

TAGUCHI METODUNDA VARYANS ANALİZİNE ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

Erdal CANIYILMAZ* ve **Fevzi KUTAY****

*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38039
Kayseri, erdal@gazi.edu.tr

**Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi
Üniversitesi, Maltepe, 06570 Ankara, fkutay@gazi.edu.tr

ÖZET

Taguchi Metodu, ortogonal dizileri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan bir deneysel tasarım tekniğidir. Bu teknikte faktör seviyelerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılır. Bu çalışmada, gerçek sistemden elde edilen veriler kullanılarak, Varyans Analizi Yöntemi ile Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi Yönteminin bir karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak problem, çok amaçlı karar verme problemi şeklinde tekrar modellenmiştir. Yeni modelin çözüm sonuçları ANOVA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak mühendislik tasarımlarında Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi Yönteminin Varyans Analizi Yöntemine göre daha iyi sonuç verebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Metodu, grafiksel gösterim, ANOVA

AN ALTERNATIVE APPROACH TO ANALYSIS OF VARIANCE IN TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

Taguchi Method is an experimental design technique to minimize the effects of the uncontrollable factors by using orthogonal arrays. In this technique, various methods are used to determine the levels of the factors. In this study, a comparison between Analysis of Variance and Method of Graphical Representation of the Factor Effects has been made using data obtained from a real system and problem has been modeled as a multi-objective decision making based on the results. Results of the new model is compared with the result of the ANOVA and it is seen that the Method of Graphical Representation of the Factors Effects can give better results compared with the Analysis of Variance.

Keywords: Taguchi Method, Graphical Representation, ANOVA

1. GİRİŞ

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur [1]. Bu metod; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanını vermektedir [1,2]. Bunun yanında felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanmasını öngörmektedir [3]. Bu metodda faktör seviyelerinin tespit edilmesinde; gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun farkları yöntemi, varyans analizi yöntemi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemlerinden birisi uygulanmaktadır [2]. Bu çalışmada, gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak Varyans Analizi Yöntemi ile çözülmüş bir problem, Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi Yöntemi ile tekrar çözülmüştür. Elde edilen grafiklere dayalı tanımlanan ağırlıklar ve önceliklere göre problem, çok amaçlı karar verme problemi şeklinde tekrar modellenmiştir. Yeni modelin çözüm sonuçları, ANOVA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu, mühendislik tasarımlarında Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi Yönteminin, Varyans Analizi Yöntemine göre daha iyi sonuç verebileceği görülmüştür. Problem verilerinin analizinde ve gerekli grafiklerin çizdirilmesinde Minitab Release 13.2 paket programı kullanılmıştır.

2. PROBLEMİN TANIMI

Şalter üretimi yapılan bir firmada, şalter gövdelerinin, kullandıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini artıracak en uygun proses şartlarının bulunması amaçlanmaktadır. Şalter gövdesi yapımında, plastik maddelerin termosetler grubunda bulunan BMC (hamur veya hazır kaplama bileşimleri) kullanılmaktadır. Termosetlerin metallere göre, mekanik değerler açısından en önemli özelliği, özgül ağırlığının az olmasıdır. Yani, bazı mekanik mukavemet değerleri olarak metallerden zayıf görünüyorsa da daha kalın döküldüğünde bazı şartlarda çelikten bile dayanıklıdır. Malzemeye şekil verildikten sonra değiştirilemez bir oluşum kazandırmaktadır. Termosetlerin bu dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda, üretilen üründe meydana gelebilecek hataları düzeltmenin mümkün olmayışı dikkate alınarak, yüksek mekanik mukavemete sahip şalterlerin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenebilmesi için, kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırılması istenmektedir [4].

Yapılan araştırma ve analizler sonucunda, şalter gövdelerinin üretildiği prosese ve mukavemetlerine etki edeceği düşünülen faktörler şunlardır;

- 1) Kalıplama süresi
- 2) Üst kalıp sıcaklığı
- 3) Alt kalıp sıcaklığı

- 4) Presleme basıncı
- 5) Hamurdaki dolgu maddelerinden “Kalsit” oranındaki değişim
- 6) Hamurun özünü teşkil eden reçinenin markası
- 7) Hazırlanan hamurun bekleme süresi
- 8) Hamur hazırlanırken kullanılan karıştırıcının hızı
- 9) Ortam sıcaklığı ve nem durumu
- 10) Kalıplanmak üzere ambalajından çıkartılan hamurun kalıplanmak üzere beklerken hata faktörlerinin etkisi ve zamanın ilerlemesiyle özelliklerinde olabilecek değişim.

Yukarıda bahsedilen faktörlerden ilk yedisi kontrol edilebilir faktör olarak belirlenmiştir. Diğer faktörler ise kontrolleri zor, pahalı ve zaman alıcı olduğundan, bunlar kontrol edilemeyen (noise, hata) faktörler olarak kabul edilmiştir. Her deney için yapılan 5 tekrar, kontrol edilemeyen faktörlerin gün boyunca değişmesi durumunda, bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde fayda sağlamıştır.

Ayrıca kalıplama süresi ile üst ve alt kalıp sıcaklığı arasında bir etkileşim olabileceği tahmin edilmiş ve bu etkileşimler de birer faktör gibi kabul edilip, bu ortogonal dizinin kolonlarına atanmıştır. Performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyeleri, Tablo1’de verilmiştir [4].

Tablo1. Performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyeleri

Kod	FAKTÖRLER	1.Seviye	2.Seviye
A	Kalıplama süresi	120 sn.	150 sn.
B	Üst kalıp sıcaklığı	140 °C	147 °C
C	Alt kalıp sıcaklığı	150 °C	157 °C
D	Presleme basıncı	110 bar	150 bar
E	Hamurun özünü teşkil eden reçinenin markası	A marka	B marka
F	Hamurdaki dolgu maddelerinden Kalsit oranındaki değişim	% a	% b
G	Hazırlanan hamurun bekleme süresi	X gün	Y gün

3. PROBLEMİN FAKTÖR ETKİLERİNİN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ METODU İLE ÇÖZÜMÜ

3.1. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizin Seçimi ve Deneylerin Yapılması

Belirlenen probleme uygun ortogonal dizi seçiminde, öncelikle faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılmıştır. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunluk sağlıyorsa o tercih edilmiştir [2,5,6].

Faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplamıdır [7]. Tablo 2’de gösterildiği gibi toplam serbestlik derecesi 9 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri ve toplam serbestlik derecesi

Faktör/Etkileşim	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	$V_D=K_D-1=2-1=1$
E	$V_E=K_E-1=2-1=1$
F	$V_F=K_F-1=2-1=1$
G	$V_G=K_G-1=2-1=1$
A*B	$V_{A*B}=(V_A)*(V_B)=1*1=1$
A*C	$V_{A*C}=(V_A)*(V_C)=1*1=1$
Toplam Serbestlik Derecesi = 9	

Serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilmiştir. Toplam serbestlik derecesi en fazla, seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir [8]. Bu nedenle bu probleme en uygun ortogonal dizi L_{16} ’dır. ($V_{L16}=16-1=5 > 9$)

Faktör ve etkileşimlerin L_{16} ortogonal dizisine atanması Tablo 3 dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 3. L_{16} ($2^{**}15$) Dizisi için standart etkileşim tablosu [9]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2			1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3				7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4					1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5						3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6							1	14	15	12	13	10	11	8	9
7								15	14	13	12	11	10	9	8
8									1	2	3	4	5	6	7
9										3	2	5	4	7	6
10											1	6	7	4	5
11												7	6	5	4
12													1	2	3
13														3	2
14															1

Tablo 3'e göre, koyu renkle yazılmış faktör kolon numaralarının kesiştikleri rakam, o faktörlerin etkileşimlerinin yerleştirileceği kolon numarasını vermektedir. Örneğin 1 ve 2 numaralı kolonun keşimi 3 nolu kolona, 1 ve 4 nolu kolonun kesişimi 5 nolu kolona, 3 ve 6 nolu kolonun kesişimi 5 nolu kolona vb. yerleştirilecektir.

Yerleştirme işlemi yapılırken, öncelikle etkileşimli oldukları tahmin edilen faktörler yazılır ve bunların etkileşimleri tabloya bakılarak ilgili kolona atanır. Daha sonra kalan faktörler, mümkün olduğu kadar herhangi 2 faktörün etkileşiminin olmadığı kolona denk gelecek şekilde yerleştirilir [10]. Problem için faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması, Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması

Faktörler/Etkileşimler	Atanacağı Kolon
A	1
B	2
A*B	3
C	4
A*C	5
D	7
E	8
F	11
G	13

L_{16} tablosunda her faktör grubu için belirtilen düzeylerdeki deneyler; deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek için rassal bir biçimde gerçekleştirilir [6,11].

Her bir deney beşer defa tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar N/mm^2 olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

3.2. Deney Sonuçlarının Analizi

Tasarım deneyleri sonucunda elde edilen veriler Minitab Release 13.2 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizden elde edilen ve ileriki aşamalarda grafiklerin çizdirilmesinde kullanılan sayısal veriler (ortalama, standart sapma, S/N oranı, standart sapmanın doğal logaritması, varyans katsayısı) Şekil 1'de gösterilmiştir.

Verilerin analiz edilmesinde "Faktör Etkilerinin Grafiksiz Gösterimi" metodu kullanılmıştır. Bu metodda faktör ve etkileşime ait 1. veya 2. seviyedeki gözlemlerin ortalamaları (ortalama performansları) bulunur. Bunların büyüğü ve küçüğü belirlenir, tüm ortalama değerleri kapsayan düşey bir scala çizilir. Her faktörün

The screenshot shows the MINITAB software interface with a Taguchi Design experiment results table. The table has columns for factors A through G, and response variables Sonuc1 through Sonuc5, SNRA1, LSTD1, STDE1, MEAN1, and CV1. The data is as follows:

	A	B	AB	C	AC	D	E	C	C	C	C	C	C	C	C	Sonuc1	Sonuc2	Sonuc3	Sonuc4	Sonuc5	SNRA1	LSTD1	STDE1	MEAN1	CV1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	82,09	60,18	67,63	60,16	80,16	37,05	2,56	12,96	74,04	0,18
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	96,52	71,33	90,14	120,90	76,28	38,75	2,97	19,55	91,03	0,21
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	70,57	49,33	78,68	57,10	57,36	35,58	2,47	11,79	62,61	0,19
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	94,03	37,93	62,68	46,45	57,63	34,37	3,07	21,45	59,74	0,36
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	105,80	69,03	94,27	60,86	49,83	36,64	3,15	23,37	75,96	0,31
6	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	86,19	101,50	89,75	86,33	74,88	38,17	2,61	13,69	83,73	0,16
7	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	67,54	78,46	60,86	80,00	87,92	36,76	2,66	14,33	72,96	0,20
8	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	100,90	72,12	69,25	111,80	57,86	37,55	3,13	22,78	82,35	0,26
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	72,50	71,97	77,27	86,23	81,42	37,77	1,80	6,05	77,88	0,08
10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	46,95	72,36	62,25	112,30	85,33	36,50	3,21	24,75	75,84	0,33
11	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	61,33	74,52	64,98	96,15	56,04	36,54	2,76	15,79	70,60	0,22
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	97,29	100,00	81,48	92,13	108,30	39,51	2,30	9,93	95,84	0,10
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	67,70	54,12	68,33	74,93	91,86	36,69	2,62	13,72	71,39	0,19
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	56,32	90,37	85,67	66,18	57,90	36,57	2,76	15,81	71,29	0,22
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	93,16	59,41	70,55	49,30	71,26	36,17	2,79	16,36	68,74	0,24
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	67,27	62,51	38,95	107,10	68,09	35,41	3,20	24,50	68,78	0,36

The dialog box 'Analyze Taguchi Design - Storage' is open, showing the following options to be stored:

- Signal to Noise ratios
- Means
- Standard deviations
- Coefficients of variation
- Natural log of standard deviations

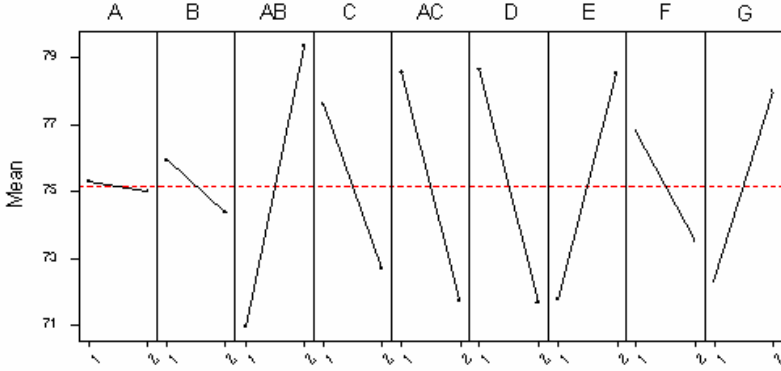
Şekil 1. Deneysel sonuçlarda elde edilen veriler ve sayısal değerler

yüksek ve düşük seviyedeki ortalamaları grafikte işaretlenir ve bu noktalar birleştirilir. Bu noktalardan biri genel ortalamaya çizgisinin altında diğeri üzerindedir. Bunlar genel ortalamadan eşit uzaklıktadır [12].

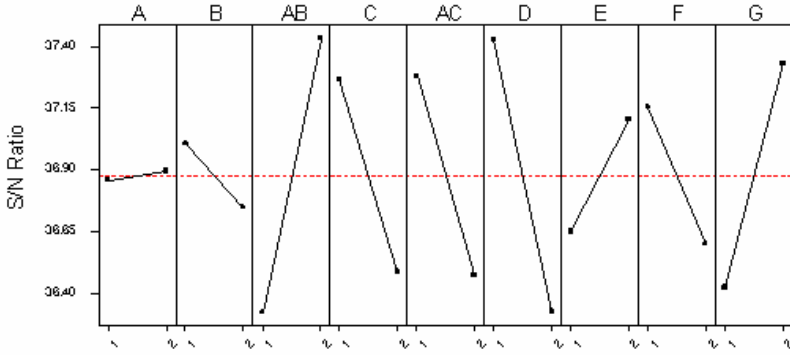
Varyans analizinde, deneysel tasarımda bütün noktalarda (çeşitli faktörlerin çeşitli seviyelerinin kombinasyonlarında) değişkenliğin aynı olduğu farz edilmektedir. Fakat mühendislik tasarımlarında bu doğru olmayabilir. Lochner ve Matar (1990)'a göre deneysel tasarım kullanımının en önemli sebebi, sonuçlardaki değişkenliği minimize edecek faktör seviyelerinin kombinasyonunu bulmaktır. Bu sebeple varyans analizi metodu yerine faktör etkilerinin grafiksel gösterimi tavsiye edilmektedir [12].

Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metoduna uygun olarak Şekil 2. hazırlanmıştır. Bu tabloda, herbir faktör ya da etkileşimin ortalama üzerindeki etkisi, grafiksel ve sayısal olarak gösterilmiştir. Ayrıca etki değerlerine göre de önem sıraları belirtilmiştir.

Aynı yöntem kullanılarak S/N oranı için hesaplamalar yapılırsa Şekil 3. elde edilir. Burada en büyük en iyidir yaklaşımı kullanılmıştır.



Şekil 2. Ortalamalar için sonuç tablosu

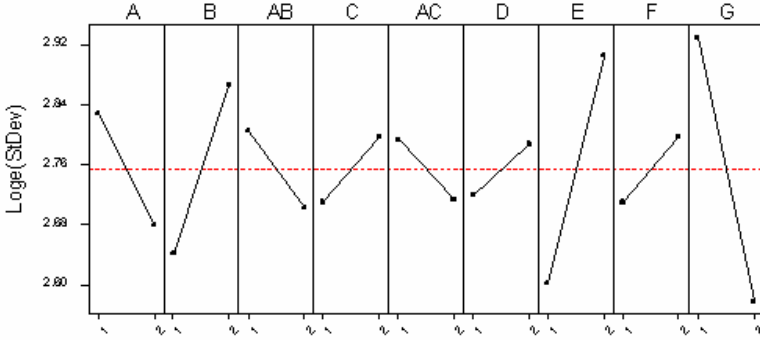


Şekil 3. S/N Oranı için sonuç tablosu

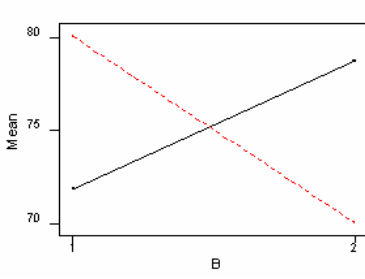
Değişkenliği etkileyen faktörleri ortaya çıkarmak için ortalamanın standart sapması analiz edilir. Ancak standart sapmanın dağılımı, deney tasarımı analiz yönteminin önemli varsayımı olan normal dağılıma uymadığı için, standart sapmanın logaritması için analiz yapılır. Çalışmamızda standart sapmanın logaritması normal dağılıma uymaktadır. Şekil 4'te standart sapmanın logaritması için elde edilen değerler gösterilmektedir.

Şekil 2 ve Şekil 3'deki grafikler incelendiğinde AB ve AC arasında kuvvetli bir etkileşim olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu etkileşimleri oluşturan A, B ve C faktörlerini tek tek değil, etkileşimi oluşturduğu faktörle beraber incelemek gerekir. AB ve AC için elde edilen grafiksel sonuçları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

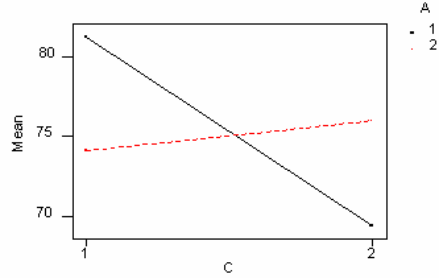
Şekil 5'de AB etkileşimi için elde edilen değerler incelendiğinde A_2B_1 etkileşiminin en yüksek ortalama değeri verdiği görülmektedir. Amacımız ortalama mukavemet değerini yükseltmek olduğu için A'nın 2. B'nin 1. düzeyi seçilir.



Şekil 4. Standart sapmanın logaritması için sonuç tablosu



Şekil 5. AB etkileşim tablosu



Şekil 6. AC etkileşim tablosu

Şekil 6'da AC etkileşimi incelendiğinde A_1C_1 etkileşimi en yüksek ortalama değeri göstermektedir. Dolayısıyla da bu etkileşimde A'nın 1. düzeyi C'nin 1. düzeyi seçilir.

AB ve AC etkileşimlerinde A faktörü için farklı seviyeler ortalama mukavemet değerini yükseltmektedir. Ancak sadece bir düzeye karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde AB etkileşimi AC etkileşiminden daha fazla sonuca etki etmektedir. Böylece AB etkileşimi için öngörülen A'nın 2. düzeyi seçilir.

A, B ve C faktörleri için, değişik seçimlerin de sonuca etkisi incelenmiş ve en uygun düzeylerin yukarıda belirtilen düzeyler olduğu görülmüştür.

Diğer faktörlerin seviyelerinin tespit edilmesinde, sonuca etki etme derecelerinin dikkate alınması gerekir. Daha önce grafiksel olarak verilen, faktörlerin sonuca etki etme dereceleri Tablo 5'de özetlenmiştir.

A, B ve C faktörleri için AB ve AC etkileşimleri göz önüne alınarak en uygun seviyeler daha önce belirlenmişti. Bu yüzden Tablo 5'de etkileşimler için en uygun seviyeler "*" şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 5.Veri analizi özet tablosu

Faktör / Etkileşim	Ortalamalar için sonuç		S/N Oranı için sonuç (En büyük en İyi)		Log (Std) için sonuç	
	Etki Derecesi	Uygun Seviye	Etki Derecesi	Uygun Seviye	Etki Derecesi	Uygun Seviye
AB	1	*	1	*	5	*
D	2	1	2	1	9	1
AC	3	*	4	*	8	*
E	4	2	7	2	2	1
G	5	2	3	2	1	2
C	6	1	5	1	7	1
F	7	1	6	1	6	1
B	8	1	8	1	3	1
A	9	2	9	2	4	2

Tablo 5’de karar verirken 2 tane temel amaç göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

- Ortalama mukavemet değerinin yüksek olması ve
- Varyansın düşük olmasıdır.

Bu amaçlar, ağırlık dereceleri göz önünde bulundurularak D, E, G ve F faktörleri için bir amaç programlama modeli kurulmuştur. Ağırlık dereceleri her bir faktörün etki derecesine göre belirlenmiştir. Faktör seviyelerinin tespiti için kurulan bu model ve sonuçları Tablo 6’da gösterilmiştir.

Modelde;

X = Ortalama için en uygun seviyeyi

Y = Log (Std) için en uygun seviyeyi ifade etmektedir.

Modelde verilen X ve Y değişkenleri 0-1 değişken olarak tanımlanmıştır ve;

0 = tercih edilmeyen değişken

1 = tercih edilen değişken anlamına gelmektedir.

Modelde tercih edilen değişkenin daha önce bulunan en uygun düzeyi seçilmektedir.

Sonuç olarak, faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemine göre $A_2B_1C_1D_1E_1F_1G_2$ kombinasyonu ortalama mukavemet değerinin en yüksek, varyansın en düşük olduğu çözümü vermektedir.

Tablo 6. Amaç programlama modeli ile faktör seviyelerinin tespiti

Faktör	Model	Sonuç	En Uygun Seviye
D	$Max = P_1d_1^+ + P_2d_2^+$ $X + Y = 1$ $d_1^+ + d_2^+ = 1$ $X - d_1^+ + d_1^- = 0$ $Y - d_2^+ + d_2^- = 0$ $P_1 > P_2$ $X, Y = 0,1$	$X = 1$ $Y = 0$	1
E	$Max = P_1d_1^+ + P_2d_2^+$ $X + Y = 1$ $d_1^+ + d_2^+ = 1$ $X - d_1^+ + d_1^- = 0$ $Y - d_2^+ + d_2^- = 0$ $P_2 > P_1$ $X, Y = 0,1$	$X = 0$ $Y = 1$	1
F	$Max = P_1d_1^+ + P_2d_2^+$ $X + Y = 1$ $d_1^+ + d_2^+ = 1$ $X - d_1^+ + d_1^- = 0$ $Y - d_2^+ + d_2^- = 0$ $P_2 > P_1$ $X, Y = 0,1$	$X = 0$ $Y = 1$	1
G	$Max = P_1d_1^+ + P_2d_2^+$ $X + Y = 1$ $d_1^+ + d_2^+ = 1$ $X - d_1^+ + d_1^- = 0$ $Y - d_2^+ + d_2^- = 0$ $P_2 > P_1$ $X, Y = 0,1$	$X = 0$ $Y = 1$	2

4. FAKTÖR ETKİLERİNİN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ METODU VE VARYANS ANALİZİ METODU SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 1'deki veriler kullanılarak problemin, varyans analizi metoduna göre çözümü, problemin alındığı çalışmadan [4] özet olarak alınmıştır. Bu metoda uygun olarak çözüm yapıldığında elde edilen sonuçlar, Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Varyans analizi özet tablosu [4]

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı (SS)	Serbestlik Derecesi (v)	Varyans (V)	F Değeri
A	160,427	1	160,427	*4,621
B	285,171	1	285,171	**8,214
A*B	0,025	1	0,025	0,0007
C	0,267	1	0,267	0,0077
A*C	12,596	1	12,596	0,363
D	118,723	1	118,723	*3,7
E	15,634	1	15,634	0,45
F	307,581	1	307,581	**8,859
G	237,776	1	237,776	**6,84
HATA(e)	208,301	6	34,717	
TOPLAM	1346,5	15		
** %95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0,05);1;6} = 5,99$				
* %90 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0,10);1;6} = 3,78$				

Sonuç olarak, varyans analizi yöntemine göre $A_1B_2D_1F_1G_2$ kombinasyonu en uygun çözüm olarak belirlenmiştir [4].

Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu ve varyans analizi metodu kullanılarak elde edilen sonuçlar, daha önce modelin tanımlandığı Minitab Release 13.2 paket programında %95 güvenlik düzeyinde tahmin ettirildiğinde elde edilen sonuçlar Tablo 8 ve Tablo 9 'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Varyans analizi metoduna göre tahmin değerleri

S/N Ratio	Mean	StDev	Log(StDev)			
38,1719	81,607	11,5570	2,49277			
Tahminler İçin Faktör Seviyeleri						
A	B	C	D	E	F	G
1	2	1	1	1	1	2

Tahmin değerleri karşılaştırıldığında faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodunun, varyans analizi metoduna göre daha yüksek ortalama değer ve daha az varyansa sebep olan faktör seviyelerini tespit ettiği görülmüştür.

Tablo 9. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metoduna göre tahmin değerleri

S/N Ratio	Mean	StDev	Log(StDev)			
38,4697	82,8995	7,17140	2,12163			
Tahminler İçin Faktör Seviyeleri						
A	B	C	D	E	F	G
2	1	1	1	1	1	2

5. SONUÇ

Üretimde zaman ve maliyet açısından bilimsel metotların kullanılması bir zorunluluktur. Deneysel tasarım metotları da, işletmelerin artan rekabet şartlarında pazar paylarını arttırabilmeleri ve etkin çalışabilmeleri için önemli bir rol oynamaktadır.

Taguchi metodunun parametre tasarımı aşamasında uygulanması, yani ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce uygulanması işletmeler açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Çünkü, daha işe başlamadan, sonuç hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Böylece, işletmeler sistemlerini, zaman ve maliyet kaybı oluşturmadan etkin ve verimli bir şekilde kurabilirler.

Sonuçların analiz edilmesinde tek bir yöneme bağlı kalınmamalıdır. Her yöntemin kendi açısından iyi sonuçlar verdiği durumlar olabilir. Nitekim bu çalışmada faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemi, varyans analizi yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

Ayrıca bu çalışmada, grafiksel yöntemden elde edilen grafiklere dayalı tanımlanan ağırlıklar ve öncelikler doğrultusunda problem, çok amaçlı karar verme problemi şeklinde tekrar modellenmiş ve çözülmüştür.

Taguchi metodu çoğu işletmede bilinmemekte veya daha fazla maliyet ve daha fazla zaman alan yöntemler kullanılmaktadır. Bu noktada Taguchi metodu uygulamalarının bilinmesi ve iyi bir şekilde uygulanması sanayimizin bir adım daha ileriye gitmesinde şüphesiz önemli bir rol alacaktır.

KAYNAKLAR

1. Canıylmaz, E, **Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2001.
2. Ross, P.J., **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw-Hill, Singapore, 1989.
3. Genichi, T. and Clausing, D., **Robust Quality**, Harvard Business Review, 65-76, 1990.

4. Bayrak, Z., **Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolde Uygulanması**, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 1996.
5. Leon, V.R., Shoemaker, A.C. and Kacker; R.N., **Performance Measures Independent of Adjustment: An Explanation and Extension of Taguchi's Signal-to-Noise Ratios, Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method**. Edited by K.Dehnad, Wadsworth & Brook, California, 1989.
6. Montgomery, D.C., **Design and Analysis of Experiments**, Arizona State University, John Wiley & Sons, N.Y., Chichester, Brisbane, Toronto Singapore, 1991.
7. Şirvancı, M., **Kalite İçin Deney Tasarımı Yaklaşımı, Taguchi Yaklaşımı**, Wisconsin Üniversitesi İşletme Fakültesi, ABD, 1997.
8. Taguchi, G., Elsayed, A. and Hsiang, T., **Quality Engineering in Production Systems**, McGraw Hill, New York., 1989.
9. Peace, G.S., **Taguchi Methods**, Addison-Wesley Publishing Company, London, 1993.
10. Park, S.H., **Robust Design and Analysis for Quality Engineering**, Chapman & Hall, 1996.
11. Phadke, M.S., **Quality Engineering Using Robust Design**, Prentice-Hall, 1989.
12. Lochner, J.H. and Matar, J.E, **Designing for Quality**, ASQC Quality Press, 190, 1990.