

Taguchi Deney Tasarımı Metodolojisinin Rulo Kırığı Kusurunun Giderilmesine Uygulanması

The Application of Taguchi Experimental Design Methodology to the Removal of Coil Break Defect

*1Candan Şen Elkoca

*1Alaplı MeslekYüksekokulu, Bülent Ecevit Üniversitesi, 67850, Alaplı, Zonguldak, Türkiye

Özet

Sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik rulolar boya kesme hatlarında açılırken bazı rulolarda istenmeyen “rulo kırığı” kusuruyla karşılaşabilmektedir. Bu tür bir kusur özellikle dış görünümün önemli olduğu uygulamalarda istenmemektedir. Rulo kırığı kusurun giderilmesi için, rulo açma işlemi sırasında çelik sac üzerine uygulanacak işlem parametrelerinin tespit edilmesi çok fazla deney yapılmasını gerektirmektedir. Taguchi deney tasarımı uygulaması, mevcut ve kontrol edilebilir faktörleri göz önüne alarak deney sayısında yarattığı azalma ile etkin ve verimli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulama sonuçları analiz edildiğinde, çelik şeridin sıcak haddehanedeki sarılma sıcaklığı ve sıcak haddelenmiş rulonun açılma hızının istatistiksel olarak önemli olduğunu ortaya çıkmaktadır. Buradaki problem bir maksimizasyon (rulo kırıklarının sığlaştırılıp sıklaştırılması, yani kırık adedinin arttırılması) problemi olarak ele alındığında, sarılma sıcaklığının belirlenen alt düzeye düşürülmesi ve rulo açma hızının belirlenen üst düzeye çıkarılmasının istenilen sonucu verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Rulo kırığı, Taguchi deney tasarımı, Düşük karbonlu çelik, Rulo açma, Sarılma sıcaklığı

Abstract

As hot rolled low carbon steel coils are uncoiled in the cut-to-length lines, sometimes the “coil break” defect can be encountered in some coils. This kind of defect is undesirable, especially for the applications where exterior appearance is important. In order to eliminate this defect, determining the process parameters to be applied on the steel sheet during the uncoiling process requires many experiments. Taguchi experiment design application appears as an effective and efficient tool by decreasing the number of experiments taking the existing and controllable factors into account. When the application results are analyzed, it is revealed that the coiling temperature of the steel strip at the hot Rolling mill and the uncoiling speed of the hot-rolled coil are statistically significant. When the problem here is considered as a maximization problem (shallow and tightening of coilbreaks, i.e., increasing the number of breaks), it has been seen that decreasing the coiling temperature to the specified lower-level and increasing the uncoiling speed to the specified higher-level give the desired results.

Keywords: Coil break, Taguchi experimental design, Low carbon steel, Uncoiling, Coiling temperature

1. Giriş

Dr. Genichi Taguchi'nin geliştirdiği istatistiksel deney tasarımı, imalat sektöründe kalitenin geliştirilmesi için etkin bir şekilde uygulanmaktadır. Taguchi deney tasarımının temel amaçlarından birisi hedeflenen kalite özelliklerini belirleyen parametreleri doğru bir şekilde tayin edebilmek ve alternatif tasarımlardan en uygun olanı yada olanları belirlemektir.

Taguchi'nin istatistiksel deney tasarımı üzerine çalışmaları, ortogonal dizi, lineer grafikler, sinyal/gürültü oranı gibi kavramları kalite literatürünün bir parçası haline getirmiştir.

Savaşkan ve ark. [1] sert seramik kaplı matkap uçlarının performansını optimize etmek için endüstriyel ortamda en önemli faktörler olan kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızının etkilerini Taguchi deney tasarımı tekniğini kullanarak incelemiştir. Oudjene ve Ben-Ayed [2] Taguchi'nin deney tasarımı takım geometrisinin perçinli eklem direnci ve şekli üzerindeki etkisini araştırmak için kullanmıştır. Rosa ve ark. [3] titanyum kabloları elektrolitik yöntemle bakır kaplama konusunda titanyum yüzey hazırlama, katod yoğunluğu, bakır sülfat ve sülfürik asit konsantrasyonlarının ve karışımının kaplamanın yapışkanlığı üzerindeki etkilerini Taguchi deney tasarımı yöntemini kullanarak incelemiştir. Gülşen Akman ve Coşkun Özkan [4] bir çelik sac üretim tesisinde ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyen yapışma problemini Taguchi deney tasarımı yaklaşımıyla analiz edilmiş, sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır. Hadfield çeliğinin kuru frezeleme koşulları altında PVD ile TiAlN ve CVD ile TiCN/Al₂O₃ kaplanmış karbür uçlarla işlenebilirliğini değerlendirmek için Taguchi yöntemi ve regresyon analizi uygulanmış ve işleme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi yönteminin çok başarılı olduğu görülmüştür [5]. Takım dönme hızı, kaynak hızı ve takım eğim açısı gibi sürtünme kaynağı parametrelerinin bu yöntemle birleştirilmiş farklı alüminyum alaşımlarının (A5083 ve AA6061) akma dayanımı ve % uzama değerleri üzerine etkisi Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı ile incelenmiştir [6].

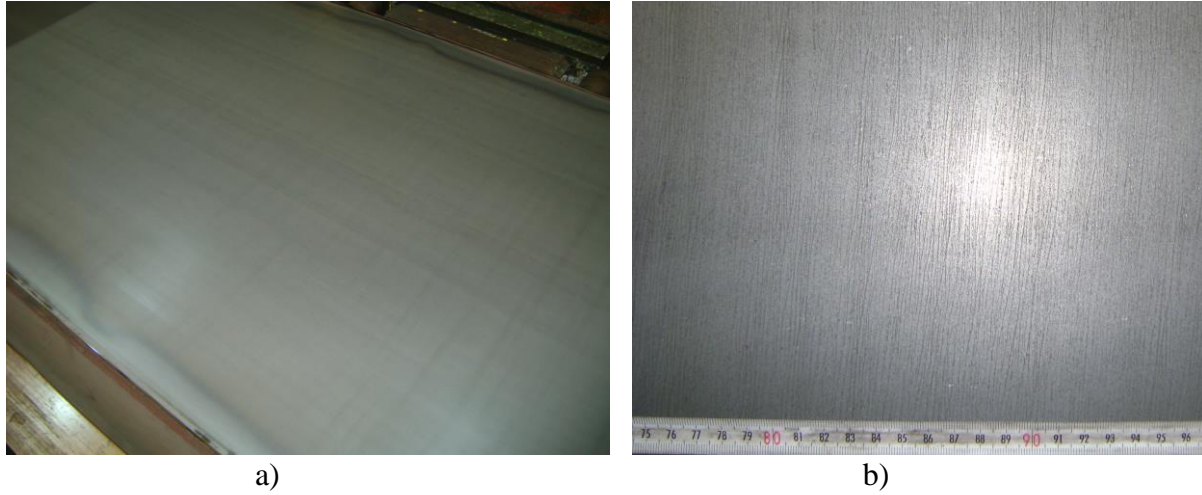
Rulo kırığı, çelik sac işleme tesislerinde sıcak haddelenmiş çelik ruloların boya kesilmesi sırasında ortaya çıkan bir kusurdur. Rulo kırığının (Şekil 1) dış görünümün önemli olduğu uygulama alanlarında çelik sac üzerinde olması istenmemektedir. Bu kusurun kaynağı konusunda rulo üreticisi ile sac işlemeci arasında itilaflar oluşmakta; bunun giderilmesi ya da hafifletilmesi her iki tarafta çok fazla sayıda deney yapılmasını gerektirmektedir. Burada Taguchi deney tasarımı uygulaması, her iki taraftaki mevcut ve kontrol edilebilir faktörler göz önüne alınarak deney sayısında yarattığı azalma ile etkin ve verimli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada Taguchi istatistiksel deney tasarımı, imalat sektöründe önemli bir kalite sorununun çözümlenmesinde etkin bir biçimde kullanılmıştır.

2. Rulo Kırığını Etkileyen Faktörler

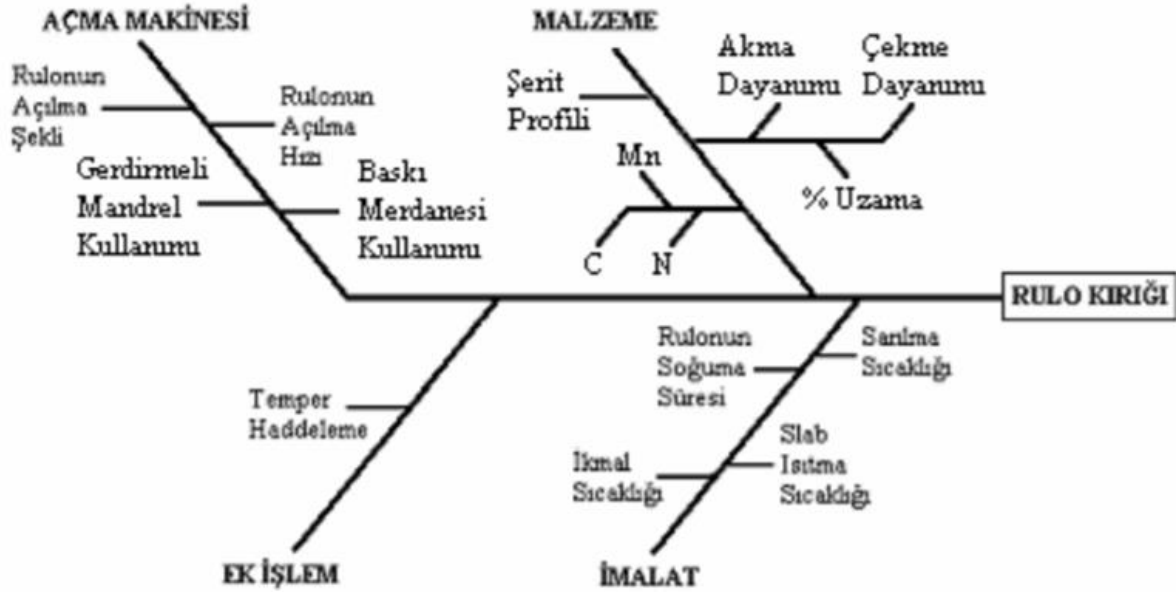
Rulo kırığı konusunda yapılan çalışmalara [7-12] ve işletmelerdeki pratiklere dayanarak, rulo kırığı oluşumunu etkileyen faktörler Şekil 2'deki gibi bir balık kılıcı diyagramı ile gösterilebilir.

2.1. Kimyasal bileşim

Düşük karbonlu sıcak haddelenmiş çelik grubuna giren kalitenin kimyasal bileşim aralığı Tablo 1'deki gibidir.



Şekil 1. a) Boya kesilmiş bir sac üzerindeki rulo kırıkları. b) Rulo kırıklarının yakından görünümü.



Şekil 2. Rulo kırığı kusuruna ait balık kılıçığı diyagramı.

Tablo 1. Sac kalitesinin kimyasal bileşimi (% ağırlık).

C	Mn	Si	S	P	Al	N
0,08- 0,10	0,50- 0,80	0,20- 0,25	eç 0,015	eç 0,020	0,02- 0,04	eç0,0090

*eç: En çok

Çelik bileşimi rulo kırığı oluşumunda en önemli etkiye sahiptir [10,11]; ancak bu elementlerin miktarlarındaki değişiklikler bu kalitenin standardında belirtilen mekanik özelliklerin dışına çıkılmasına neden olmaktadır.

2.2. Mekanik özellikler

Seçilen kalitenin standartla belirlenen bir mekanik özellik aralığı olup bunun dışına çıkıldığı takdirde bu kaliteden sapılmaktadır. Bu nedenle ele alınan kalitenin mekanik özellikleri değiştirilememektedir.

2.3. Slab ısıtma sıcaklığı

Sürekli döküm sonrasında katılaştıran slab şeklindeki yarı mamul sıcak haddeleme işlemi için haddeleme sıcaklığına ısıtılır. Rulo kırığının oluşumunu etkileyen N (azotun) serbest halde olup olmaması slab ısıtma sıcaklığı ile ilişkilidir. Sürekli döküm sırasında Al (alüminyum) ile birleşerek AlN (alüminyum nitrit) bileşimini oluşturan N yüksek slab ısıtma sıcaklıklarında parçalanarak yeniden serbest hale geçebilmektedir [13]. Ruloların üretildiği işletmede slab ısıtma sıcaklıkları mevcut sıcak haddehanenin kapasitesi nedeniyle en az 1250 °C olabilmekte ve bu sıcaklığın değiştirilmesi pek arzu edilmemektedir.

2.4. Şeridin ikmal sıcaklığı

Sıcak haddelenen malzemenin son hadde işleminden çıktığı sıcaklıktır. Bunun alt sınırını çeliğin kimyasal bileşimi üst sınırını ise mekanik özellikler belirlemektedir. Buna göre sac kalitesinin ikmal sıcaklık aralığı 870-920 °C'dir. İkmal sıcaklığı mekanik özellikleri değiştirmemek kaydıyla belirli bir aralık içerisinde değiştirilebilmektedir. Literatürde belirli bir değere kadar ikmal sıcaklığı düşürülürse rulo kırığı üzerinde olumlu etkisinden bahsedilmektedir [9].

2.5. Şeridin sarılma sıcaklığı

Sıcak haddelenen şeridin sarılarak rulo haline getirilmeden önce ölçülen sıcaklığıdır. Bunun mekanik özellikler üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Malzeme kalitesi yanında malzeme kalınlığına bağlı olarak sarılma sıcaklığı değişmektedir. Sac kalitesinin sarılma sıcaklık aralığı 620-640°C'dir. Bu sıcaklık mekanik özellikleri değiştirmemek kaydıyla belirli bir aralık içerisinde değiştirilebilmektedir. Literatürde sarılma sıcaklığının rulo kırığı üzerinde olumlu etkisinden bahsedilmektedir [9]; ancak çok fazla düşürüldüğünde şerit profilinde istenmeyen dalga kusurunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

2.6. Rulonun soğuma süresi

Rulo şeklinde sarıldığında büyük bir kütle haline dönüşen sıcak haddelenmiş şeridin daha sonraki işlemlere girmeden önce ortam sıcaklığına kadar soğuması gereklidir. Rulonun henüz sıcakken açılması rulo kırığının ortaya çıkma olasılığını artırmaktadır. İşletmede rulonun soğuma süresi en az 6 gün olarak tespit edilmiş olup bunun altındaki sürelerde rulo açılmamaktadır.

2.7. Şerit profili

Sıcak haddeleme sırasında malzemenin genel şekli (tüm kesit boyunca kalınlık dağılımının

homojen olması ve dalga kusurunun olmaması) açma sırasında malzeme üzerine gelen yüklerin dağılımını belirler. Şerit profilinin homojen olmaması daha sonra değinileceği gibi baskı merdanesinin şerit üzerine homojen bir kuvvet uygulayamamasına neden olur ve rulo kırığı oluşumunu arttırabilir [11] .

2.8. Rulonun açılma şekli

Rulo kırığının oluşmaması için rulonun sürekli bir şekilde açılması gereklidir. Dur-kalklı açılma şekli malzeme üzerinde belirgin kırıklar yaratmaktadır.

2.9. Rulonun açılma hızı

Rulonun açılma hızı malzeme üzerindeki gerilim seviyesini etkilemektedir. Literatürde yüksek açma hızlarının rulo kırığı oluşumunu düşürdüğü belirtilmektedir. Boy kesme hatlarındaki açma hızları 3-50 m/dakika arasında değişmektedir.

2.10. Gerdirmeli mandrel kullanımı

Açma sırasında sargıların gergin bir şekilde açılarak malzeme üzerinde sürekli bir gerginin sağlanabilmesi açısından açma sistemine bağlanan rulonun geçtiği mandrel geri gerdirmeli olmalıdır. Bu şekildeki bir sistemde rulo kırığı oluşma olasılığı düşmektedir [10].

2.11. Baskı merdanesi kullanımı

Açma sırasında sargının bir baskı merdanesinin çevresinden bükülerek geçmesi istenmeyen ağır rulo kırıklarının oluşumunu engellerken bunları fark edilemeyecek ölçüde sığlaştırmakta ve sıklaştırmaktadır [11].

2.12. Temper haddeleme

Sıcak haddelenmiş rulonun müşterilere yada işletmedeki diğer hatlara gönderilmeden önce küçük bir haddeleme (yaklaşık %1) işleminden geçirilmesi malzemenin içsel süresiz akma olgusunu ve bu şekilde daha sonra ortaya çıkabilecek rulo kırığı oluşumunu tümüyle ortadan kaldırmaktadır [9].

3. Deneysel Metod

Bu çalışmada dört adet faktör kontrol faktörleri olarak seçilmiş ve düşük maliyetleri ve basitliklerinden dolayı iki düzeyli olarak ele alınmışlardır (Tablo 2). Düzeylerin aralığı diğer faktörlerin etkisini bastıracak ve seçilen faktörün deneye hakim duruma gelmesine engelleyecek ölçüde çok büyük ve faktörün etkisinin görülmesini engelleyecek ölçüde çok küçük değildir.

Tablo 2. Deney tasarımı için seçilen faktörler ve düzeyleri.

Kodlama	Faktörler	Düzyey 1	Düzyey 2
A	Kimyasal bileşim (% Mn içeriği)	0,50	0,80
B	İkmal sıcaklığı (°C)	920	890
C	Sarıma sıcaklığı (°C)	640	620
D	Açma hızı (m/dakika)	8	20

Belirlenen faktörler göz önüne alındığında deney tasarımında hangi dizinin kullanılacağıın belirlenmesi açısından faktör ve etkilerin Tablo 3'te olduğu gibi serbestlik derecesinin belirlenmesi gerekir. Serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilmiştir. Toplam serbestlik derecesi en fazla, seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Bu nedenle rulo kırığı problemi için en uygun ortogonal dizi $VL16 = 16 - 1 = 15$ 'tir.

4. Uygulama

Bu çalışmada seçilen tam eşlendirmeli L16 dizayn ortogonal dizinin ilk üç kolonu Tablo 4'te görüldüğü gibi A, B, C ve D faktörlerinin düzey kombinasyonlarını temsil etmektedir. Sıcak haddeleme sırasında, işletmedeki imalat koşullarına bağlı olarak her bir ruloda istenilen faktörlerin hızlı bir şekilde imalata uyarlanması mümkün olmadığından blok imalat yapılmıştır. Yani, Mn seviyesi düşük ve Mn seviyesi yüksek 2 ayrı rulo grubunda ikmal sıcaklıkları düşük ve ikmal sıcaklıkları yüksek olmak üzere yeniden bir alt grup oluşturulmuş daha sonra bu alt gruplar içerisinde sarılma sıcaklıkları düşük ve yüksek olmak üzere yeni alt gruplar oluşturulmuştur. Sıcak haddeleme sonrasında, her bir rulo yeterli gözlem uzunluğuna sahip olduğundan belirlenen farklı açma hızı düzeyleri etkileri aynı rulonun birinci ve ikinci yarılarında gözlenebilmiştir. Bu yaklaşım (açma hızındaki değişikliklerin aynı ruloda gözlenebilmesi) tam eşlendirmeli L16 ortogonal dizini için tüm deneylerin 8 adet rulo ile sınırlandırılmasına olanak tanımıştır.

Yukarıdaki kontrol faktörlerinden yalnızca açma hızının uygulanmasında bir esneklik olup yalnızca açma hızı düzeyinin uygulanmasında bir rastsallıktan söz edilebilir. Bu nedenle deneylerin uygulanışında L16 deney tasarımındaki standart sıra takip edilmiştir. Bu çalışmada uygulama sırası rassallaştırılmadığından kontrol edilemeyen, ancak deney sırasında kendiliğinden değişen faktörlerin kalite değişkenine etkileri göz ardı edilmek zorunda kalmıştır.

5. Deney Sonuçları

Kalite değişkeni olarak, asitleme hattı çıkışında gözlenen şeritlerin ilk ve ikinci yarılarında farklı metrelerden 5 ayrı ölçüm alınmış ve bunların ortalaması hesaplanmıştır.(Tablo 5)

Tablo 3. Faktör ve etkileşimlerinin serbestlik dereceleri. Tablo 4. L16 Deneyi düzey kombinasyonları.

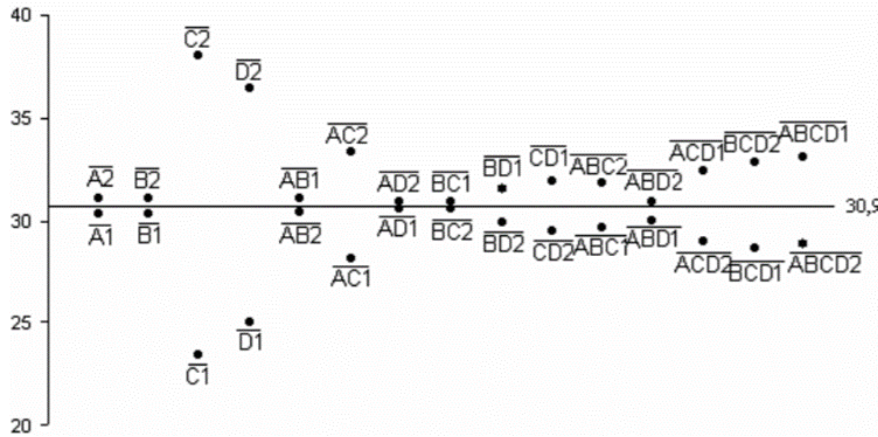
Faktörler/ Etkileşimler	Serbestlik Derecesi
A	$V_A = K_A - 1 = 2 - 1 = 1$
B	$V_B = K_B - 1 = 2 - 1 = 1$
C	$V_C = K_C - 1 = 2 - 1 = 1$
D	$V_D = K_D - 1 = 2 - 1 = 1$
AB	$V_{AB} = V_A * V_B = 1 * 1 = 1$
AC	$V_{AC} = V_A * V_C = 1 * 1 = 1$
AD	$V_{AD} = V_A * V_D = 1 * 1 = 1$
BC	$V_{BC} = V_B * V_C = 1 * 1 = 1$
BD	$V_{BD} = V_B * V_D = 1 * 1 = 1$
CD	$V_{CD} = V_C * V_D = 1 * 1 = 1$
ABC	$V_{ABC} = V_A * V_B * V_C = 1 * 1 * 1 = 1$
ABD	$V_{ABD} = V_A * V_B * V_D = 1 * 1 * 1 = 1$
ACD	$V_{ACD} = V_A * V_C * V_D = 1 * 1 * 1 = 1$
BCD	$V_{BCD} = V_B * V_C * V_D = 1 * 1 * 1 = 1$
ABCD	$V_{ABCD} = V_A * V_B * V_C * V_D = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$

A	B	C	D
0,50	920	640	5
0,50	920	640	20
0,50	920	620	5
0,50	920	620	20
0,50	890	640	5
0,50	890	640	20
0,50	890	620	5
0,50	890	620	20
0,80	920	640	5
0,80	920	640	20
0,80	920	620	5
0,80	920	620	20
0,80	890	640	5
0,80	890	640	20
0,80	890	620	5
0,80	890	620	20

Deney sonuçlarının analizi için faktörlerin hangilerinin istatistiksel açıdan önemli olduğuna karar vermek amacıyla problemimizin faktör ve etkileşimlerinin ortalama performansları grafiksel olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'teki grafiğe göre C ve D faktörlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Problemimiz bir maksimizasyon (rulo kırıklarının sığlaştırılıp sıklaştırılması, yani adedinin artırılması) problemi olduğundan C ve D faktörlerinin 2. düzeyleri arzu edilen sonucu verecektir.

Tablo 5. Deney sonuçları.

Deney Sırası	Deney Sonuçları					
	1. değer	2. değer	3. değer	4. değer	5. değer	Ortalama
1	14	16	11	13	11	13
2	33	35	34	32	36	34
3	34	31	35	32	33	33
4	40	36	39	37	38	38
5	27	29	25	30	29	28
6	26	28	25	28	28	27
7	23	27	25	26	24	25
8	45	44	42	44	45	44
9	13	15	10	15	12	13
10	32	34	30	30	29	31
11	40	38	37	39	41	39
12	43	45	44	43	45	44
13	12	9	11	15	13	12
14	28	29	27	30	31	29
15	40	39	40	40	41	40
16	44	45	44	43	44	44



Şekil 3. Faktör ve etkileşimlerinin etkilerinin grafiksel olarak gösterimi.

Varyans Analizi

Ortalamaya göre varyans analizi aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$SST = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{AD} + SS_{BC} + SS_{BD} + SS_{CD} + SS_{ABC} + SS_{ABD} + SS_{ACD} + SS_{BCD} + SS_{ABCD} + SS_e$$

$$T = 13+34+33+38+28+27+25+44+13+31+39+44+12+29+40+44 = 494 \quad N=16N$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - T^2 / N = 17040 - (494^2 / 16) = 1787,75$$

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} = \frac{(242 - 249)^2}{16} = 3,062$$

$$V_A = SS_A / v_A$$

$$1787,85 = 3,062 + 3,062 + 855,56 + 517,56 + 1,56 + 105,06 + 0,56 + 0,56 + 10,56 + 22,56 + 18,06 + 3,062 + 45,56 + 68,06 + 35 + SS_e$$

$$SS_e = 97,91$$

Ortalamlar üzerine yapılan varyans analizi Tablo 6'da özetlenmiştir.

Taguchi hangi faktörlerin performansı etkilediğini tanımlamaya çalışmaktadır ve F oranını referans değer olarak kullanır; F değeri istatistiksel olarak faktöriyel etkinin büyüklüğünü değil varlığını göstermektedir.

Tablo 7'ya göre A,B,AB,AC,AD,BC,BD,CD,ABC,ABD,ACD,BCD,ABCD faktörleri ve etkileşimleri için %90 güven düzeyinde F testi yapılmış ve bu faktör ve etkileşimlerin analizden çıkartılmasına karar verilmiştir. F testi sonucunda ortalamayı etkilemedikleri görülen C ve D dışındaki faktör ve etkileşimlere ait kareler toplamı hata kareler toplamına eklenmiştir.

$$SST = SSC + SSD + SS_e$$

$$1787,75 = 855,56 + 517,56 + SS_e \quad SS_e = 414,63$$

C ve D faktörlerine ait serbestlik dereceleri de hata serbestlik derecesine eklenmiştir.

Tablo 6. Ortalamalar üzerine yapılan varyans analizi Özet tablosu.

Faktör ve etkileşimler	Kareler toplamı(SS)	Serbestlik derecesi(v)	Varyans(V)	F değeri
A	3,062	1	3,062	0,256
B	3,062	1	3,062	0,256
C	855,56	1	855,56	21,112
D	517,56	1	517,56	17,844
AB	1,56	1	1,56	0,049
AC	105,06	1	105,06	3,54
AD	0,56	1	0,56	0,0154
BC	0,56	1	0,56	0,0154
BD	10,56	1	10,56	0,312
CD	22,56	1	22,56	0,674
ABC	18,06	1	18,06	0,58
ABD	3,062	1	3,062	0,256
ACD	45,56	1	45,56	1,37
BCD	68,06	1	68,06	1,92
ABCD	35	1	35	1,094
Hata(e)	97,91	0	97,91	
Toplam	1787,75	15		

Tablo 7. Ortalamalar üzerine yapılan birleştirilmiş varyans analizi özet tablosu.

Faktör	SS	v	V	F değeri	Katkı yüzdesi
C	855,56	1	855,56	26,82	46,073
D	517,56	1	517,56	16,23	27,166
Hata	414,63	13	31,89		
Toplam	1787,75	15			73,24

Görüldüğü gibi C ve D faktörlerinin ortalamaya en etkin faktörler oldukları görülmektedir. Bu iki faktörün optimum seviyelerinin belirlenmesi ile ortalamanın hedef değere çekilebileceği gözükmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Kendi içsel özelliklerinden dolayı düşük karbonlu sıcak haddelenmiş çelikler her zaman rulo kırığına karşı bir hassasiyet taşımaktadır. Kullanıcı açısından rulo kırıklarının önemsizleşmesi için sığ ve sık olmaları gereklidir. Bu çalışmada kalite değişkeni “kırık adedi” olarak tanımlanmıştır ve bu yaklaşıma göre ele alınan problem “en büyük en iyi” türünden bir

problemdir.

- Sac işlemecisinin mevcut ekipmanları, ele alınan çelik kalitesinin mekanik özellikleri ve üretim pratikleri göz önüne alınarak sac kalitesinin kimyasal bileşimi; yani % Mn içeriği, şeridin ikmal sıcaklığı ve sarılma sıcaklığı ve rulonun açılma hızı kontrol faktörleri olarak ele alınmıştır.
- Belirlenen faktörlerin etkilerini ve bu faktörlerin arasındaki olası etkileşimleri belirlemek amacıyla her bir faktör için iki seviyeli bir L16(2) 15 düzeni deney tasarımı olarak seçilmiştir. Tam eşlendirmeli bir deney (2) 15 ya da 32.768 deneyden oluşmaktadır. Oysa burada uygulanan Taguchi deney tasarımıyla yalnızca 16 deney gerçekleştirilmiş ve maliyet ve zamandan tasarruf sağlanmıştır.
- Sac kalitesinin imalatındaki çoğu adım blok olmak zorundadır. Bu nedenle deneylerin uygulanışında L16 deney tasarımındaki standart sıra takip edilmiştir. Bu çalışmada uygulama sırası rassallaştırılmadığından kontrol edilemeyen, ancak deney sırasında kendiliğinden değişen faktörlerin kalite değişkenine etkileri göz ardı edilmek zorunda kalınmıştır.
- Deney sonuçları analiz edildiğinde C ve D faktörünün istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Problemimiz bir maksimizasyon olduğundan C ve D faktörlerinin 2. düzeylerinin yani sarılma sıcaklığının belirlenen alt düzeye düşürülmesinin ve rulo açma hızının belirlenen üst düzeye çıkarılmasının istenilen sonuçları verdiği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Savaşkan M, Taptık Y, Ürgen M. Deney tasarımı yöntemiyle matkap uçlarında performans optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi 2004;3:6:117-128.
- [2] Oudjene M, Ben AL. On the parametrical study of clinch joining of Metallic sheets using the Taguchi method. Engineering Structures 2008;30:6:1782-1788.
- [3] Rosa JL, Robin A, Silva MB, Baldan CA, Peres MP. Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach. Journal of Materials Processing Technology 2009;209:3:1181-1188.
- [4] Akman G, Özkan C. Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü. Doğu Üniversitesi Dergisi 2011;12:2:187-199.
- [5] Kıvık T. Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. Measurement 2014; 50:19-28.
- [6] Devaiaha D, Kishoreb K, Laxminarayanaa P. Optimal FSW process parameters for dissimilar aluminium alloys (AA5083 and AA6061) using Taguchi Technique. Materials Today: Proceedings 2018;5:2:1:4607-4614.
- [7] Wardle AJ, Miller HD. Method and apparatus for preventing coil breaks in sheet metal. USPO 1937; 2,087,010.
- [8] Sendzimir T. Prevention of coil breaks. USPO 1956; 3,079,975.
- [9] Mardiana D, Basri MH. Reducing coil break rejection at hot skin pass mill PT Krakatau Steel. Indonesian Journal of Business Administration 2013;2:10:1131-1143.
- [10] Thakur SK, Sarkar B, Ghosh B, Datta R. Reduction in diversion due to coil break in CRNO grades of coils. Case Studies in Engineering Failure Analysis 2014;2:76-83.
- [11] Mucsi A, Réger M, Verő B, Portász A. Coil breaks in low carbon steels. Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki 2016.
- [12] Mucsi A. Analysis of coil break defects. Engineering Failure Analysis 2018. 83:109-116.
- [13] Mucsi A. Effect of hot rolling conditions on the nitride precipitation process in low carbon steel strips. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2018; 426:012036.