

ÇOK YANITLI TAGUCHI DENEYSEL TASARIM METODU VE ALÜMİNYUM SANAYİNDE BİR UYGULAMA

Mesut FERAH

Özet – Bu çalışmada Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Metodu kullanılarak alüminyum profillerin boyanmasında etkili olan faktörlerin optimizasyonu sağlanmaya çalışıldı. Toz boya maliyetinin fazla olmasından dolayı boyanan profillerin film kalınlığının 60 – 80 μ olması istenir ve profillerin çoğunlukla dış cephelerde kullanılmasından dolayı darbe direncinin maksimum olması hedeflendi. L_{18} ortogonal dizisi kullanılarak çok yanıtlı bir problemi çözecek algoritma anlatıldı. Sonuç olarak belirlenen optimum proses şartlarında sağlama deneyi yapılmış, hipotez testi ile iyileşmeler gösterilmiş ve boya sarfiyatındaki azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Taguchi metodu, Kalite Geliştirme, Çok yanıtlı tasarım.

Abstract – In this study, the factors which have affect on powder coating of aluminium profiles were tried to be optimized by using Multi – Response Taguchi Experimental Design Method. Because of the high cost of powder paint, the film thickness of the powder coated profiles is required to be 60 - 80 μ and because of using these profiles especially on outer side of the buildings, the stroke strength was aimed to be maximum. The algorithm which will be used to solve a Multi – Response problem by using L_{18} orthogonal array was explained. In conclusion, confirmation experimentations are made in certain optimum proses conditions, hypothesis tests are pointed improvements and powder paint consumption decrease was observed.

Key Words – Taguchi method, Quality improvement, Multi – response design.

SİMGELER LİSTESİ

CI	Güven aralığı
k_i	Kalite kayıp katsayıları
L_{ij}	j. denemede i. yanıtın kalite kaybı
m	Yanıt sayısı
μ	Mikron

$\hat{\mu}$	Ortalamanın tahmini
μ_e	Eski ölçümlerin ortalaması
μ_y	Yeni ölçümlerin ortalaması
n_e	Eski ölçümlerden alınan numune sayısı
n_y	Yeni ölçümlerden alınan numune sayısı
N	Gözlemlerin toplam sayısı
n_i	i. yanıtın tekrar sayısı
SS_A	A faktörüne ait kareler toplamı
SS_e	Hata kareler toplamı
SS_T	Toplam kareler toplamı
s_e^2	Eski ölçümlerin varyansı
s_y^2	Yeni ölçümlerin varyansı
T	Tüm gözlemlerin toplamı
ν_A	A faktörünün serbestlik derecesi
ν_e	Hata serbestlik derecesi
ν_T	Toplam serbestlik derecesi
w_i	i. normalleştirilen yanıtın ağırlığı
y_{ijk}	k. tekrar ve j.denemede i.yanıt için gözlenen veri

1.GİRİŞ

Taguchi metodu, kalite geliştirme konusunda Genichi Taguchi tarafından deneysel tasarıma dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu tekniğin temel felsefesi kalitenin tasarım aşamasında ürün veya prosese kazandırılmasıdır [1].

Taguchi, tek yanıtlı problemlerin optimizasyonunu sağlamaya çalışmış, çok yanıtlı problemler üzerinde pek fazla durmamıştır. Fakat ihtiyaçların ve bu alanda çalışmaların artması ile beraber çok yanıtlı problemler üzerinde çalışılması gereği ortaya çıkmıştır[2].

Çok yanıtlı bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Yanıtlar arasında var

olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda, birkaç yanıt fonksiyonu eşanlı olarak optimize edilmek isteniyorsa, ayrı ayrı optimumların elde edilmesi anlamsızdır. Bir yanıt için optimal olan koşullar, diğer yanıtlar için optimumdan uzak, hatta fiziksel olarak uygulanması olanaksız olabilir. Keşifsel bir yaklaşım olarak, tüm yanıtların eş yükselti eğrilerinin üst üste koyularak, koşulların tüm yanıtlar için yaklaşık optimum olduğu bir bölge belirlenebilir. Bununla birlikte, bu prosedür çok sayıda girdi değişkeni ve yanıt içeren sistemlerde sınırlıdır [3].

Çok yanıtlı mühendislik problemlerine bir yaklaşım da tek tek yanıtları birleştirici hedefte kombine etmektir. Yarar teorisinde çoklu hedef tekniklerini mukayese etmek ve tenkit etmek için bazı karakteristikler kullanılır. Bunlar riski önlemek, marjinal ikame oranları ve birleştirilmiş fonksiyondaki yanıtların ilişkileridir[4].

II. LİTERATÜR BİLGİSİ

İmalat proseslerinin çoğu, çoklu kalite kriterli çıktı üretirler. Ancak kalite mühendisliğinde bu tür problemlere çok az dikkat edilmiş olması şaşırtıcıdır. Taguchi uygulamalarına ait yayınların çoğu, tekli yanıtın optimizasyonu ile ilgilidir. Shiau, kalite karakteristiğinin her bir SN oranına bir ağırlık atadı ve çok yanıtı problemin performans ölçüsünü hesaplamak için ağırlıklandırılmış SN oranlarını topladı [3]. Myres ve Carter, ikili yanıt yaklaşımını önermiştir. Vinning ve Myres, Taguchi metodolojisi çerçevesi içerisinde ikili yanıt yaklaşımını kullanmak sureti ile bir optimizasyon metodolojisi önermiştir. Del Castillo ve Montgomery, doğrusal olmayan programlama çözümünü önermiştir. Myres ve Montgomery; Khuri ve Cornell'e ait metinler çok kriterli ürünlerin hakimiyetine ve bunlarla baş etmek için yeni yöntemlere gereksinim olduğunu vurgulamaktadır. Tong ve Su, sistematik bir prosedürü, bulanık küme teorisinin vurgulaması sureti ile geliştirmiştir. Ancak tüm bu yöntemler, kuvvetli bir ileri matematik bilgisi gerektirmektedir [5].

III. ÇOK YANITLI YÖNTEMİN PROSEDÜRLERİ

Çok yanıtı prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi'nin uygulanması aşağıdaki düşünceleri içerir [3]:

- Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılmaz ve toplanamaz.
- Çoklu durumlarda ölçü birimleri, her bir yanıt için farklıdır. Dolayısıyla, her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp farklı olabilir.
- Çoklu durumlarda önem, her bir yanıt için farklıdır.
- Çoklu durumlarda nominal – en iyi kalite karakteristikleri olduğu zaman ayarlama faktörleri seçilebilecektir.

Yukarıda bahsedilen dört durum için, geleneksel Taguchi Yöntemi MRSN tabanlı uygulanabilir. Lee I. TONG tarafından önerilen eniyileme prosedürü dört aşama içerir [3]:

- Aşama I. Kalite Kaybının Hesaplanması

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

En küçük – en iyi yanıtı için,

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

En büyük – en iyi yanıtı için,

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

Nominal – en iyi yanıtı için,

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

Burada,

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk} \quad (4)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 \text{ dir.} \quad (5)$$

- Aşama II: Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranının Belirlenmesi

Değişikliğin azaltılmasında birinci olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsü normalleştirmek gerekir. Her yanıt için, her bir denemedeki kalite kaybı, j. denemedeki 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 özetlenir:

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

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \quad (6)$$

$$L_i^* = \max\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \text{ dir.}$$

Adım 2: Her deneme için normalleştirilen toplam kalite kaybını hesapla.

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

Adım 3: Her deneme için MRSN oranını belirle.

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

- Aşama III. En İyi Faktör/Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi

Taguchi, en küçük – en iyi ve en büyük – en iyi durumları için beklenen kalite kaybının dolaysız en küçüklenmesini önermektedir. Nominal – en iyi durumu için Taguchi, iki aşamalı, yani sinyal-gürültü oranını maksimize etmek ve sonra ortalamayı hedef değere ayarlayan bir eniyileme prosedürü önermektedir. Bu kavramlara dayandırılan çok yanıtlı problemlerde en iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek için kullanılan prosedür aşağıda açıklanmaktadır:

Adım 1: Faktör etkilerini hesapla

1. MRSN değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele
2. Nominal en iyi durum için ortalama yanıt değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele

Adım 2: En iyi kontrol faktörlerini ve bunların seviyelerini belirle.

1. MRSN üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörünü bul
2. Her bir kontrol faktörü için MRSN üzerinde en yüksek değere sahip olan en iyi seviyeyi belirle

Adım 3: En iyi ayarlama faktörlerini belirle: Eğer çok yanıtlı problemlerde nominal en iyi karakteristiği varsa, uygun ayarlama faktörleri tanımlanmalıdır. Dört durum vardır:

1. En küçük – en iyi ve nominal – en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu.
2. En büyük – en iyi ve nominal – en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu.
3. En küçük – en iyi, en büyük – en iyi ve nominal – en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu.
4. Hepsinin nominal – en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu.

Aşağıdaki iki gereksinimi karşılayan bir faktör, 1, 2 ve 3. durumlar için bir ayarlama faktörü olarak seçilebilir. Birincisi, nominal – en iyi karakteristikler için, MRSN’de anlamlı etkiye sahip olmayan, fakat onun yerine ortalama yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahip olan herhangi bir faktör, ayarlama faktörü için aday olarak seçilebilir. İkincisi, ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, en küçük – en iyi ve en büyük – en iyi durumlarının amacını eşzamanlı olarak karşılamalıdır. MRSN’de anlamlı etkiye sahip olmayan, onun (aday faktörün) kalite karakteristiği için

ortalama yanıt üzerinde etkiye sahip olan ve diğer kalite karakteristikleri için ortalama yanıt üzerinde bir etkiye sahip olmayan herhangi bir faktör 4. durum için ayarlama faktörü olarak seçilebilir.

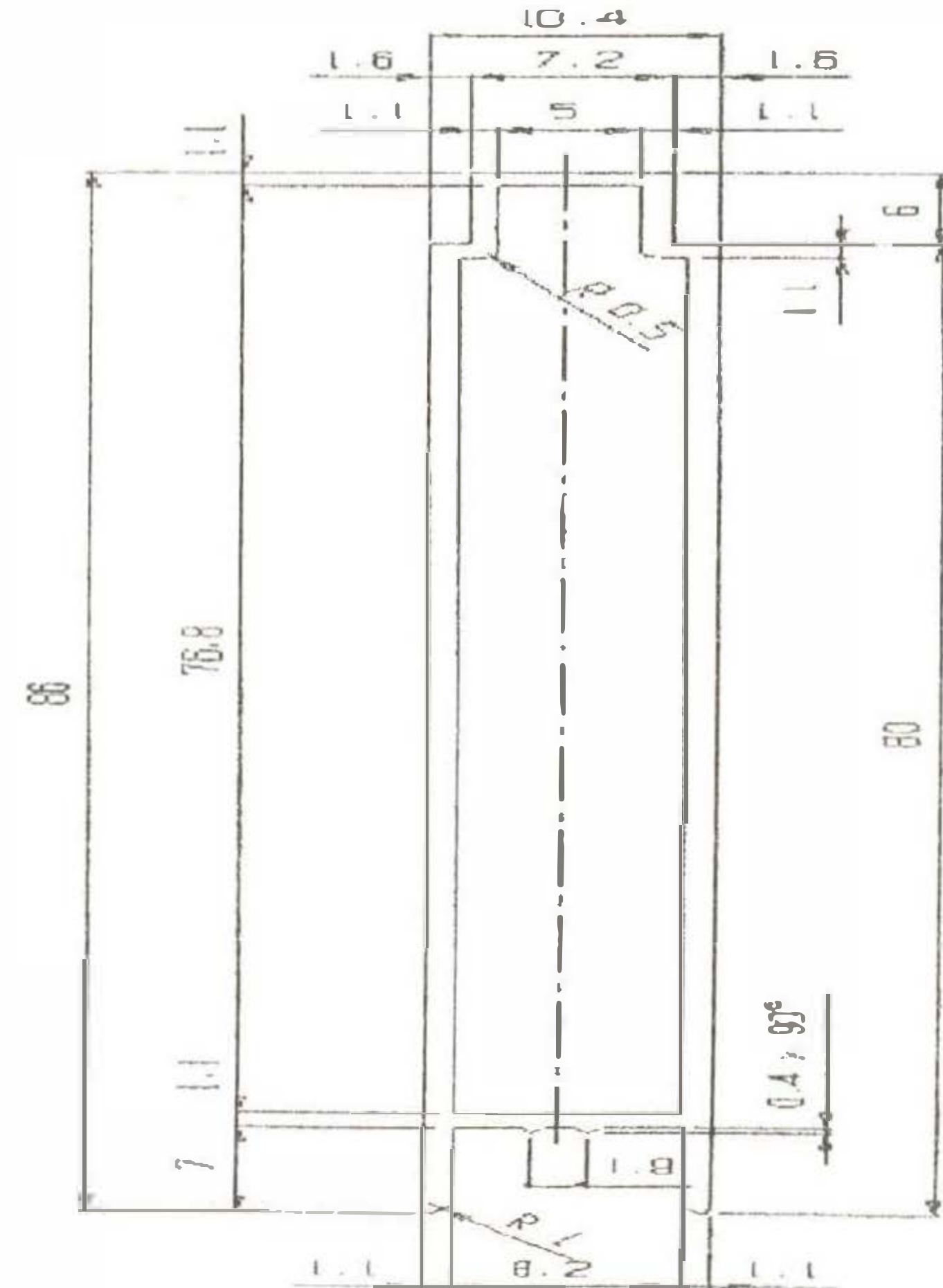
- Aşama IV. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Burada önerilen eniyileme prosedüründe doğrulama deneyi için MRSN değeri olan temel sınırlama, denklem kullanılarak hesaplanamaz. Doğrulama deneyi, deneyde elde edilen en iyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve tahmin edilen SN oranları bir birlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin iyi bir tahmin olduğuna karar verebiliriz. Sonuç olarak, önerilen optimum durum, proses için benimsenebilir. Eğer yanıtlardan biri için öngörülen ve gözlenen SN oranları birbirlerine yakın değilse, toplamalı model yetersizdir ve belki de etkileşimler önemlidir diye kuşulanırız. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir

IV. PROBLEMİN UYGULANMASI

IV.1 Problemin Tanımlanması

Toz boya departmanındaki maliyetler incelendiğinde tüm maliyetin yaklaşık % 70’ ini toz boya maliyetinin oluşturduğu görülmektedir. Toz boya maliyeti alüminyumun satış fiyatından daha fazla olduğundan sarfiyatlarının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca boyanan profillerin özellikle inşaat sektörlerinde yer alması dolayısıyla dış dayanımlara karşı maksimum direnci gösterecek yapıda olması gerekmektedir.



Şekil 1. 0115 Numaralı Profilin Teknik Resmi

IV.2 Hedefin Belirlenmesi

Bu uygulama, Qualicoat' a (Avrupa Toz Boya Kalite Birliği) göre film kalınlığının 60 – 80 μ mertebesine çekilmesi ve darbe direncinin ise maksimum noktaya çıkarılması için uygulanan adımları içerir. Toz boya maliyetini azaltacak şekilde hedef değerler film kalınlığı için 70 μ ve darbe direnci için 100 cm belirlenmiştir. Denemeler uygulamada kolaylık sağlamak için Şekil 1' de gösterilen tek profil üzerinde yapılmıştır.

IV.3 Faktör ve seviyelerin belirlenmesi

Elektrostatik toz boya bölümünde faktör ve seviyeleri tecrübelerden yararlanılarak çıkarılmıştır. Mevcut duruma yakın olan değerler göz önüne alınarak en iyi sonucu verebileceği düşünülen faktörler seçilmiştir.

Kontrol edilemeyen faktörler ortamın sıcaklığı, nem durumu, ön işlem banyolarındaki konsantrasyon değerleri ve hava basıncının başka bir kaynakla ortaklaşa kullanılması şeklindedir. Fakat bu faktörlerin kontrollerinin çok zor, pahalı veya zaman alıcı olduğundan bu faktörler kontrol edilemeyen (noise, hata) faktörleri olarak kabul edilmiştir. Ve bu faktörlerle bir dizi oluşturmaktansa, kontrol faktörleri ile yapılacak olan deneyde her deneme beş kez tekrar edilmiş, böylece kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirebilecekleri değişim gözlenmiştir [6]. Uygulama için belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1..Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktör ve Seviyeleri

FAKTÖRLER	I. Seviye	II. Seviye	III. Seviye
A Baraların durumu	Kirli	Temiz	-
B Hava basıncı	5 bar	6 bar	7 bar
C Kromat bekleme süresi	0 – 1 saat	2 – 8 saat	9 – 16 saat
D Tarak – profil arası mesafe	22 cm	25 cm	28 cm
E Şarj tozu	Yok	1 ölçek	2 ölçek
F Boya tipi	Açık	Açık – kapalı	Kapalı
G Boya markası	Akzo Nobel	İba	Jotun
H Konveyör hızı	2,3 m / dak.	2,4 m / dak.	2,5 m / dak.

IV.4 Deneyin Yapılması

Problemin çözümü için ele alınan ortogonal dizi 1 adet iki seviyeli ve 7 adet üç seviyeli faktör olduğu için L_{18} ortogonal dizisidir. Faktörlerin serbestlik dereceleri toplamı 15 yapmaktadır. Deneyin uygulamasında bloklar içinde tamamen rassallaştırma yöntemi uygulanmıştır. Çünkü Boya markası (Faktör G) değiştirilip başka bir seviyedeki markanın boyasına geçilmesi en az 2 saat sürmektedir. Herhangi bir

temizlikte boya kabinleri, boya tabancaları, tarakları, kablo iletişim bağlantılarının temizlenmesi gerekmektedir. Uygulamanın yapıldığı zaman imalatta kullanılan boya olduğu için önce Akzo Nobel ile başlanmıştır. Deneylerin uygulanış sırası Tablo 2' de gösterilmiştir..

Tablo 2. Rassallaştırılmış L_{18} Dizisine Göre Belirlenen Deney Şartları

Rassal Den. No	Standart Den. No	FAKTÖRLER							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	Kirli	5	0 – 1	22	Yok	Açık	A. Nobel	2,3
2	14	Temiz	6	2 – 8	28	Yok	Açık-Kapalı	A. Nobel	2,5
3	12	Temiz	5	9 – 16	25	1	Açık-Kapalı	A. Nobel	2,5
4	16	Temiz	7	0 – 1	28	1	Kapalı	A. Nobel	2,4
5	5	Kirli	6	2 – 8	25	2	Kapalı	A. Nobel	2,3
6	9	Kirli	7	9 – 16	22	2	Açık-Kapalı	A. Nobel	2,4
7	6	Kirli	6	9 – 16	28	Yok	Açık	İba	2,4
8	7	Kirli	7	0 – 1	25	Yok	Kapalı	İba	2,5
9	2	Kirli	5	2 – 8	25	1	Açık-Kapalı	İba	2,4
10	15	Temiz	6	9 – 16	22	1	Kapalı	İba	2,3
11	10	Temiz	5	0 – 1	28	2	Açık-Kapalı	İba	2,3
12	17	Temiz	7	2 – 8	22	2	Açık	İba	2,5
13	11	Temiz	5	2 – 8	22	Yok	Kapalı	Jotun	2,4
14	18	Temiz	7	9 – 16	25	Yok	Açık-Kapalı	Jotun	2,3
15	4	Kirli	6	0 – 1	22	1	Açık-Kapalı	Jotun	2,5
16	8	Kirli	7	2 – 8	28	1	Açık	Jotun	2,3
17	3	Kirli	5	9 – 16	28	2	Kapalı	Jotun	2,5
18	13	Temiz	6	0 – 1	25	2	Açık	Jotun	2,4

IV.5. Eniyileme Prosedürü

Aşama I.

Tablo 3' de bulunan değerleri her iki yanıtın ilk deneyi için gösterirsek; önce L_{ij} değerlerinin bulunması gerekir.

Film kalınlığı için denklem (3)' den ve Darbe direnci için denklem (2)' den veriler yerine yazıldığında;

$$L_{11} = \left(\frac{2,288}{65,84} \right)^2 = 0,001$$

$$L_{21} = \frac{1}{5}(0,000924) = 0,000185 \text{ olarak bulunur.}$$

Aşama II.

k sabiti normalleştirme işleminde sadeleşeceği için hesaplamaya gerek yoktur.

Denklem (6)' dan her bir L_{ij} değeri normalleştirilerek

C_{ij} değerleri bulunur.

$$C_{11} = \frac{0,001}{0,089} = 0,0114$$

$$C_{21} = \frac{0,000185}{0,000351} = 0,527 \text{ olarak bulunur.}$$

Film kalınlığının ağırlığına darbe direncine karşı 2 kat daha fazla olduğunu belirtip, ağırlığı 2:1 oranında belirlersek;

Denklem (7)' den $TNQL$ değeri;

$$TNQL_j = 2(0,014) + 0,527 = 0,554 \text{ bulunur.}$$

Buradan denklem (8) ' den;

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(0,554) = 2,566 \text{ olarak bulunur.}$$

Tablo 3. Deney Veri Özelleri

FAKTÖRLER									FK: FİLM KALINLIĞI					DA: DARBE ALETİ					ORTALAMALAR							
A	B	C	D	E	F	G	H		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	FK	DA	L1j	L2j	C1j	C2j	TNQLj	MRSNj
1	1	1	1	1	1	1	1	1	68,3	65,9	65,5	65,3	64,2	80	70	70	80	70	65,84	74	0,001	0,000185	0,014	0,527	0,554	2,566
1	1	2	2	2	2	2	2	2	80,1	79,8	76,9	77,4	81,2	80	90	80	80	80	79,08	82	0,002	0,000150	0,021	0,426	0,468	3,297
1	1	3	3	3	3	3	3	3	82,9	87,6	81,2	85,9	91,6	60	60	60	60	50	85,84	58	0,037	0,000302	0,421	0,861	1,703	-2,313
1	2	1	1	2	2	3	3	3	94,2	94,5	93,2	91,5	95,6	80	90	80	90	80	93,80	84	0,001	0,000143	0,007	0,408	0,422	3,745
1	2	2	2	3	3	1	1	1	89,4	91,2	91,2	91,5	88,6	70	70	50	60	60	90,38	62	0,000	0,000273	0,004	0,777	0,785	1,054
1	2	3	3	1	1	2	2	2	72,8	74	75,1	72,9	74,6	80	90	80	80	80	73,88	82	0,000	0,000150	0,002	0,426	0,431	3,657
1	3	1	2	1	3	2	3	3	81,8	75,1	78,9	79,6	78,4	90	90	90	90	90	78,76	90	0,006	0,000123	0,063	0,352	0,477	3,217
1	3	2	3	2	1	3	1	1	97,4	95,2	95,2	94,2	91,2	70	60	70	80	70	94,64	70	0,003	0,000209	0,032	0,596	0,660	1,801
1	3	3	1	3	2	1	2	2	76,8	76,7	81,2	79,4	77,3	70	80	60	70	70	78,28	70	0,002	0,000209	0,027	0,596	0,651	1,867
2	1	1	3	3	2	2	1	1	91,7	92,6	88,2	93,5	90,8	60	50	60	50	50	91,36	54	0,002	0,000351	0,023	1,000	1,046	-0,195
2	1	2	1	1	3	3	2	2	97,8	96,6	91,8	96,2	93,6	70	70	60	60	60	95,20	64	0,004	0,000248	0,044	0,707	0,795	0,994
2	1	3	2	2	1	1	3	3	84,8	85,4	85,3	87,6	86,7	70	60	70	80	70	85,96	70	0,000	0,000209	0,003	0,596	0,601	2,208
2	2	1	2	3	1	3	2	2	65,3	67,3	66,9	67,8	65,3	80	90	80	90	70	66,52	82	0,000	0,000153	0,005	0,435	0,444	3,526
2	2	2	3	1	2	1	3	3	82,2	81,4	75,9	76,8	79,4	80	90	80	90	80	79,14	84	0,009	0,000143	0,104	0,408	0,617	2,100
2	2	3	1	2	3	2	1	1	102	104	109	116	106	80	80	80	70	70	107,38	76	0,089	0,000175	1,000	0,500	2,500	-3,979
2	3	1	3	2	3	1	2	2	101	101	100	105	101	70	70	70	60	80	101,58	70	0,001	0,000209	0,010	0,596	0,616	2,101
2	3	2	1	3	1	2	3	3	70,6	69,4	65,7	68,9	71,7	90	100	90	80	90	69,26	90	0,006	0,000125	0,062	0,357	0,481	3,179
2	3	3	2	1	2	3	1	1	96,4	91,4	95,6	97,6	95,2	70	70	60	70	60	95,24	66	0,003	0,000234	0,037	0,665	0,730	1,315

Aşama III.

Diğer değerlerde benzer şekilde formüllerde yerlerine konularak bulunulabilir. MRSN değerlerinden hareketle faktörlerin her bir seviyesinin ana etkileri 'Tablo 4' de

gösterilmiştir. Burada sütun farkları metodu kullanılmıştır.

Tablo 4. MRSN' de Ana Etkiler

Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min
A	2,099	1,249	-	0,85	F	2,822	2,021	0,179	2,643
B	1,092	1,683	2,246	1,154	H	0,426	2,573	2,022	2,147
C	2,493	2,07	0,459	2,034	C	2,493	2,07	0,459	2,034
D	1,395	2,436	1,191	1,041	B	1,092	1,683	2,246	1,154
E	2,308	1,529	1,186	1,122	E	2,308	1,529	1,186	1,122
F	2,822	2,021	0,179	2,643	D	1,395	2,436	1,191	1,041
G	1,982	1,529	1,511	0,471	A	2,099	1,249	-	0,85
H	0,426	2,573	2,022	2,147	G	1,982	1,529	1,511	0,471

MRSN' deki kontrol edilebilen faktörler önem sırasına göre F, H, C, B, E, D, A ve G' dir. Daha büyük MRSN oranı daha iyi kaliteyi ifade etmektedir. Dolayısıyla

optimal durum $A_1B_3C_1D_2E_1F_1G_1H_2$ şeklinde belirlenebilir. Deneyde F, H, C ve B faktörlerini optimal kontrol faktörü olarak seçebiliriz.

Tablo 5. FK' nın Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler

Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min
A	82,278	87,960	-	5,682	F	76,017	86,150	93,190	17,173
B	83,880	85,184	86,293	2,413	E	81,344	93,740	80,273	13,467
C	82,977	84,617	87,764	4,787	H	90,807	82,424	82,127	8,68
D	84,960	82,657	87,741	5,084	A	82,278	87,960	-	5,682
E	81,344	93,740	80,273	13,467	G	83,530	83,287	88,540	5,253
F	76,017	86,150	93,190	17,173	D	84,960	82,657	87,741	5,084
G	83,530	83,287	88,540	5,253	C	82,977	84,617	87,764	4,787
H	90,807	82,424	82,127	8,68	B	83,880	85,184	86,293	2,413

E faktörü, MRSN ve DA üzerinde az etkiye sahip olduğu fakat FK üzerindeki çok etkisinden dolayı FK için ayarlama faktörü olarak seçilebilir. Yine G faktörü DA için ayarlama faktörü olarak seçilebilir. A faktörü

ise önemsiz bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablo 5 ve 6' da yanıtların üzerlerindeki ana etkiler gösterilmiştir.

Tablo 6. DA' nın Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler

Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min
A	74,667	72,889	-	1,778	H	67,000	75,000	79,333	12,333
B	67,000	78,333	76,000	11,333	B	67,000	78,333	76,000	11,333
C	75,667	75,333	70,333	5,334	G	71,667	79,000	70,677	8,333
D	76,333	75,333	69,667	6,666	F	78,000	73,333	70,000	8
E	76,667	75,333	69,333	7,334	E	76,667	75,333	69,333	7,334
F	78,000	73,333	70,000	8	D	76,333	75,333	69,667	6,666
G	71,667	79,000	70,667	8,333	C	75,667	75,333	70,333	5,334
H	67,000	75,000	79,333	12,333	A	74,667	72,889	-	1,778

Aşama IV.

Doğrulama deneylerinin yapılmasında her iki yanıtın ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir.

Film kalınlığının doğrulama deneyleri için optimal şartları sağlayan 10 adet deney yapılmış ve her bir deneyden 5 adet ölçüm alınmıştır. Doğrulama deneyleri yapılırken her deney için 5 adet alüminyum plaka darbe direnci testlerinin yapılabilmesi için boyanmıştır. Doğrulama deney sonuçları Tablo 7' de gösterilmiştir.

Burada önce güven aralığının belirlenebilmesi için V_e ve v_e değerlerinin bulunması gerekmektedir.

Aşağıdaki formülden hareketle;

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (9)$$

$$SS_T = 132873,940 - \frac{1532,14^2}{18} = 2459,205 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Daha sonra diğer faktörlerin kareleri toplamı bulunur;

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_i} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (10)$$

$$SS_A = 145,27 \quad ; \quad SS_B = 17,51 \quad ; \quad SS_C = 71,02 \quad ;$$

$$SS_D = 77,76 \quad ; \quad SS_E = 672,31; \quad SS_F = 894,26 \quad ;$$

$$SS_G = 105,49 \quad ; \quad SS_H = 291,4 \quad \text{ve} \quad SS_e = 184,14$$

olarak bulunur.

Optimal çözümü sağlayan F, H, C ve B faktörlerinin her birinin serbestlik derecesi 2 olduğuna göre;

$$v_T = 18 - 1 = 17$$

$$V_e = v_T - v_B - v_C - v_F - v_H \quad (11)$$

$$v_e = 17 - 2 - 2 - 2 - 2 = 9$$

olarak bulunur. Veriler aşağıda yerine konulursa;

$$V_e = \frac{SS_e}{v_e} = \frac{184,14}{9} = 20,46 \quad \text{bulunur.}$$

Tablo 7. Doğrulama Deney Sonuçları

Deney	Film Kalınlığı Ölçümleri (μ)						Darbe Aleti Ölçümleri (cm)					
	1	2	3	4	5	Ort	1	2	3	4	5	Ort
1	62,3	65,3	71,6	73,2	74,9	69,46	70	80	80	70	70	74
2	59,1	52,3	69,4	69,1	55,1	61	60	80	80	90	90	80
3	69,3	84,9	80,2	72,3	72,4	75,82	90	60	60	80	90	76
4	70,5	75,1	73,4	81,7	79,9	76,12	70	90	70	90	80	80
5	82,2	66,3	57,6	81,3	62,3	69,94	90	80	80	70	70	78
6	90,6	89,6	71,1	61,8	75,4	77,7	90	90	90	90	90	90
7	82,9	70,4	73,2	69,6	86,7	76,56	80	80	80	90	80	82
8	65,4	62,3	64,9	70,4	81,6	68,92	90	90	90	80	90	88
9	76,3	75,7	70,7	57,5	77,3	71,5	70	80	90	90	90	84
10	74,2	78,6	95,6	72,6	75,6	79,32	90	90	80	80	80	84

Söz konusu faktörler kullanılarak yığının beklenen ortalaması;

$$\mu_{B_3C_1F_1H_2} = B_3 + C_1 + F_1 + H_2 - 3T$$

$$\mu_{B_3C_1F_1H_2} = 86,293 + 82,977 + 76,017 + 82,424 - 3(85,119) = 72,354$$

olarak bulunmuştur.

Bu bir nokta değeri olduğundan, sağlama deneyinden elde edilecek sonuçların yayılabilecekleri güven aralıkları oluşturulmalıdır. Ortalamanın, seçilen güven düzeyindeki güven aralığı (CI) Denklem (12)' dan yerine konursa;

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;v_e} V_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (12)$$

$$F_{0,05;1;9} = 5,12 \quad (\%95 \text{ güven düzeyinde})$$

$$V_e = 20,46$$

$$n_{eff} = \frac{18}{1+8} = 2$$

$$r = 10 \quad (\text{Sağlama deneyinde 10 deneme yapılmıştır.})$$

Buna göre;

$$CI = \sqrt{5,12 \times 20,46 \times \left[\left(\frac{1}{2} \right) + \left(\frac{1}{10} \right) \right]} = 7,927$$

$$\mu_{B_3C_1F_1H_2} - 7,927 \leq \mu_{B_3C_1F_1H_2} \leq \mu_{B_3C_1F_1H_2} + 7,927$$

Doğrulama deneyi sonuçlarının ortalamasının, içine düşmesi beklenen güven aralığı aşağıda gösterilmiştir.

$$64,427 \leq \mu_{B_3C_1F_1H_2} \leq 80,281 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Benzer şekilde darbe direnci için aynı adımlar tekrarlandığında doğrulama deneyi sonuçlarının ortalamasının, içine düşmesi beklenen güven aralığı aşağıda gösterilmiştir.

$$76,579 \leq \mu_{B_3C_1F_1H_2} \leq 90,093 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Film kalınlığı deney sonuçlarının ortalaması 72,634 μ ve darbe aleti test sonuçlarının ortalaması 81,6 cm gelmiştir. Bu değerler, her biri için belirlenen güven aralığının içinde olduğuna göre, film kalınlığı ölçüsüne ve darbe aleti yüksekliğine etki edeceği belirlenen faktör ve seviyelerinin doğru seçildiğine inanılır.

V. HİPOTEZ TESTİNİN UYGULANMASI

Doğrulama deney sonuçlarının tesise bir yararının olup olmadığını anlaşılabilmesi için hipotez testlerine bakılmasında yarar vardır. Film kalınlığı için doğrulama

deneyleri yapılmadan önce işletme raporlarından basit tesadüfi örnekleme ile 50 adet ölçüm sonucu alınmıştır. Bu sonuçlar ile doğrulama deney sonuçları arasında ortalamaların farkının sınanması gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde darbe direnci için de hipotez testi uygulanarak optimum proses şartları sonunda prosesin ne ölçüde geliştirildiği gözlenmeye çalışılmıştır. Ölçüm sonuçları Ocak 2003 tarihinden önceki verilerden alınmıştır. İşletme raporlarından alınan ölçüm sonuçları Tablo 8' de gösterilmiştir.

Tablo 8. İmalat Raporlarından Elde Edilen Eski Ölçüm Sonuçları

Deney	Film Kalınlığı Ölçümleri (μ)						Darbe Aleti Ölçümleri (cm)					
	1	2	3	4	5	Ort	1	2	3	4	5	Ort
1	66,6	87,3	87,3	85,2	111,1	87,5	70	60	90	70	90	76
2	88,4	78,3	88,1	72,1	89,4	83,26	60	60	80	60	90	70
3	66,1	84,6	91,4	95,1	114,6	90,36	90	70	70	50	80	72
4	91,2	112,2	107,2	82,2	102,5	99,06	60	60	90	70	70	70
5	94,5	79,4	90,3	112,8	55,3	86,46	90	70	90	80	60	78
6	88,6	95,3	93,4	93,7	84,3	91,06	60	90	80	60	60	70
7	91,3	59,1	74,1	74,6	85,3	76,88	60	60	90	50	70	66
8	67,6	96,3	75,2	55,9	65,3	72,06	70	90	90	70	60	76
9	89,1	106,1	64,3	93,1	53,8	81,28	50	80	60	50	80	64
10	81,6	108,9	77,3	94,7	95,7	91,64	80	70	60	70	90	74

Bu veriler elde edildikten sonra film kalınlığı ve darbe direnci için ortalamalarının farkının sınanmasına başlanabilir.

Film kalınlıklarının ortalamaları arasında fark yoktur diyen

$$H_0 = \mu_y - \mu_e = 0$$

sıfır hipotezinin doğal bir sınaması, uygulamadan önceki film kalınlıklarının ortalaması daha yüksek diyen

$$H_1 = \mu_y - \mu_e < 0$$

karşı hipotezi ile yapılır. Karar kuralı,

$$\frac{(\bar{x}_y - \bar{x}_e) - (\mu_y - \mu_e)}{\sqrt{(s_y^2 / n_y) + (s_e^2 / n_e)}} < -z_\alpha \quad (13)$$

ise H_0 ' H_1 lehine reddedim biçimindedir [7]. Film kalınlığı için ortalamaların farkının sınanmasında eski ölçüm sonuçlarının ortalamalarının doğrulama deney sonuçlarının ortalamalarından daha yüksek olduğu düşünülerek hipotez kuralları oluşturulmuştur.

Burada;

$$n_e = 50 \quad \mu_e = 85,956 \quad s_e^2 = 234,956$$

$$n_y = 50 \quad \mu_y = 72,634 \quad s_y^2 = 84,212$$

Değerler yerlerine denklem (13)' te konduğunda;

$$\frac{72,634 - 85,956}{\sqrt{(234,956 / 50) + (84,212 / 50)}} = -5,273 \text{ olarak}$$

bulunur.

% 5 anlam düzeyi için $z_{0,05}$ değerinin 1,645 olduğu düşünülecek olursa ortalamalar arasındaki iyileştirmenin çok büyük olduğu söylenebilir. Bulunan bu değer % 0,01 anlam düzeyinde bir sınama için $\alpha = 0,0001$ ' dir. Öyleyse $z_\alpha = z_{0,0001} = 3,75$ olur. -5,273, -3,75' ten küçük olduğundan, bu denli düşük bir anlamlılık düzeyinde bile, sıfır hipotezi reddedilir. Bu verilerde, eski sonuçların ortalamalarının yeni sonuçlara göre daha yüksek olduğu konusunda karşı konamayacak güçte kanıt bulunmaktadır.

Darbe direnci için doğrulama deney sonuçlarının ortalamalarının eski ölçümlerden daha iyi olduğu düşünülerek hipotez kuralları oluşturulmuş ve sonuç

bulunmuştur. Buradan darbe direnci için hipotez testi sonucu 4,464 olarak bulunur.

Bulunan bu değer % 0,01 anlam düzeyinde bir sınama için $\alpha = 0,0001$ ' dir. Öyleyse $z_{\alpha} = z_{0,0001} = 3,75$ olur. 4,464, 3,75' ten büyük olduğundan dolayı sıfır hipotezi reddedilir. Yani yeni darbe direnci ölçülerinin ortalamalarının eski ölçümlere nazaran çok daha iyi olduğu sonucu çıkmaktadır.

VI. MALİYET DEĞERLENDİRME

Daha önceden söylendiği gibi toz boya da önemli olan sarfiyatların dolayısıyla maliyetlerin azaltılması idi. Boya hesaplamalarında önemli olan 1 kg toz boya ile ne kadar mm^2 alan boyanacağını bilmesidir. Bunun belirlenebilmesi için toz boyama işletmelerinin kullandığı formül aşağıda verilmiştir;

$$m^2 = \frac{1000gr}{\text{özkütle} \times \text{mikron}} \quad \text{Burada;}$$

$$\text{özkütle} = \frac{gr}{cm^3}; \quad 1mm = 1000\mu \quad \text{olduğuna göre}$$
$$\text{mikron}(\mu) = 0,001mm$$

yerlerine konulursa;

$$m^2 = \frac{1000gr}{1,6gr/cm^3 \times 72,634 \times 0,001mm} = 8,604m^2$$

olarak bulunur.

Bulunan bu değer optimal şartlar altında boyanan alüminyum profilin 1 kg boya ile boyanacak alanının m^2 üzerinden değeridir. 2002 yılı verilerine göre 1 kg boya ile 8,341 m^2 alüminyum profil boyanmaktadır. Doğrulama deneyleri sonucu oluşan ortalama film kalınlığı değerinin vasıtasıyla bulunan değer ise 8,604 m^2 idi. Yani 1 kg boya ile $8,604 - 8,341 = 0,263 m^2$

lik artış sağlanmıştır. Bu ise $\frac{0,263}{8,341} \times 100 = \%3,15$ ' lik

bir verim artışı sağlamıştır. 2002 yılında aylık kullanılan boya miktarı 6230 kg' dır. 1 kg boya ile 0,263 m^2 lik artış, ayda ortalama olarak $\frac{74770}{12} \times 0,263 = 1638,7 m^2$ yi boyayacaktır.

VII. SONUÇLAR

Film kalınlığı ve darbe direnci sonuçlarının belirlenen güven aralıklarının içerisinde gelmesi seçilen faktör ve seviyelerinin uygun olması anlamına gelmektedir. Yapılan bu çalışma sonucunda doğrulama deneyleri ile işletmenin 2002 yılı imalat sonuçlarının bir karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca eski ölçüm sonuçları ile doğrulama deney sonuçları arasında ortalamalarının farkının sınılanması, ne ölçüde iyileştirme sağlandığının göstergesi olmuştur. Geliştirilen optimum şartlarda 1 kg toz boya ile 0,263 m^2 lik artış sağlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile iki temel konu vurgulanmak istenmektedir. Birincisi çok yanıtlı problemlerin çözümü için bir eniyileme prosedürü tanımlanarak, prosedürün uygulanabilirliğinin gösterilmesi, ikincisi ise toz boya maliyetlerinin azaltılması ve müşterilerin istediği kalitede ve dayanımda profillerin boyanabilmesi için prosesin geliştirilmesidir.

KAYNAKLAR

- 1 Aydın M. E., *Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Seginan Sanayinde Bir Uygulama*, Sakarya Üniversitesi (1994)
- 2 Baynal K., *Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama*, Doktora Tezi, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Mart (2003)
- 3 Tong L. I., Su C. T., Wang C. H., "The Optization Of Multi-Response Problems In The Taguchi Method", *Int.J. of Quality & Reliability Management*, Vol.14, No.4, 367-380 (1997)
- 4 Kros J. F., Mastrangelo C.M., "Comparing Methods for the Multi-Response Design Problem", *Qual. Reliab. Engng. Int.*, 17:323-331 (2001)
- 5 Reddy P.B.S., Nishina K., Babu A.S., "Taguchi's methodology for multi-response optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry", *Int. Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.15, No.6, 646-668 (1998)
- 6 Ross P. J., *Taguchi Tachniques for Quality Engineering*, McGraw – Hill, 1-278, Newyork (1988)
- 7 Newbold P., *İşletme ve İktisat İçin İstatistik*, 4. basımdan çeviri Şenesen Ü., Literatür Yayıncılık, İstanbul, 393 – 402 (2000)