Deney Tasarımında Kesirli Çoketkenli Tasarımlar ve Uygulamaları

Cem KADILAR* Zehra MULUK**

ÖZET

Bu çalışmada son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan kesirli çoketkenli tasarımlar hakkında temel bilgiler sunulmuş, çeşitli örnekler verilerek konuya açıklık kazandırılmış, ayrıca 3^k çoketkenli deney tasarımları için bir uygulama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : *Kesirli çoketkenli tasarımlar, Gruplama, Eniyileme.*

1. GİRİŞ

Ülkemizde özellikle sanayide kalite geliştirmek için deney tasarım yöntemlerinden yararlanılmadığı bilinen bir gerçektir.Son yıllarda kalitenin üretilmesini amaçlayan toplam kalite yönetimi, işletmelerde çıktı değişkenimizi en iyi yapabilmek için deney tasarımlarını kullanmayı zorunlu görmektedir. Eğer sanayi ürünlerinde kendimize özgü yapılar geliştirmek ve dünya piyasalarında özgün ürünümüz ile sesimizi duyurmak istiyor isek ISO9000'in 2000 versiyonunda da önemle üzerinde durulan istatistik teknikleri ve onun bir kolu olan deney tasarımını kullanmak zorundayız. Bu makale ile deney tasarımının en yararlı ve bilinen yöntemlerinden biri olan 3^k deneylerini tanıtmak böylelikle sanayide kalite geliştirmek isteyen kişilere yardımcı olmak istedik.

Üretimde, kalite geliştirme işlemlerinde yapılan ve yapılması gereken birçok araştırmada, sürecin çıktısı ile ele alınan birtakım açıklayıcı değişkenler arasında ilişkinin olduğu modeller incelenmektedir. Bu tür durumlarda kullanılan istatistiksel yöntemlere cevap yüzeyi yöntemleri adı verilmektedir. Cevap yüzeyi yöntemlerinin önemli konularından biri model kurma, yani cevap değişkeni ile açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiye uygun bir istatistiksel model geliştirme işlemi olmaktadır. Diğer önemli bir konu ise eniyileme durumu, yani cevabı en büyük (ya da en küçük) yapacak şekilde açıklayıcı değişkenleri ayarlama durumu olmaktadır. Cevap yüzeyi yöntemlerinde amaca ulaşılabilmesi için doğru kurulan bir deney tasarımı sonunda elde edilen cevap yüzeyinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu deneylerde istenilen özellikler model kurmaya elverişli ve deney tasarımının kolay bir şekilde

* Dr., Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü 06532 ANKARA e-mail: kadilar@hacettepe.edu.tr. (Haberleşme adresi)

**Prof.Dr., Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü 06532 ANKARA.

oluşturulabilir olmasıdır. En sık kullanılan deney tasarımları 2^k (k, açıklayıcı değişken sayısı, çalışma boyunca bu değişkenlere etken denilecektir) ve 3^k deneyleri olmaktadır. Bunun nedeni 2^k deneylerinde doğrusal trentlerin ve etkileşimlerin, 3^k deneylerinde ise karesel trentlerin elde edilebilmesidir. Dolayısıyla 3^k deneylerinde birinci ya da ikinci dereceden model kurulabilirken, 2^k deneylerinde doğrusal model kurulabilmektedir.

3^k deneylerinde k'nın artırılması ile oluşturulacak tasarımlarda genellikle deneme kombinasyonları, Tablo 1'de görüleceği gibi, oldukça fazla olacağından deneyi küçültmek için bu deneme kombinasyonlarından sadece bir grubu ile deney yapılması tercih edilmektedir. İşte bu tür tasarımlara kesirli çoketkenli tasarımlar adı verilmektedir. Yapılan bu küçültme ile bilinmeyen parametrelerin, gözlem sayısından çok olması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle etken ve etkileşimlerin tümü için tahminin elde edilmesi engellenmektedir. Sorunun çözümü, bazı etkileşim etkilerinin sıfır olduğu varsayılarak parametre sayısının azaltılmaya çalışılması ile gerçekleştirilir. Bu varsayım yapılırken genellikle deneyi yapan araştırmacının önsel bilgilerinden yararlanılmaktadır (Toman, 1994).

Tablo 1. 3^k Deneylerinde k (Açıklayıcı Değişken) Sayısına Göre Modeldeki Durum

			Etkileşim Derecelerine Göre Modeldeki Terim Sayısı						
k Sayısı	Deneme Sayısı	Ana Etki Sayısı	2'li	3'lü	4'lü	5'li	6'lı	7'li	8'li
4	$3^4 = 81$	4	6	4	1				
5	$3^5 = 243$	5	10	10	5	1			
6	$3^6 = 729$	6	15	20	15	6	1		
7	$3^7 = 2187$	7	21	35	35	21	7	1	
8	$3^8 = 6561$	8	28	56	70	56	28	8	1

Birden çok etkeni içeren deneylerde çoketkenli tasarımların genel kullanımı, ele alınan etkenlerin düzeylerinin tüm olası kombinasyonlarının incelenmesini içerir. Örneğin;

- üç düzeyli ısı etkeni (10 °C, 20 °C, 30 °C),
- dört düzeyli basınç etkeni (1, 1.2, 1.3, 1.4 atmosfer),
- iki düzeyli kimyasal birleşim süresi etkeni (5 ve 6 dakika)

olan bir deney 3 x 4 x 2 = 24 tane deneme kombinasyonu ya da terim içermektedir (Robinson, 1993). Dolayısıyla, genel olarak, k tane etkenli ve herbir etkenin s_j düzeyi ($s_j \geq 2$, j=1,2,...,k) olan bir deneyde $s_1 \times s_2 \times \ldots \times s_k$ tane deneme kombinasyonu ya da terim denilen, düzeylerin farklı birleşimleri olmaktadır. Eğer tüm etkenlerin düzeyleri aynı, yani $s_1 = s_2 = \ldots = s_k = s$ ise $s_1 \times s_2 \times \ldots \times s_k$ çoketkenli tasarımı simetrik tasarımlardan biri olmakta ve bu simetrik deney tasarımına s^k çoketkenli tasarımı adı verilmektedir. Tablo1'de 3^k çoketkenli tasarımlardaki etken sayısına göre deneme kombinasyonu sayıları verilmektedir. Eğer etkenlerden herhangi birinin düzeyi farklı olursa, bu durumda simetrik olmayan (asimetrik) tasarımlar sözkonusu olmaktadır (Shirakura, 1993). Bu çalışmada sadece 3^k deney tasarımı üzerinde durulacaktır.

Kesirli çoketkenli tasarımlarda ise ele alınan etkenlerin düzeylerinin tüm kombinasyonlarının incelenmesine gerek kalmamaktadır (Robinson, 1993). Dolayısıyla, bu sayede, yapılacak incelemeden daha ucuza daha çabuk sonuç alınabilecektir. Bu nedenle, özellikle ekonomik sıkıntıya neden olan deneylerde kesirli çoketkenli tasarımlar tercih edilmektedir (Chen, 1992). Örneğin, endüstriyel deneylerde bu deney tasarımının kullanılmasının başlıca nedenleri daha az masraflı olması, istatistiksel olarak yeterli bir yöntem olması ve kolay yorumlanabilir olmasıdır (Cheng and Li, 1993).

Ayrıca, son yıllarda rekabet ortamının oluşması ile ürünlerin kalitesinin artırılması ve hedeflenen bir değere ulaşabilmek için en uygun deneyin tasarlanması vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bu düşünce tarzı, hangi etkenin üretimde ya da üretim sürecinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkaran ve gerekli bilgileri en az deneme kombinasyonuyla sağlayabilen kesirli çoketkenli deney tasarımlarına ayrı bir önem kazandırmış ve literatürde bu tasarım türünü sık sık tercih edilir bir konuma getirmiştir (Schneider and Kasperski,1993; Hedayat et al., 1992).

Kesirli çoketkenli tasarımların başka kullanım alanları; ilaç yapımı, nükleer araştırmalar, kimyasal ya da fiziksel olaylar ve çeşitli konularda ele alınan kimyasal maddelerin ayrıntılı araştırılmaları olmaktadır. Bu araştırmalar, genel olarak, uygun ortamlarda kimyasal maddelerin birbirlerine olan etkilerini ve birlikteki etkileşimlerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmaktadır. Bu konuda ayrıntılı bilgi edinmek amacıyla Mohd ve diğerleri (1992), Ternes ve diğerleri (1992), Cruz ve diğerleri (1993), Cestari ve diğerleri (1996), Martins ve diğerleri (1999), Wery ve diğerleri (1999) gibi çalışmalara bakılabilir.

2. ÜÇ DÜZEYLİ KESİRLİ ÇOKETKENLİ TASARIMLAR

Tüm etkenlerin üç tane düzeyi olan 3^k çoketkenli tasarımların en basiti, tam bir çoketkenli için dokuz deney gerektiren 3^2 çoketkenlisidir. Bu tasarımda etkenler, 0 düşük düzeyi, 1 orta düzeyi, 2 yüksek düzeyi göstermek üzere üç düzeyli olarak ele alınırlar. Bu durumda, Tablo 2'de görülen 21, A etkeninin yüksek, B etkeninin orta düzeyinin uygulandığı deneme kombinasyonunu göstermektedir. Bu mantıkla, Tablo 2'de yer alan tamamlanmış tek tekrarlı bir 3^2 deneyinde olabilecek tüm olası dokuz deneme kombinasyonunu da aynı şekilde yorumlamak mümkündür.

Tablo 2. 3^{2-1} Deney Tasarımındaki Gruplar

L = 0	L = 1	L = 2
00	10	20
11	21	01
22	02	12

Tablo 2'de eğer dokuz deneme kombinasyonu aynı anda aynı materyalde uygulanabiliyorsa deney tamamlanmış bir yapıya sahiptir. A ve B etkenleri için oluşturulan tamamlanmış tek tekrarlı bir 3^2 deneyinin varyans çözümleme tablosu Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. 3^2 Deney Tasarımında Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi
A	2
B	2
AB	4

Tablo 3'ten görüldüğü gibi tam deneyin uygulanması ile A, B etkenleri ve AxB etkileşimine ait bilgi elde edilebilmektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı aynı anda aynı materyalde tüm denemelerin uygulanması olanaksız olabilir. Bu durumda örneğin ele alınan deney tasarımı için sözkonusu dokuz denemenin gruplanması gerekmektedir. Bu denemeler Tablo 2'de gösterildiği gibi üç gruba ayrıldığında herbir gruba üç deneme düşmekte ve dolayısıyla grup serbestlik dereceleri iki olmaktadır. Deneyin gruplanması bazı etkileşimlerin grup etkileri ile karıştırılması şeklinde yapılabildiğinden burada 2 serbestlik dereceli etkileşimler gruplarla karışması gerekmektedir. Ancak Tablo 3'e bakıldığında 2 serbestlik dereceli etkileşim hemen görülememektedir. Bu nedenle AxB etkileşimi 4 serbestlik derecesine sahip olduğundan bu etkileşim, birinci terimin üstünün 1'den büyük olamıyacağını söyleyen bileşenlere ayırma kuralına göre AB ve AB^2 şeklinde ikişer serbestlik dereceli iki bileşene ayrılır. Bu durumda deney, AB^2 ya da AB bileşenleri gruplar ile karıştırılarak yapılacaktır. Tablo 2'de tanımlanan deneme kombinasyonlarından yalnız bir grubu kullanılır ise, 3^2 çoketkenlisinin 1/3 kesirli tekrarı uygulanmış olur. Deneyin bu şekilde üç gruba ayrılmasında AB^2 etkileşiminin gruplarla karıştırıldığı düşünülmüştür. Bu durumda, AB^2 deneyin tanımlayıcı bağıntısı olarak adlandırılır. Tanımlayıcı bağıntı, doğrusal bir denklem biçiminde yazıldığında bu bağıntının modüler aritmatiğe göre aldığı değerler deneme kombinasyonların hangi grupta yer alacağını belirlemektedir. Genel olarak bir tanımlayıcı bağıntının doğrusal denklemi,

$$L = A_1X_1 + A_2X_2 + \ldots + A_kX_k \tag{1}$$

biçiminde yazılabilmektedir. Burada A_i tanımlayıcı bağıntıda yer alan i etkeninin üstü, X_1, X_2, ..., X_k ise tanımlayıcı bağıntıda yer alan etkenlerin kodlu değerlerini ifade etmektedir. Örneğin, AB^2 tanımlayıcı bağıntısında,

$$L = X_1 + 2X_2 \tag{2}$$

olmaktadır. Bu örnekte X_1 ve X_2 0, 1, 2 değerlerini alabilmektedir. L'nin alacağı değer modüler aritmetik kullanılarak (burada mod(3) kullanılmalıdır) çözümlenir.

Örneğin, (10) deneme kombinasyonu için $L = X_1 + 2X_2$'nin değeri

$L = 1 + 2 . 0 = 1 \mod(3)$

olur. Bu işlemler diğer deneme kombinasyonları için de yapılırsa Tablo 2'deki, mod (3)'e göre L=0, L=1 ve L=2 değerlerini alan deneme kombinasyonlarından oluşan gruplar oluşturulabilir. 1/3 tekrarlı 3^2 çoketkenli deney için L=0, L=1 ya da L=2 gruplarından yalnız biri uygulanır. Tanımlayıcı bağıntı oluşumu ve kullanımının ayrıntılı bilgilerini Mead (1988)'in kitabında bulmak mümkündür.

Tablo 2'de yer alan üç gruptan sadece biri uygulandığında bazı bilgiler birtakım diğer bilgilerden ayırt edilemez bir durumda elde edilir. Bu aynı değeri veren bilgilere eşdeş denir. Eşdeşler, 3^k deneylerinde birinci öğenin üstü hiçbir zaman 1'den büyük olmama şartı ile tanımlayıcı bağıntı ile çarpılarak bulunur. Bu durumda A'nın eşdeşi,

$$A(AB^2) = A^2B^2 = A^4B^4 = AB \ \text{mod}(3)$$

çarpımıyla bulunur. B'nin eşdeşi ise,

$$B(AB^2) = AB^3 = A$$

olmaktadır. Böylece A, B ve AxB etkileşiminin AB bileşen etkilerinin tümü eşdeştir ve karşılıklı olarak etkileri karıştırılmıştır. Yukarıdaki ilişki denklemlerini kullanarak bir çarpımdan eşdeşlerin ikisini de elde etmek için etki L'nin karesi ile çarpılır. Buradan,

$$A(AB^2)^2 = A(A^2B^4) = A^3B^4 = B$$

denklemi elde edilmektedir. Bu durumda A = AB = B olur. Ancak bu deneyde A, B, AB etkileri birbirleri ile karıştırıldığı için bu deney tasarımı yetersiz kalmaktadır. Kaldı ki buna ek olarak hata için de serbestlik derecesi kalmamıştır. Dolayısıyla buradan da görülmektedir ki kesirli çoketkenli tasarımlarının deneyde çok etken varken uygulanması anlamlı olmaktadır. Burada 3^{2-1} kesirli çoketkenli deneyin incelenmesinin amacının sadece 3^k çoketkenli deneylerde kesirli tekrarların uygulanılışını basit bir şekilde gösterebilmek olduğu unutulmamalıdır.

Herbirinde dokuz deneme kombinasyonu olan 3 bloklu bir 3^3 çoketkenlisini de incelemek mümkündür. Burada tanımlayıcı bağıntının,

$$\begin{aligned} I &= ABC^2 \\ L &= X_1 + X_2 + 2X_3 \end{aligned} \qquad (3)$$

olduğu varsayılsın. Yukarıdaki tanımlayıcı bağıntıya göre üç grubun içerdikleri deneme kombinasyonları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 3^{3-1} Deney Tasarımındaki Bloklar

Blok 1 L = 0			Blok 2 L = 1			Blok 3 L = 3		
000	011	022	100	111	122	200	211	222
101	112	120	201	212	220	001	012	020
210	221	202	010	021	002	110	121	102

Bu bloklardan yalnız biri uygulanır ise eşdeşler,

$$A = A(ABC^2) = A^2BC^2 = AB^2C$$
$$A = A(ABC^2)^2 = A^3B^2C^4 = B^2C = B^4C^2 = BC^2$$
$$B = B(ABC^2) = AB^2C^2$$
$$B = B(ABC^2)^2 = A^2B^3C^4 = A^4C^8 = AC^2$$
$$C = C(ABC^2) = ABC^3 = AB$$
$$C = C(ABC^2)^2 = A^2B^2C^5 = A^4B^4C^{10} = ABC$$
$$AB^2 = AB^2(ABC^2) = A^2B^3C^2 = A^4B^6C^4 = AC$$
$$AB^2 = AB^2(ABC^2)^2 = A^3B^4C^4 = BC$$

biçiminde olmaktadır. Eşdeşler, Tablo 5'te serbestlik dereceleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 5. 3^{3-1} Deney Tasarımında Eşdeşler ve Serbestlik Dereceleri

Kaynak	**Serbestlik Derecesi**
A (ya da BC^2 ya da AB^2C)	2
B (ya da AB^2C^2 ya da AC^2)	2
C (ya da AB ya da ABC)	2
AB^2 (ya da AC ya da BC)	2
Toplam	8

Bu yöntemler daha yüksek dereceden 3^k deney tasarımları için kolaylıkla genişletilebilir. Sonuç olarak 3^{3-1} tasarımının bir taslağı Tablo 6'da verilmiştir. L=1 bloğu uygulandığı varsayılırsa Tablo 6'da sadece parantez içine alınan deneme kombinasyonları işleme sokulan denemeler olduğundan deneme sayısı, toplam deneme sayısının üçte birine inmiş olmaktadır (Muluk et al., 1985).

Aynı mantıkla, 3^{4-1} deney tasarımı ele alındığında ve tanımlayıcı bağıntının ABCD olduğu düşünüldüğünde modeldeki toplam 81 deneme kombinasyonu, kesirli çoketkenli tasarımı sayesinde, L=0 bloğu uygulanarak, 27 deneme kombinasyonuna indirilebilmektedir (John, 1971).

Tablo 6. 3^{3-1} Deney Tasarımının Genel Taslağı

B Etkeni	C Etkeni	A Etkeni 0	1	2
0	0	000	**(100)**	200
	1	001	101	**(201)**
	2	**(002)**	102	202
1	0	**(010)**	110	210
	1	011	**(111)**	211
	2	012	112	**(212)**
2	0	020	120	**(220)**
	1	**(021)**	121	221
	2	022	**(122)**	222

3. UYGULAMA

Bir yol çalışmasında yapılan kaldırımların daha dayanıklı olması arzu edilmektedir. Kaldırımların dayanıklılığına yüzey kalınlığı (A), alt taban kalınlığı (B) ve taban kalınlığının (C) etkili olduğu düşünülmektedir. Araştırıcı bu üç etkenin hangi değerlerini kullanmanın daha dayanıklı kaldırımlar yapılmasını sağlayacağını araştıracaktır. Bu amaçla herbir etkenin üç düzeyini alıp deney bir 3^3 çoketkenli deney tasarımı biçiminde kurulmuştur. Deneyin uygulanmasında 27 deneme kombinasyonunun homojen bir ortamda tamamının yapılamayacağı görülmüştür. Bu nedenle, deneyi üç farklı ortamda (blok) denemek mümkün olabilecektir. Deneyi hazırlamak için Eşitlik (3)'te verilen tanımlayıcı bağıntı kullanılmış ve deneme kombinasyonlarının bloklara dağıtımı Tablo4'te verildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Deneyci isterse kendi şartlarına uygun farklı tanımlayıcı bağıntı seçerek deneme kombinasyonlarının bloklara dağıtımını gerçekleştirebilir. Etkenlerin düzeylerine karşılık gelen gözlem değerleri Tablo 7'de verilmiştir (Muluk et al., 1985).

Tablo 7. 3^3 Çoketkenli Deney Tasarımındaki Etkenler ve Aldığı Değerler

	Yüzey Kalınlığı (inç olarak)								
	3			**4**			**5**		
Alt Taban Kalınlığı	**Taban Kalınlığı 0**	**3**	**6**	**Taban Kalınlığı 0**	**3**	**6**	**Taban Kalınlığı 0**	**3**	**6**
4	2,8 (L=0)	4,3 (L=2)	5,7 (L=1)	4,1 (L=1)	5,4 (L=0)	6,7 (L=2)	6,0 (L=2)	6,3 (L=1)	7,1 (L=0)
8	4,1 (L=1)	5,7 (L=0)	6,9 (L=2)	5,3 (L=2)	6,5 (L=1)	7,7 (L=0)	6,1 (L=0)	7,2 (L=2)	8,1 L=1)
12	5,5 (L=2)	7,0 (L=1)	8,1 (L=0)	6,5 (L=0)	7,7 (L=2)	8,8 (L=1)	7,0 (L=1)	8,0 (L=0)	9,1 L=2)

Bu ölçüm değerlerine varyans analizi uygulandığında elde edilen çıktı Tablo 8'de verilmiştir. Varyans analizi için SPSS programı ya da benzer istatistik paket programları kullanılabilir. Amacımız deneyin kuruluşunu ve daha ekonomik deney oluşturmayı anlatmak olduğu için çözümleme üzerinde durulmamıştır (Bakınız Muluk et al., 1985). Bu çizelgedeki sonuçlara göre yüzey kalınlığı, alt taban kalınlığı ve taban kalınlığı kaldırımların deforme olmaları için gerekli olan güç ölçüm değerlerini önemli bir şekilde etkilemektedir.

Tablo 8. 3^3 Çoketkenli Deney Tasarımı Sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Olasılık Değeri
Blok	2	0,058	0,606
Yüzey	2	6,138	0,000
Alt Taban	2	10,354	0,000
Taban	2	12,021	0,000

Etkenler önemli olduğundan, etkenlerin hangi düzeyinin farkı yarattığını görebilmek için, Tablo 9'da etkenlerin herbir düzeyi için ortalama değerleri ve ortalamalar arası farkın Scheffe önemlilik testi sonuçları verilmiştir. Bu testin sonuçlarına göre yüzey, alt taban ve taban kalınlıklarının herbir düzeyi kaldırımın dayanıklılığı bakımından birbirinden farklı bulunmuştur. Düzeylerin ortalama değerlerine bakıldığında her üç etken için de "kalınlık arttıkça kaldırımın dayanıklılığı artmaktadır" sonucuna varılmaktadır.

Tablo 9. Etkenlerin Düzeylerinde Dayanıklılığın Ortalama Değerleri ve Ortalamalar Arası Fark Testi

Etkenler	Düzey	Ortalama	Düzeyler	Olasılık Değeri
Yüzey	3	5,57	3-4	0,000
	4	6,52	3-5	0,000
	5	7,21	4-5	0,000
Alt Taban	4	5,38	4-8	0,000
	8	6,40	4-12	0,000
	12	7,52	8-12	0,000
Taban	0	5,27	0-3	0,000
	3	6,46	0-6	0,000
	6	7,58	3-6	0,000

Varyans analizi tablosunda etkenlerin ikili etkileşimleri, karesel yapıları, karesel yapılarının etkileşimleri de incelenebilir ve bu inceleme sayesinde etkileşimlerin ve karesel terimlerin de içerildiği bir model oluşturulabilir. Bu model kullanılarak kaldırımların yüzey, alt taban ve taban kalınlıklarına göre kaldırımların dayanıklılık miktarı tahmin edilebilir. Tablo 10'da modelin katsayıları, bu katsayıların standart hataları ve modelin içerdiği terimlerin (etkenlerin ya da etkileşimlerin) önemlilik testi (t-testi) sonuçları verilmektedir. Bu testin sonucuna göre, yüzey, alt taban, taban ana etkenleri, yüzey ile alt taban ve yüzey ile taban etkileşimleri kaldırım dayanıklılığı bakımından önemli çıkmıştır. Görüldüğü gibi, modeldeki karesel terimler önemli bulunmamıştır.

Tablo 10. Modelin Katsayıları, Standart Hataları ve Önemlilik Testi

Etkenler	Katsayı	Standart Hata	Olasılık Değeri
Sabit	6,433	0,040	0,000
A	0,822	0,049	0,000
A^2	0,067	0,042	0,152
B	1,156	0,049	0,000
B^2	0,017	0,042	0,702
C	1,072	0,049	0,000
C^2	-0,025	0,042	0,569
AB	-0,258	0,060	0,002
AB^2	-0,054	0,052	0,324
A^2B	0,046	0.052	0,400
A^2B^2	-0,006	0,045	0,892
AC	-0,258	0,060	0,002
AC^2	-0,029	0,052	0,587
A^2C	0,046	0,052	0,400
A^2C^2	0,006	0,045	0,892
BC	0,033	0,060	0,591
BC^2	0,033	0,052	0,536
B^2C	0,033	0,052	0,536
B^2C^2	0,025	0,045	0,591

Aynı uygulama için 3^{3-1} kesirli çoketkenli deney tasarımı uygulandığında da, bir başka deyişle Bölüm 2'de anlatıldığı gibi $\mathbf{I=ABC^2}$ tanımlayıcı bağıntısı kullanılarak denemeler Tablo 4'teki gibi üç bloğa ayrıldıktan sonra sadece L=1 grubu yani

100	111	122
201	212	220
010	021	002

deneme kombinasyonları kullanılmıştır. Bu durumda ele alınan denemeler Tablo 11'de verilmektedir.

3^3 çoketkenli deney tasarımından elde edilen aynı yorumlar Tablo 12'den de görülebileceği gibi yapılabilmektedir. Dolayısıyla, kesirli çoketkenli deney tasarımı sayesinde, 27 gözlemle elde edilen sonuç sadece ana etkiler ile ilgilenildiğinde 9 gözlemle bulunabilmiştir. Kesirli tekrarlı deney yapıldığı için etkileşimlerle ilgili bilgiler Tablo 5'te verilen eşdeşler ile elde edilmektedir.

Tablo 11. 3^{3-1} Çoketkenli Deney Tasarımındaki Etkenler ve Aldığı Değerler

	Yüzey Kalınlığı (inç olarak)								
	3			4			5		
Alt Taban	**Taban Kalınlığı**			**Taban Kalınlığı**			**Taban Kalınlığı**		
Kalınlığı	**0**	**3**	**6**	**0**	**3**	**6**	**0**	**3**	**6**
4			5,7	4,1				6,3	
8	4,1				6,5				8,1
12		7,0				8,8	7,0		

Tablo 12. 3^{3-1} Kesirli Çoketkenli Deney Tasarımı Sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Olasılık Değeri
Yüzey	2	1,710	513	0,002
Alt Taban	2	3,893	1168	0,001
Taban	2	4,223	1267	0,001

4. SONUÇ

Bu çalışmada kesirli çoketkenli tasarımlar hakkında öncelikle çeşitli örnekler ele alınarak temel bilgiler verilmiş, bu sayede bu yöntem'in nerelerde uygulanabileceği gösterilmiş, konu ile ilgilenen araştırıcılar için temel kitaplar, son yıllarda yapılan makaleler kaynak olarak sunulmuş ve konunun önemi vurgulanmıştır. Ayrıca kuramsal bilgiler yanında bu bilgilerin uygulamada nasıl kullanılacağını göstermek amacıyla veriler üzerinde konu ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada, kesirli çoketkenli deney tasarımları kullanılarak az sayıda gözlemle doğru sonuca ulaşılabildiği gösterilmiştir. Bu çalışma ile, ülkemizde özellikle sanayide kaliteyi yakalamanın yollarından birinin deney yaparak girdi değişkenlerinin belirlenmesi olduğu vurgulanmak istenmiştir. Üretimde girdi değişkenlerinin çok olması deneyi büyültür. Ancak bilinen kesirli tekrar deney yöntemi kullanılarak daha az deneme ile sonuç alınabileceği açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

CESTARI, A. R., BRUNS R. E. and AIROLDI, C. (1996), *A Fractional Factorial Design Applied to Organafunctionalized Silicas for Adsorption Optimization*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 117, 7-13.

CHEN, J. (1992), Some Results on 2^{n-k} *Fractional Factorial Designs and Search for Minimum Aberration Designs*, The Annals of Statistics, 20, 4, 2124-2141.

CHENG, C. S. and LI C. C. (1993), *Constructing Orthogonal Fractional Factorial Designs When Some Factor Level Combinations are Debarred*, Technometrics, 35, 3, 277-283.

CRUZ, P. M., CHRISTEN P. and FARRES A. (1993), *Medium Optimization by a Fractional Factorial Design for Lipase Production by Rhizopus Delemar*, Journal of Fermentation and Bioengineering, 76, 2, 94-97.

HEDAYAT, A. S., K. PU and STUFKEN J. (1992), *On The Construction of Asymmetrical Orthogonal Arrays,* The Annals of Statistics, 20, 4, 2142-2152.

JOHN, P. W., (1971), *Statistical Design and Analysis of Experiments*, The Macmillan Company, New York.

MARTINS, J. A., SENA, M. M., POPPI, R. J. and PESSINE, F. B. T. (1999), *Fluorescence Piroxicam Study in the Presence of Cyclodextrins by Using the PARAFAC Method*, Applied Spectroscopy, 53, 5, 510-522.

MEAD, R., (1988), *The Design of Experiments*, University Press, Cambridge.

MOHD, A. A., DEAN, J. R. and TOMLINSON, W. R. (1992), *Factorial Design Approach to Microwave Dissolution*, Analyst, 117, 1743-1748.

MULUK, Z., TOKTAMIŞ, Ö., KURT, S. and KARAAĞAOĞLU, E. (1985), *Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*, Akademi Matbaası (Hicks, C. R. yazarlı kitabın çevirisi).

ROBINSON, G. K. (1993), *Improving Taguchi's Packaging of Fractional Factorial Designs*, Journal of Quality Technology, 25, 1, 1-11.

SCHNEIDER, H. and KASPERSKI, J. (1993), *Finding Significant Effects for Unreplicated Fractional Factorials Using The n Smallest Contrasts*, Journal of Quality Technology, 25, 1, 18-27.

SHIRAKURA, T. (1993), *Fractional Factorial Designs of Two and Three Levels*, Discrete Mathematics, 116, 99-135.

TERNES, R. L., BETHEL, S. Z. and JANKY, D. G. (1992), *A Statistically Designed Experiment for Assessing Cesium Potassium Antimonide Photocathode Fabrication Parameters*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A318, 401-409.

TOMAN, B. (1994), *Bayes Optimal Designs for Two Level and Three Level Factorial Experiments,* Journal of the American Statistical Association, Theory and Methods, 89, 427, 937-946.

WERY, M., CATONNE, J. C., LIGIER, V. and PAGETTI, J. (1999), *Zinc Barrel Electroplating Using Low Cyanide Electrolytes*, Journal of Applied Electrochemistry, 29,6,729-739.

Fractional Factor Designs and Their Applications in Experimental Design

ABSTRACT

In this study, fractional factor designs which have been widely used for last years, are presented by explaining the fundamental concepts on the subject, and these designs are clarified by giving various examples, besides an application is made for 3^k factorial designs.

Key Words : *Fractional factor designs, Blocking, Optimality.*