hesaplanmış olan ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak kalite karakteristikleri için SN oranları bulunmuş ve böylece net iyileşme (varyasyon azaltma) ortaya çıkmıştır.

Tablo 15: Doğrulama Deneyi Sonuçları

		Başlangıç Kombinasyonu Değerleri	Eniyi Kombinasyon Değerleri	İyileşme (dB)
Nüfuziyet Görünümü	SN	-6,6897	60	66,6897
	Ortalama	0,2	1	
	Varyans	0,2	0,000001	
Nüfuziyet Değeri (X Ekseni)	SN	18,33116	26,08792	7,75676
	Ortalama	0,7734	1,0204	
	Varyans	0,008784	0,002563	
Nüfuziyet Değeri (Y Ekseni)	SN	22,12728	24,86952	2,74224
	Ortalama	0,8028	1,043	
	Varyans	0,003949	0,003545	

Deneylerin analiz edilmesinden elde edilen faktör ve seviye kombinasyonuna göre parçaların görünümünde 66,68 dB'lik, parçalara ait verilerin x eksenindeki nüfuziyet değerlerinde 7,75 dB'lik, y ekseninde nüfuziyet değerlerinde 2,74 dB'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

SONUÇ ve TARTIŞMA

Kalite, bir malın ya da hizmetin yetkinlik düzeyi olarak tanımlanabilir. Yetkinlik düzeyi ise üretici ya da tüketici açısından bir malda belirli özellik ya da özelliklerin var olması ile belirlenir. Taguchi ve Quelch aynı kavramı “kalite, bir malın çok daha iyisini yapmaktır”

şeklinde tanımlamaktadır (Gümüšođlu, 2000: 1). Bununla birlikte üretilen bir ürün veya hizmetin kalitesinin ne kadar iyi olduđunun belirlenebilmesi, yani kalitenin ölçülebilmesi gerekmektedir.

Klasik deney tasarımı uygulamaları çok sayıda deney yapma zorunluluğu nedeniyle endüstride çok kabul görmemektedir. Deney tasarımına dayanan Taguchi yöntemi ise uygulanmasını daha basit ve sonuçlarının anlaşılabilir olması nedeniyle mühendislik problemlerinin çözümünde daha çok tercih edilmektedir.

Taguchi tekniği geniş kullanım alanı nedeniyle kabul görmesine rağmen; modelin sahip olduğu bazı dezavantajlar nedeniyle birçok eleştiri ile karşı karşıya kalmıştır. Metodun dezavantajlarından biri; deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle ilgili olarak bilgi verememesi ve seçilen seviyelerden farklı bir seviyede daha optimum bir sonuca varılacak dahi olsa bu seviyeleri önermemesidir. Ayrıca faktörler arasında bazı mümkün etkileşimlerin olabileceğinin tahmin edilmek istenmesi, serbestlik derecesini büyütür. Bu durum da bazı önemli etkilerin tahminini etkilemektedir. Bu yöntem teknik yönden bazı eleştirilere maruz kalmasına rağmen, bilim çevrelerinde olduğu kadar, endüstriyel uygulayıcılar için de kalite geliştirme ve maliyetleri azaltma konusunda önemli gelişmeler sağlamıştır.

Çalışmada öncelikle belirlenen ürün üzerinde etkili olan en önemli beş faktör kontrol faktörü olarak seçilmiştir. Bu faktörler için üç ayrı deney seviyesi tespit edilmiştir. Daha sonra faktör ve bunlar arası etkileşimler dikkate alınarak serbestlik derecesi ve serbestlik derecesine dayanarak da ortogonal dizi seçilmiştir. $L_{27}(3^5)$ ortogonal dizisi kullanılmış ve deneyler buna göre yapılmıştır. Bütün bu verilere dayanarak firmada uzman kişilerle belirlenen kalite karakteristiklerine ait 1.5, 1 ve 1 ağırlıkları kullanılarak en iyi faktör ve seviye kombinasyonu ($A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$) olarak oluşturulmuştur. Buna göre eniyi kombinasyonun seviye ve faktörleri aşağıdaki gibidir.

A: Akım(Amper)	220
B: Kaynak Hızı(mm/sn)	0,4
C: Tel Kalınlığı (mm)	0,8
D: Zigzag Boyu (mm)	3
E: Gaz Karışımı	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂

Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonuna göre bir doğrulama deneyi yapıp fabrikada mevcut durumda kullanılan faktör ve seviye değerleri ile deney sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Beş faktör ve üç seviyesi olan bir tam faktöriyel deney tasarımında $243 = 3^5$ deney yapılması gerekirken ortogonal dizilerin kullanılmasıyla toplam 27 deneyde sonuca ulaşılmıştır. Bunun için L_{27} ortogonal dizini kullanılmıştır.
- ✓ Deney sayısının azaltılması yoluyla en iyi kombinasyonlara ulaşmada harcanacak zaman ve hurdaya ayrılan ya da tamir bakım için müşteriden geri dönen ürünlerin oluşturduğu maliyet kaybı azalmıştır.
- ✓ Yöntem yardımıyla tekrar kaynak yapma gereksinimi ortadan kalkmış böylece, hem zaman hem de enerji ve işgücü kaybı önlenmiştir.
- ✓ Çalışma sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu ile makine ayarlarının değiştirilmesine gerek kalmamaktadır.
- ✓ Deneyde yer alan faktörlerin önemi sırasıyla (D, C, A, E, B) zigzag boyu, tel kalınlığı, akım şiddeti, gaz karışımı ve kaynak hızı şeklinde olmuştur. Yapılan kaynak işleminin köşe kaynak olması ve parçaların kabinde kaza durumunda en fazla darbe alacak yerde kullanılacak olması (yapısal kaynak bölgeleri) nedeniyle nüfuziyetin önemi de artmaktadır. Zigzag boyu da nüfuziyetin eşit dağılımını sağlaması nedeniyle en önemli boyut olarak görülmüştür. Böylece tek taraflı nüfuziyet önlenmiş olacaktır.
- ✓ Gaz karışımı seviyelerinin içinde, içerisinde oksijen bulunan karışım sadece %93 Ar , % 2 O₂ , % 5 CO₂ şeklindeydi. Diğer karışımlar Ar ve CO₂'nin kombinasyonlarından oluşmaktaydı. Daha önce verilen bilgiler dikkate alındığında kaynakta O₂ kullanılmadığında kırılma artmaktadır. Bu nedenle en iyi kombinasyonda O₂'nin bulunması önemlidir.
- ✓ Doğrulama deneyinden elde edilen parçaların görünümünde 66,68 dBlik, parçalara ait verilerin x eksenindeki nüfuziyet değerlerinde 7,75 dB'lik, y ekseninde nüfuziyet değerlerinde 2,74 dB'lik bir iyileşme sağlanmıştır.
- ✓ Çok yanıtı sinyale gürültü (MRSN) sonuçlarında da anlaşıldığı gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme 6,99312 dB dir. Normalleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre 31,1882 dB'lik iyileşme sağlanmıştır. Doğrulama deneyinin yapılmasıyla prosesdeki iyileştirme açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak Taguchi deney tasarımı yöntemlerinin kullanılması hem bu çalışmadaki gaz altı kaynak süreci için hem de endüstrideki diğer uygulamalar için önemli iyileştirmeler ve avantajlar sağlamaktadır. Bu durum dikkate alınarak bu yöntem, diğer işletmeler tarafından da kalite iyileştirme çalışmalarında veya kalite problemlerinin çözümünde kullanılmalıdır.

KAYNAKÇA

- ANAWA, E.M. ve OLABI, A.G. (2008). Using Taguchi Method To Optimize Welding Pool of Dissimilar Laser-Welded Components. *Optics & Laser Technology*. 40(2):379 – 388.
- BARKER, T.B. (1990). *Engineering Quality by Design-Interpreting the Taguchi Approach (Statistics, a Series of Textbooks and Monographs)*. Marcel Dekker.
- CASALINO, G., CURCIO, F. ve MINUTOLO, F. M. C. (2005). Investigation on Ti6Al4V laser welding using statistical and Taguchi approaches, *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2-3):422-428.
- DATTA, S., BANDYOPADHYAY, A. ve KUMAR PAL, P. (2008). 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.
- GÜMÜŞOĞLU, Ş. (2000). *Isttistiksel Kalite Kontrol Ve Toplam Kalite Yönetimi Araçları .2*. Baskı. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- HSIAO, Y. F., TARNG, Y. S. ve 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.
- KAĞNICIOĞLU, C. H. (1998). *Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürt-dioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- LEE, H. K., HAN, H.S., SON K.J. ve HONG, S.B. (2006). Optimization of Nd:Yag Laser Welding Parameters for Sealing Small Titanium Tube Ends. *Materials Science and Engineering*, 415(1-2):149 – 155
- LIN, H.L. ve CHOU, C.P. (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.
- LIN, H.L., CHOU, T. ve CHOU, C.P. (2007). Optimization Of Resistance Spot Welding Process Using Taguchi Method and a Neural Network, [*Experimental Techniques*](#). 31(5): 30 – 36.
- OLABI, A.G., CASALINO, G., BENYOUNIS, K.Y. ve HASHMI, M.S.J. (2006). An ANN and Taguchi Algorithms Integrated Approach to the Optimization Of CO₂ Laser Welding. *Advances in Engineering Software*, 37(10): 643 – 648.

- PAN, L. K. , WANG, C. C., HSIAO, Y. C. ve HO, K. C. (2005). Optimization of Nd:YAG Laser Welding Onto Magnesium Alloy via Taguchi Analysis, *Optics & Laser Technology*, 37(1): 33 – 42.
- PARK, S.(1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Palanito by Thompson Press: New Delphi.
- ROSS, W. ve SYKES, S. (1989). *Optimization Of A Hot-Stamping Process*. Michigan: Ameriken Supplier Institute Inc.
- ŞİRVANCI M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı Taguçi Yaklaşımı*. İstanbul: Literatür Yayınları.
- SNEE, R.D., (1993), *Creating Robust Work Processess*, Quality Progress, Feb. pp. 37-41.
- TARNG, Y. S. ve YANG, W. H. (1998). Application of the Taguchi Method to The Optimization of the Submerged Arc Welding Process, *Materials and Manufacturing Processes(USA)*, 13(3): 455 – 467.
- TARNG, Y. S., JUANG, S. C. ve 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.
- TONG, L.I., SU, C.T., WANG, C.H. (1997). The Optimization of Multi Response Problems in the Taguchi Methods. *Int. Journal of Quality&Reliability Management*, .14(4):367-380.