

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU KALİTE KARAKTERİSTİĞİNİN EŞZAMANLI
OPTİMİZASYONUNA İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA

BIYOİSTATİSTİK VE TIBBİ BİLİŞİM ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

Muzaffer Cenk ZÖNGÜR

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fikret İKİZ

İZMİR

2012

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU KALİTE KARAKTERİSTİĞİNİN EŞZAMANLI
OPTİMİZASYONUNA İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA

BIYOİSTATİSTİK VE TIBBİ BİLİŞİM ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

Muzaffer Cenk ZÖNGÜR

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fikret İKİZ

İZMİR

2012

DEĞERLENDİRME KURULU ÜYELERİ

(Adı Soyadı)

(İmza)

Başkan : Prof. Dr. Fikret İKİZ
(Danışman)

.....

Üye : Prof. Dr. Şaban EREN

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Timur KÖSE

.....

Yüksek Lisans Tezinin kabul edildiği tarih:/...../2012

ÖNSÖZ

Çalışmamı hazırlarken, bıkmadan usanmadan bana yol gösteren, sorduğum her soruyu engin bilgi ve deneyimiyle harmanlayarak cevaplayan, hayatımın bundan sonraki bölümünde de örnek alacağım; yol gösterici yaklaşımı, tuttuğu ışık ve bilimsel önerileri nedeni ile saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fikret İKİZ'e ,

Kararsızlık yaşadığım yol ayrımlarımda hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sayın hocalarım; Prof.Dr. Mehmet N. ORMAN, Yrd.Doç. Dr. Timur KÖSE ve Ar.Gör. Hatice ULUER' e,

Hocalarımla iletişimi sağlayan, Anabilim Dalı Sekreterimiz Fatma Doğan'a,

En sıkıntılı anımda bile bana moral veren, yanında huzur bulduğum, kalbimde özel bir yeri olan Seray Koyun'a,

Tez yazım aşamasında manevi desteklerini esirgemeyen isimsiz kahramanlarıma, geniş aileme,

Doğduğum günden bugüne her başım sıkıştığında derdime derman olan, hayatımın hiçbir döneminde desteğini esirgemeyen, hangi yolu seçersem seçeyim, seçtiğim o yolun sonunda beni bekliyor olan canım babam Hüseyin ZÖNGÜR'e,

Ve anneme... Kendimi bildim bileli sığındığım en güvenli limanıma, benimle gurur duyduğunu her fırsatta dile getiren özgüven kaynağıma, mutluluğumu kendi mutluluğundan üstün tutan annelerin en fedakarına, biricik canım annem Şule ALTAN'a,

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
TABLolar LİSTESİ.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
BÖLÜM I	
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Konusu.....	2
1.2 Çalışmanın Kısıtları.....	3
BÖLÜM II	
2. ÜRÜN VE/VEYA SÜREÇ GELİŞTİRMEDE FAKTÖRİYEL TASARIM VE TAGUCHİ YAKLAŞIMI....	4
2.1. Faktöriyel Deneme Tasarımı.....	4
2.1.1. 2^k Denemeleri.....	5
2.1.2. 2^k Kesirli (Fractional) Denemeler.....	7
2.1.3. Diğer Faktöriyel Tasarımlarda Kesirli Faktöriyel Denemeler	10
2.2. Taguchi Yaklaşımı.....	14
2.2.1. Deneme Tasarımı Stratejisi.....	14
2.2.2. Taguchi'nin Analiz Stratejisi.....	19
2.2.3. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi.....	27

2.2.3.1. Sistem Tasarımı.....	28
2.2.3.2. Parametre Tasarımı.....	28
2.2.3.3. Tolerans Tasarımı.....	30
2.3. Tek Kalite Karakteristiğinin Optimizasyonu İçin Sayısal Örnek.....	30
BÖLÜM III	
3. ÇOKLU KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI OPTİMİZASYONU.....	41
3.1. Çoklu Kalite Karakteristik S/G Oranı Yaklaşımı.....	42
3.2. Taguchi’ nin Kalite Kaybının Yüzdesel Azalımına Dayalı Bir Yaklaşım.....	58
3.3. Faktör Seviyelerine İlişkin S/G Oranlarının Ağırlıklandırılmasına Dayalı Bir Yaklaşım.....	68
3.4. Çoklu Kalite Karakteristiklerinin Optimizasyonunda Kullanılan Yaklaşımların Karşılaştırılması.....	73
BÖLÜM IV	
4.TARTIŞMA.....	78
BÖLÜM V	
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
BÖLÜM VI	
6. ÖZET ve ABSTRACT	
6.1 ÖZET.....	87
6.2 ABSTRACT.....	89
BÖLÜM VII	
YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	90

BÖLÜM VIII

8. EKLER

Ek 1. Design-Expert.....	94
Ek 1.1. Deneme Tasarımı Aşaması.....	94
Ek 1.2. Analiz Aşaması.....	97
Ek 1.3. Design Expert Programında Optimizasyona Genel Bakış.....	99
Ek 1.3.1 Çekicilik Fonksiyonu (Desirability Function) Yaklaşımı.....	101
Ek Tablo 1.....	105
Özgeçmiş.....	132

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 : (2^4 , 15, 2, 2) Ortogonal Dizisi.....	9
Tablo 2.2 : (2^4 , 8, 2, 3) Ortogonal Dizisi.....	10
Tablo 2.3 : 3^3 Tam Faktöriyel Deneme Kombinasyonları.....	11
Tablo 2.4 : 2 Serbestlik Dereceli AB^2C^2 Kümesinin Seçimiyle Oluşturulan 3^{3-1} Tasarımları.....	13
Tablo 2.5 : Taguchi'nin Yaygın Olarak Kullanılan Ortogonal Dizileri.....	15
Tablo 2.6 : 2 Seviyeli Ortogonal Dizilerdeki Deneme Sayıları.....	17
Tablo 2.7 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisi.....	17
Tablo 2.8 : Doğrusal Grafik Kullanılarak Faktörlerin $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Sütunlarına Atanması.....	19
Tablo 2.9 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörler ve Faktör Seviyeleri.....	31
Tablo 2.10 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Etkileşim İçeren Sütunları.....	31
Tablo 2.11 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Sütunlarına Atanması.....	32
Tablo 2.12 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisine Göre Elde Edilen Yapışma Mukavemeti Verileri.....	32
Tablo 2.13 : Entegre Devre Çalışmasındaki Kombinasyonların Yapışma Mukavemeti Ortalamaları ve S/G Oranları.....	33

Tablo 2.14 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Ortalamaya Etkilerinin Sayısal Gösterimi.....	34
Tablo 2.15 : Entegre Devre Çalışmasında Ortalamaya Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu.....	35
Tablo 2.16 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin S/G Oranına Etkilerinin Sayısal Gösterimi.....	36
Tablo 2.17 : Entegre Devre Çalışmasında S/G Oranına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu.....	38
Tablo 3.1 : Polisilikon Koruma Geliştirme Süreci Faktörleri ve Faktör Seviyeleri.....	47
Tablo 3.2 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Faktörlerin $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Ortogonal Dizisine Atanması.....	48
Tablo 3.3 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Yüzey Hatası Verileri.....	49
Tablo 3.4 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Kalınlık Verileri.....	49
Tablo 3.5 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Korunma Oranı Verisi.....	50
Tablo 3.6 : Yüzey Hatası, Kalınlık ve Korunma Oranına Ait Tüm Kombinasyonların Kalite Kayıpları.....	52
Tablo 3.7 : Yüzey Hatası, Kalınlık ve Korunma Oranına Ait Normalize Edilmiş Kalite Kayıpları.....	53

Tablo 3.8 : Polisilikon Koruma Sürecinde Toplam Normalize Edilmiş Kalite Kaybı (TNQL) Değerleri.....	54
Tablo 3.9 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Çoklu Kalite Karakteristik Sinyal Gürültü Oranları (MRSN) ve Kalınlık Ortalaması.....	55
Tablo 3.10 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Gösterimi.....	55
Tablo 3.11 : Polisilikon Koruma Geliştirme Süreci MRSN Oranına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu.....	56
Tablo 3.12 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Kalınlık Ortalamasına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu.....	57
Tablo 3.13 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin Kalınlık Ortalaması Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Gösterimi.....	57
Tablo 3.14 : Polisilikon Koruma Sürecindeki Kombinasyonlara Ait S/G Oranı ve Kalınlık Ortalaması.....	63
Tablo 3.15 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde S/G Oranı Üzerindeki Faktör Etkileri...	64
Tablo 3.16 : Polisilikon Koruma Sürecindeki Kalite Karakteristik S/G Oranı Ve Kalınlık Ortalaması Tahminleri.....	65
Tablo 3.17 : Tüm Karakteristiklerin Faktör/Seviye S/G Oranı Ortalamaları.....	70
Tablo 3.18 : Tüm Karakteristiklerin Faktör/Seviye Ağırlıklandırmaları.....	71

Tablo 3.19 : k. Faktörün s. Seviyesinin Ağırlık Ortalaması.....	71
Tablo 3.20 : Polisilikon Koruma Sürcindeki Ağırlıklandırılmış Ortalama S/G Oranları.....	72
Tablo 3.21 : Polisilikon Koruma Süreci Faktörlerine İlişkin S/G Oranı Ağırlık Ortalamaları.....	73
Tablo 3.22 : Polisilikon Koruma Sürecindeki Kalite Karakteristiklerinin Farklı Yöntemlerle Bulunan S/G Oranları ve (3.10) Eşitliği Dikkate Alınarak Hesaplanan PRQL Değerleri.....	75
Tablo 3.23 : Polisilikon Koruma Sürecinde Yüzey Hatası ve Korunma Oranı için (3.10), Kalınlık için (3.14) Eşitlikleriyle Bulunan PRQL Değerleri ve Ortalamaları.....	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisi için Oluşturulan Doğrusal Grafikler.....	18
Şekil 2.2: Varyasyonu Farklı Süreçlerin Karşılaştırılması.....	20
Şekil 2.3: “Hedef Değer En İyi” için Karesel Kayıp Fonksiyonu.....	22
Şekil 2.4: Asimetrik Kayıp Fonksiyonu.....	23
Şekil 2.5: “Daha Küçük Daha İyi” için Karesel Kayıp Fonksiyonu.....	23
Şekil 2.6: “Daha Büyük Daha İyi” için Kayıp Fonksiyonu.....	24
Şekil 2.7: Taguchi’nin Üretim/ Kalite Çemberi.....	27
Şekil 2.8: Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Ortalama Üzerindeki Ana Etki Grafiği.....	34
Şekil 2.9: Ortalama için Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Etkileşim Grafiği.....	35
Şekil 2.10: Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin S/G Oranı Üzerindeki Ana Etki Grafiği.....	36
Şekil 2.11: S/G Oranı için Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Etkileşim Grafiği.....	37
Şekil 3.1: Çoklu Kalite Karakteristik Problemi için MRSN Yaklaşımı Aşamaları.....	42
Şekil 3.2: Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkilerinin Grafikselleştirilmesi.....	56

KISALTMALAR LİSTESİ

S/G: Sinyal Gürültü

OKS: Ortalama Karesel Sapma

MRSN: Çoklu Kalite Karakteristik Sinyal Gürültü Oranı (Multi-Response Signal Noise)

TNQL: Toplam Normalleştirilmiş Kalite Kaybı (Total Normalized Quality Lost)

PRQL: Kalite Kaybının Yüzdesel Azalma Oranı (Percent Reduction of Quality Lost)

TQL: Toplam Kalite Kaybı (Total Quality Loss)

SM: Örnek Ortalaması (Sample Mean)

YH: Yüzey Hatası

KO: Korunma Oranı

sd: Serbestlik Derecesi

dd: Doğrulama Deneyi

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ürün ve/veya sürecin kalitesinde etkin rol oynayan faktörlerin bulunması ve bu faktörlerin düzenlenmesiyle kalitenin arttırılması önem kazanmıştır. Ürün ve/veya sürecin kalitesini temsil eden karakteristikler (kalite karakteristikleri) üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğunun bulunmasında ve karakteristiklere etki eden faktörler arasındaki ilişkinin tespit edilmesinde faktöriyel deneme tasarımının önemli bir yeri vardır.

Faktöriyel deneme tasarımı, 20. yy.'ın başlarından itibaren özellikle tarım alanında, faktörlerin etkisinin anlamlılığının incelenmesinde kullanılmaya başlamıştır. İlerleyen zaman içinde sanayinin gelişmesiyle çalışmalarda eşzamanlı olarak incelenmesi gereken faktör sayısının artması denemeye alınması gereken kombinasyon sayısını artırmış bu da para ve zaman kaybı problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu problemlerin çözümü için denemenin bir bölümünü uygulamaya alarak denenmesi gereken kombinasyon sayısını azaltmayı sağlayan kesirli faktöriyel deneme kavramı ortaya çıkmıştır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında, temeli kesirli faktöriyel deneme olan ortogonal diziler tanımlanmaya başlamıştır. Daha sonraları Japon bilim adamı Genichi Taguchi, kolay kullanılabilir ortogonal dizi formlarını oluşturmuş, kalite kaybı ve parametre tasarımı kavramını tanımlamış, deneme tasarımına ve analizine getirdiği yaklaşımlarla ürün ve süreç kalitesinin arttırılmasını sağlamıştır. Taguchi'nin yaklaşımları 1960'lı yıllardan sonra Japonya'da, 1980'li yıllardan sonra da tüm dünyada yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır.

Geleneksel Taguchi yaklaşımının optimizasyon (karakteristikleri istenilen noktaya getirecek faktör/seviye kombinasyonunun seçilmesi) aşamasında ürün ve/veya süreç kalitesini arttırmak için kalite karakteristikleri tek tek ele alınmaktadır. Çoğu üretim süreci birden fazla kalite karakteristiğinin incelenmesi gerektiğinden 90'lı yılların sonlarına dek tek kalite karakteristiği üzerine yoğunlaşan geleneksel Taguchi metodunun etkinliği tartışılmaya başlanmış, iki ve daha çok kalite karakteristiğinin (çoklu kalite karakteristiği) eş zamanlı optimize edildiği yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımların uygulanmasıyla birden fazla kalite karakteristiğinin eş zamanlı olarak dikkate alınmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş, yaklaşımların kullanımı önerilmiştir. Bu sebepten bu çalışmada çoklu kalite karakteristiklerinin eş zamanlı optimizasyonu için önerilen Taguchi esaslı bazı yaklaşımlar ele alınmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Konusu

Bu çalışmanın amacı Taguchi'nin deneme tasarımı ve analiz yaklaşımını tanıtmak, statik çoklu kalite karakteristiklerinin Taguchi esaslı optimizasyon yöntemleri hakkında uygulayıcılara bilgi vermek, bu yöntemlerin eczacılık alanında, ilaç formülasyonlarının oluşturulmasında uygulanabilirliğini incelemektir.

Yukarıda belirtilen amaçlar doğrultusunda çalışmanın ikinci bölümünde Taguchi'nin ortogonal dizilerinin temelini oluşturan faktöriyel tasarıma, ortogonal dizilere, Taguchi'nin tanımladığı kalite kayıp fonksiyonu ve sinyal gürültü oranına yer verilmiş, geleneksel Taguchi yönteminin kullanımını göstermek için sayısal bir örnek kullanılmıştır.

Üçüncü bölümde çoklu kalite karakteristik problemi açıklanıp, birden fazla karakteristiğin eşzamanlı optimize edildiği bazı yöntemler tanıtılmıştır. Ele alınan yöntemler

daha önce yayınlanmış gerçek bir veri seti üzerinde uygulanmış, bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde söz konusu yöntemlerin izlediği yollardan bahsedilmiş, üçüncü bölümde bulunan sonuçlar tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise yöntemlerin kullanımıyla ve ilerde yapılacak çalışmalarla ilgili bazı önerilerde bulunulmuştur.

1.2 Çalışmanın Kısıtları

Kaynaklarda statik ve dinamik kalite karakteristiklerinin optimizasyonu için yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada sağlık alanı için yeni olan bu yaklaşımlarda daha basit anlaşılır ve uygulanabilir olması bakımından statik kalite karakteristiklerinin optimizasyonu için uygulanabilir yöntemlere yer verilmiştir. Çoklu kalite karakteristiklerinin kalite kaybı kriteri ile optimize edildiği bazı yöntemlerde parasal kaybın belirlenmesi gerekmektedir. Ancak sağlık alanında parasal kaybın belirlenmesi mümkün olmadığından çalışma parasal kaybın tam olarak tespit edilmesine gerek duymayan, sağlık alanında kullanılabilir olan 3 yöntem ile sınırlı kalmıştır.

BÖLÜM II

2. ÜRÜN VE/VEYA SÜREÇ GELİŞTİRMEDE FAKTÖRİYEL TASARIM VE TAGUCHİ YAKLAŞIMI

Bu bölümde istatistiksel deneme tasarımının temel ilkeleri ve bu temel ilkeleri esas alan Taguchi yaklaşımına yer verilmiştir. 2.1 bölümünde faktöriyel deneme tasarımı kavramına değinilmiş, 2.1.1 ve 2.1.2 bölümlerinde yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle 2^k denemeleri ve 2^k kesirli (fractional) denemeleri üzerinde durulmuştur. 2.1.3 bölümünde de 3^k denemeleri ele alınmıştır. 2.1 bölümünde belirtilen bu konulara yer verilmesinin nedeni 2.2 bölümünde açıklanan Taguchi'nin deneme tasarımı yaklaşımının esasını teşkil eden ortogonal dizilerin ve bu dizilere ilişkin analizlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Bu alt bölümde ayrıca Taguchi'nin deneme tasarımı ve analiz yaklaşımı ile yine Taguchi'nin üretim kalite sistemi ele alınmaktadır.

2.1. Faktöriyel Deneme Tasarımı

Ürün ve/veya süreç geliştirmede etkin faktör veya faktörlerin araştırıldığı denemelerin önemli bir bölümünde iki veya daha çok faktör için yapılan faktöriyel denemelerin önemli bir yeri vardır. Tarihsel olarak tarımsal üretimi etkileyen birden çok faktörün ürün geliştirme amacıyla aynı zamanda denemeye alınması fikrini ortaya atan Sir R.A.Fisher ile 1920'li yıllarda uygulanmaya başlanan faktöriyel denemeler, geçen zaman içinde hemen hemen tüm uygulama alanlarında kullanılmıştır. Genel olarak istatistiğin önemli bir alanı olan deneme tasarımı ve analizi içinde ele alınan faktöriyel denemeler hakkında değişik düzeylerde yayınlanan kitaplarda oldukça yoğun bilgilere ulaşılabilmektedir. Bu yayınlarda faktöriyel deneme ve bunun içinde yer alan etkilerin karıştırılması (confounding) ve kesirli faktöriyel denemeler (fractional replication) gibi konular bütün genişliği ile incelenmekte ve verilen örneklerle uygulama alanlarının genişliği hakkında fikir verilmektedir (Montgomery, 2001).

Faktöriyel denemelerde faktör seviyelerinin tüm kombinasyonları materyalin yapısına uygun olarak seçilen temel deneme tasarımlarına göre (tam tesadüfi, rasgele blok, latin kare vs..) bir veya birkaç tekrarda denemeye alınmakta ve bu denemelerden faktör ana etkileri (main effects) ve faktör etkileşim etkileri (interaction effects) tahminlenerek gerekli varsayımlar altında, bu etkiler önemlilik testleri ile yorumlanabilmektedir. Faktöriyel denemeler, ilgilenilen faktör sayısı ve faktörlerin seviye sayıları esas alınarak standart bir gösterimle ifade edilirler. Öyle ki ürün ve/veya süreci etkilediği düşünülen k adet faktörün hepsinin aynı sayıda seviyeye (s) sahip olduğu denemeler "simetrik faktöriyel" denemeler olarak tanımlanmakta ve denemedeki toplam kombinasyon sayısını ifade edecek şekilde s^k olarak gösterilmektedir. Diğer yandan k adet faktörün, her birinin s_i seviyeye sahip olduğu k_i adet faktörü içeren h adet gruba ayrılabilirdiği durumda ($i=1,2,...,h$) $s_1^{k_1} * s_2^{k_2} * ... * s_h^{k_h}$ şeklinde gösterilen toplam kombinasyon sayısı ile oluşturulan denemeler "asimetrik faktöriyel" denemeler olarak tanımlanmaktadır (Kempthorne, 1952). Bu tanımlamalara göre 2^5 , $k=5$ ve $s=2$ olan simetrik, 2^3*3^2 ise $k_1=3$, $k_2=2$ ve $s_1=2$, $s_3=3$ olan asimetrik faktöriyel denemelere örnek olarak gösterilebilir. Gerek simetrik, gerekse asimetrik denemelere ilişkin tasarım ve analiz (tahminleme ve önemlilik testleri) ilkeleri ve yöntemleri hakkında Montgomery (2001)'de geniş bilgiler yer almaktadır.

2.1.1. 2^k Denemeleri

Genel olarak 2.1. bölümünde yer alan faktöriyel denemeler içinde, araştırma ve geliştirme çalışmaları kapsamında yoğun olarak kullanılması ve diğer faktöriyel tasarımlarının daha iyi anlaşılması bakımından bazı denemelerin özel bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bunlar içinde en başta yer alan faktöriyel deneme, k adet faktörün her birinin 2 seviyede denemeye alındığı 2^k simetrik faktöriyel denemelerdir.

2^k denemeleri, genel olarak araştırmanın ilk aşamalarında hangi faktörlerin ana etkilerinin ve hangi faktörler arasındaki etkileşimlerin ürününü veya süreci etkilediğinin belirlenmesi amacı ile yapılan faktör arama ve eleme (factor screening) denemeleridir. Bu denemeler, faktörlerin seviyelerini değişkenin kodlanmış değerleri olarak kabul ederek oluşturulan regresyon modellerini kullanmak suretiyle cevap yüzeyini, gözlemlere ilişkin teksele hata terimlerini tahminlemeyi ve model geğerliliğini test edebilmeyi mümkün kılmaktadır.

İstatistiksel olarak tasarlanmış tüm denemelerde olduğu gibi faktöriyel denemelerin, en önemli aşaması ürün ve/veya süreci etkileyen faktör ve varsa etkileşim etkilerinin yorumlanmasına olanak veren istatistiksel analizlerin yapılmasıdır. Bu kapsamda verilere ilişkin istatistik teorisinin gerektirdiği varsayımların sağlanması halinde klasik sayısal analiz yöntemlerinin (varyans analizi) yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Tam tesadüfi deneme (completely randomized design) veya tesadüf blokları (randomized block design) temel deneme tasarımları ile faktör kombinasyonlarının birden çok tekrarlanması halinde yapılan varyans analizi ile saf hatayı tahmin etmek, faktör ana etki ve etkileşimlerin tümüne ilişkin önemlilik testlerini yapmak mümkündür. Bu noktada uygulamada araştırmacıların karşı karşıya kaldıkları ilk sorun faktör sayısı (k) arttıkça denemedeki kombinasyon sayısının ve dolayısıyla tekrar nedeniyle katlanan bir şekilde deneysel ünite sayısının artmasıdır. Örneğin 2^{10} denemesinde sadece bir tekrar için 1024, en az 2 tekrar öngöröldüğünde 2048 deneysel üniteye gereksinim duyulmaktadır. Denemenin gerek parasal ve gerekse zaman maliyeti bakımından pahalı ve hatta bazen imkansız hale gelebildiği sanayi uygulamalarında, çalışmanın “screening” aşamasında olduğu da dikkate alınarak, öncelikle tek tekrarla yetinmek önerilmektedir (Mead, 1990). 2^k denemelerinin tek tekrarla yapılması durumunda deneme hatasını kendi verilerinden tahmin etmek mümkün değerildir. Bu noktada

Montgomery (2001) iki yol önermektedir: (1) yüksek dereceli etkileşimleri “ihmal edilebilir” kabul etmek ve bunları hata olarak değerlendirerek sayısal analize devam etmek, (2) ilk olarak Daniel (1959)’in öne sürdüğü “Normal ve yarı normal olasılık kağıdını” kullanarak analizi grafiksel olarak sürdürmek. Bu iki yol pratikte yoğun olarak kullanılmakla birlikte grafik yöntemin subjektifliği dikkate alınarak, Lenth (1989) ve benzeri başka ileri tekniklerin uygulanması da önerilmektedir.

2.1.2. 2^k Kesirli (Fractional) Denemeler

2^k denemelerinde faktör sayısı (k) arttıkça denenmesi gereken kombinasyon sayısının ve dolayısı ile deneme materyali sayısının çok hızlı bir şekilde arttığı bundan önceki 2.1.1. bölümünde açıklanmıştı. Bu durum, bazı özel sanayi alanlarında bir tekrarın bile yapılamaması nedeniyle araştırmacıları 2^k denemesinin sadece bir bölümünü uygulamaya almaya zorlamıştır. Ana fikir, Fisher’in etkilerin karıştırılması (confounding) teorisinden hareketle Finney (1945) tarafından ortaya atılmıştır. Kesirli deneme fikrini destekleyen matematiksel ve istatistiksel teoriye çoğu deneme tasarımı kitabında ve İkiz (1978)’de yer verilmiştir. Bunlara göre kesirli faktöriyel denemeleri uygulanabilir kılan nedenler kısaca; (i) çok sayıda faktörle yapılan faktöriyel denemeler çoğunlukla araştırmanın ilk aşamalarında faktör arama ve eleme aşamasında kullanılmaktadır, (ii) bu denemelerde ana etkilerin ve olası düşük dereceli etkileşimlerin tahminlenmesi ile ilgilenilmekte ve dolayısı ile denemede mevcut serbestlik derecesinin ancak küçük bir bölümü bu tahminleme amacı ile etkin olarak değerlendirilebilmektedir, (iii) faktörlerin kantitatif olduğu varsayımı ile çıktı değişkeninin kontrol kombinasyonu (tüm faktörlerin düşük seviyelerinin oluşturduğu kombinasyon) etrafında Taylor serisine göre açıldığında ve türev katsayılarına bakıldığında bu katsayıların

(ki bu katsayılar Box ve Wilson (1951)'e göre faktör ana ve etkileşim etkilerine karşı gelmektedir) türevin dereceleri arttıkça giderek küçülmektedir, şeklinde özetlenebilir.

Bu üç neden, özellikle deneysel materyalin pahalı ve deneme süresinin kısa olduğu durumlarda genel faktöriyel denemenin özelde 2^k denemenin bir tekrarından da az sayıda gözlemle ana ve düşük seviyeli etkileşim etkilerinin tahminlenebileceğini göstermektedir.

2^k faktöriyel denemenin kesirli olanlarının genel gösterimi 2^{k-p} şeklindedir ($p < k$). Bu gösterim 2^k denemesinin 2^p kesirlerinden birinin denemeye alındığını ifade etmektedir. Örneğin 2^{5-2} , $2^5=32$ kombinasyon gerektiren tam faktöriyel deneme yerine, bunun $2^2=4$ de biri kadar ($2^3=8$) kombinasyonun denemeye alındığını gösterir. Bu noktada diğer denemelerde olduğu gibi, kesirli faktöriyel denemenin tasarımı ve analizi şeklinde iki aşamasının olduğunun belirtilmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasının temelini kesirli faktöriyel denemeyi hangi kombinasyonların oluşturduğunu bulmak oluşturmaktadır.

Deneme tasarımı ve analizi ile ilgili kaynaklarda, gerek kesirli faktöriyel denemelerin oluşturulma yöntemleri ve gerekse oluşturulan denemelerin sınıflandırılması ile ilgili olarak çok sayıda yayın bulunmaktadır (Cochran and Cox, 1957; Montgomery, 2001; Ryan, 2007). Kesirli deneme oluşturmanın temel yöntemi, benzerlik ilişkisi (identity relation) adı verilen ve etkilerin karıştırılması (confounding) prensibinden hareketle hangi faktöriyel etkilerin birbiri ile karıştırıldığının belirlenmesine yarayan eşitliğin seçilmesine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanışı ile ilgili ayrıntılı bilgiler Montgomery (2001)'de geniş şekilde yer almaktadır. Diğer yöntemler arasında ilk kez Rao (1947) tarafından ortogonal Latin karelerin genel bir genellemesi olarak ortaya atılan ortogonal dizilerin (ortogonal arrays) kullanımı özel bir yer tutmaktadır. Ortogonal dizi ile ilgili açıklamalara İkiz (1975 ve 1978)'de genişliğine yer verilmiştir. Buna göre: elemanları $\{a_{ij}\}$ asal sayı ve katları olan $k \times N$ boyutlu bir A matrisi olsun.

Bu matriste eğer her $d \times N$ ($d < k$) boyutlu alt matrislerin her birinde $d \times 1$ boyutlu sütun vektörleri eşit sayıda tekrarlanıyorsa bu matrise ortogonal dizi denir ve (N, k, s, d) şeklinde gösterilir. Burada $N = s^t$ ($t < k$) dizinin genişliği, d dizinin gücü olarak tanımlanır. 2^k faktöriyel denemesinin bir kesrine ilişkin $(2^4, 15, 2, 2)$ ortogonal dizisi örnek alınır bu dizide $k=15$ faktör bulunduğu ve dizinin gücünün $d=2$ olduğu görülür. Faktörleri $A_1, A_2, \dots, A_{15}$ şeklinde ifade edilen bu dizi Tablo 2.1 de verilmiştir. Bu tablodan kolayca görüleceği gibi dizinin ilk dört sırası $2^t = 2^4$ faktöriyel denemenin kombinasyonlarının standart sıralamasıdır. Diğer sıralar faktör sütununda belirtilen ilk dört sıra faktörlere ilişkin seviyelerin ikişerli, üçerli ve dörtlü olarak modulo 2'deki toplamıdır.

Tablo 2.1 : $(2^4, 15, 2, 2)$ Ortogonal Dizisi

Faktörler	Seviyeler															
A_1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
A_3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
A_4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$A_5 = A_1 A_2$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$A_6 = A_1 A_3$	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
$A_7 = A_1 A_4$	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
$A_8 = A_2 A_3$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$A_9 = A_2 A_4$	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
$A_{10} = A_3 A_4$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$A_{11} = A_1 A_2 A_3$	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
$A_{12} = A_1 A_2 A_4$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
$A_{13} = A_1 A_3 A_4$	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
$A_{14} = A_2 A_3 A_4$	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
$A_{15} = A_1 A_2 A_3 A_4$	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0

Bu dizide her $d \times N$ (2×16) boyutlu alt matrisin olası dört farklı $d \times 1$ (2×1) sütun vektörü,

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ ve } \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

vardır ve bunların her biri ilgili alt matriste eşit sayıda (4 kez) tekrarlanmaktadır. Örnek olarak alınan bu ortogonal dizi 15 faktörün Tablo 2.1'de belirtilen 16 kombinasyonu ile yapılan 2^{15-11}

kesirli faktöriyel denemeye karşı gelmektedir. Bu denemeden 15 faktörün tümünün ana etkileri, bütün etkileşimlerin ihmal edilebilir olması halinde tahmin edilebilmektedir. Bu özelliği ile böyle denemelere ortogonal ana etki planları (ortogonal main effect plans) adı verilmektedir. Eğer istenirse Tablo 2.1’de verilen ortogonal diziden, etkileşimlerin yer aldığı sıralardan uygun olanların çıkarılması ile başka ortogonal diziler dolayısıyla başka kesirli faktöriyel denemeler elde edilebilir. Örnek olarak $A_5, A_6, \dots, A_{10}, A_{15}$ sıralarının çıkarılması ve diğer etkileşimlere yeni dört faktörün atanması ile Tablo 2.2’de verilen $(2^4, 8, 2, 3)$ ortogonal dizisi ve dolayısıyla 2^{8-4} kesirli faktöriyel denemesi bulunabilir.

Tablo 2.2 : $(2^4, 8, 2, 3)$ Ortogonal Dizisi

Faktörler	Seviyeler															
A_1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
A_3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
A_4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$A_5=A_1A_2A_3$	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
$A_6=A_1A_2A_4$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
$A_7=A_1A_3A_4$	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
$A_8=A_2A_3A_4$	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1

2.1.3. Diğer Faktöriyel Tasarımlarda Kesirli Faktöriyel Denemeler

Uygulamada 2^k denemeleri dışında kullanılan diğer simetrik ve asimetrik faktöriyel denemeler için de kesirli faktöriyel deneme uygulamalarına yer verilebilmektedir. Bunlara örnek olarak kaynaklarda özellikle kimyasal süreçler için yoğun olarak kullanıldığı belirtilen 3^k denemeleri gösterilebilir (Hsieh ve ark., 2005).

Temel prensipleri 2.1.2 bölümünde 2^k denemeleri için verilen teorik esaslar 3^k denemeleri için de genelleştirebilir. Bu tip bir kullanıma örnek olmak üzere aşağıda Tablo 2.3’de olası tüm faktör/seviye kombinasyonları verilen 3^3 faktöriyel denemesi ve buna ilişkin

tam faktöriyel denemeler ve kesirli faktöriyel denemeler üzerinde açıklamalara yer verilmiştir.

Tablo 2.3 : 3^3 Tam Faktöriyel Deneme Kombinasyonları

Kombinasyon No	Faktörler		
	A	B	C
1	0	0	1
2	0	0	2
3	0	0	3
4	0	1	1
5	0	1	2
6	0	1	3
7	0	2	1
8	0	2	2
9	0	2	3
10	1	0	1
11	1	0	2
12	1	0	3
13	1	1	1
14	1	1	2
15	1	1	3
16	1	2	1
17	1	2	2
18	1	2	3
19	2	0	1
20	2	0	2
21	2	0	3
22	2	1	1
23	2	1	2
24	2	1	3
25	2	2	1
26	2	2	2
27	2	2	3

Genel olarak s^k faktöriyel denemesinde faktör kombinasyonları için elde edilen gözlemler arasında toplam $s^k - 1$ serbestlik derecesi vardır. Bu serbestlik derecesi, her biri $(s-1)$ serbestlik dereceli $(s^k - 1)/(s-1)$ kümeye ayrılabilir. Örneğin yukarıda ki 3^3 denemesinde toplam serbestlik derecesi $27 - 1 = 26$ dır ve bu serbestlik derecesi her biri $3 - 1 = 2$ serbestlik dereceli 13 kümeye bölünebilir. Bu kümeler A, B, C, AB, AB^2 , AC, AC^2 , BC, BC^2 , ABC, AB^2C , ABC^2 ve AB^2C^2

şeklinde ifade edilmektedir. Her bir kümenin 2 serbestlik derecesi, faktörlerin, kantitatif olduğu ve seviye aralıklarının eşit olduğu varsayımı ile birer serbestlik dereceli doğrusal ve kuadratik etkilere atfedilebilir. 3 seviyeli faktörün doğrusal etkisi, faktörün 2. seviyesindeki gözlemlerinin toplamından faktörün 0. seviyesindeki gözlemlerinin toplamı çıkarılarak ($x_1=-1$ $x_2=0$ $x_3=1$), kuadratik etkisi ise faktörün 0. veya 2. seviyesindeki gözlemlerinin toplamından faktörün 1. seviyesindeki gözlemlerinin toplamının 2 katı çıkarılarak bulunur ($x_1^2=1$ $x_2^2=-2$ $x_3^2=1$). 3^3 denemesindeki her bir kombinasyon bu durum dikkate alınarak faktöriyel etkiler cinsinden,

$$\begin{aligned}
 y = & \mu + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{122} x_1 x_2^2 + \\
 & \beta_{133} x_1 x_3^2 + \beta_{112} x_1^2 x_2 + \beta_{113} x_1^2 x_3 + \beta_{233} x_2 x_3^2 + \beta_{223} x_2^2 x_3 + \beta_{1122} x_1^2 x_2^2 + \beta_{1133} x_1^2 x_3^2 + \beta_{2233} x_2^2 x_3^2 + \\
 & \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2 + \beta_{12233} x_1 x_2^2 x_3^2 + \beta_{11233} x_1^2 x_2 x_3^2 + \\
 & \beta_{11223} x_1^2 x_2^2 x_3 + \beta_{112233} x_1^2 x_2^2 x_3^2 + \text{hata} \quad \dots(2.1)
 \end{aligned}$$

doğrusal modeli ile açıklanabilir. (2.1) modelinde β_1, β_{11} A faktörünün, β_2, β_{22} B faktörünün β_3, β_{33} C faktörünün ana etkisinin katsayılarıdır. $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{122}, \beta_{133}, \dots, \beta_{2233}$ A, B ve C faktörlerinin ikili etkileşimlerinin, $\beta_{123}, \beta_{1123}, \beta_{1223}, \beta_{1233}, \dots, \beta_{112233}$ A, B, ve C faktörlerinin üçlü etkileşimlerinin katsayılarıdır. Örneğin Tablo 2.3'deki 5. kombinasyon (0 1 2) (2.1) modeli ile faktöriyel etkiler cinsinden,

$$\begin{aligned}
 y = f(0 \ 1 \ 2) = & \mu - \beta_1 + \beta_{11} - 2\beta_{22} + 2\beta_{122} - 2\beta_{1122} + \beta_3 - \beta_{133} + \beta_{113} - 2\beta_{223} + 2\beta_{1223} - 2\beta_{11223} \\
 & + \beta_{33} - \beta_{133} + \beta_{1133} - 2\beta_{2233} + 2\beta_{12233} - 2\beta_{112233} + \text{hata} \quad \dots(2.2)
 \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir (İkiz, 1975; Montgomery, 2001).

Kesirli faktöriyel deneme açısından bakılacak olursa 3^k denemesinin en büyük kesri 3^{k-1} ile gösterilen $1/3$ kesirli faktöriyel denemesidir. 3^{k-1} faktöriyel tasarımını oluşturmak için

etkileşimin 2 serbestlik dereceli bir kümesi seçilir ve 3^k tam faktöriyel deneme üç bloğa parçalanır. Bu blokların her biri 3^{k-1} denemesidir ve bunlardan her hangi biri kesirli faktöriyel deneme tasarımı olarak seçilebilir (Montgomery, 2001). Örnek olarak 3^3 denemesini göz önüne alırsak 3^{3-1} denemesini oluşturmak için ABC etkileşiminin 2 serbestlik dereceli ABC, AB^2C , ABC^2 veya AB^2C^2 kümelerinden biri seçilebilir. Buna göre 3^3 denemesinin α_1 daima 1'e eşit, $\alpha_2, \alpha_3=1$ veya 2, $u=0, 1$ veya 2 olmak üzere,

$$\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 = u \pmod{3} \quad \dots (2.3)$$

ile tanımlanan 12 farklı 1/3 kesri vardır. (2.3)'de α_1, α_2 ve α_3 sırasıyla seçilen üçlü etkileşim kümesindeki B ve C'nin kuvvetidir. Örneğin AB^2C^2 kümesi seçilirse 3^{3-1} tasarımı $3^2=9$ deneme kombinasyonuna sahip olacak ve $u=0, 1$ veya 2 olmak üzere,

$$x_1 + 2x_2 + 2x_3 = u \pmod{3} \quad \dots (2.4)$$

durumunu sağlayacaktır. Bunlar dikkate alınarak $u=0, u=1$ ve $u=2$ için oluşturulacak 3^{3-1} tasarımları Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4 : 2 Serbestlik Dereceli AB^2C^2 Kümesinin Seçimiyle Oluşturulan 3^{3-1} Tasarımları

	1. Tasarım			2. Tasarım			3. Tasarım		
Kombinasyon No	u=0			u=1			u=2		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	0	0	0	1	0	0	2	0	0
2	0	1	2	1	1	2	2	1	2
3	1	0	1	2	0	1	0	0	1
4	2	0	2	0	0	2	1	0	2
5	0	2	1	1	2	1	2	2	1
6	1	1	0	2	1	0	0	1	0
7	1	2	2	2	2	2	0	2	2
8	2	1	1	0	1	1	1	1	1
9	2	2	0	0	2	0	1	2	0

(2.4) ile u , Tablo 2.4'deki 1. tasarımın 1. ve 2. kombinasyonu için sırasıyla,

$$(1*0)+(2*0)+(2*0)=0 \pmod{3}$$

$$(1*0)+(2*1)+(2*2)=0 \pmod{3}$$

2. tasarımın 1. ve 2. kombinasyonu için sırasıyla,

$$(1*1)+(2*0)+(2*0)=1 \pmod{3}$$

$$(1*1)+(2*1)+(2*2)=1 \pmod{3}$$

3. tasarımın 1. ve 2. kombinasyonu için,

$$(1*2)+(2*0)+(2*0)=2 \pmod{3}$$

$$(1*2)+(2*1)+(2*2)=2 \pmod{3}$$

olarak bulunacaktır. Üç tasarımın diğer kombinasyonları da bu şekilde (2.4)'ü sağlamaktadır.

2.2. Taguchi Yaklaşımı

Taguchi, ürün ve/veya süreç geliştirmede hem denemenin tasarımı hem de denemenin analizi aşamasına yeni yaklaşımlar getirmiş ve bu yaklaşımlarla düşük maliyetli yüksek kaliteli ürün ve/veya süreç geliştirilmesini sağlamıştır. 1980'lerden itibaren bu yaklaşımların kullanımı yaygınlaşmış ve üretimde yoğun kabul görmüştür (Taguchi, 1987).

2.2.1. Deneme Tasarımı Stratejisi

Taguchi, kaliteli ürün ve/veya süreç üretiminin deneme tasarımı aşamasında geçmişİ İkinci Dünya Savaşına uzanan ve 2.1.2. bölümünde matematiksel özellikleri açıklanan ortogonal dizilerin özel, pratik formlarını kullanmıştır. Bu ortogonal dizi formları, her bir faktör seviyesinin eşit sayıda denemeye alınmasına izin veren Taguchi'nin geliştirdiği yöntemle oluşturulmuştur. Oluşturulan bu özel dizilerde, iki seviyeli faktöriyel denemelerde

“0” ve “1” olarak gösterilen faktörlere ilişkin düşük ve yüksek seviyeler sırasıyla “1” ve “2”, üç seviyeli faktöriyel denemelerde “0”, “1”, “2” olarak gösterilen faktörlere ilişkin düşük, orta ve yüksek seviyeler sırasıyla “1”, “2” ve “3” olarak gösterilmiştir. Taguchi’nin oluşturduğu ortogonal dizilerde “1” ile gösterilen düşük seviye 0’a, “2” ile gösterilen yüksek seviye 1’e dönüştürüldüğü takdirde 2.1.2. bölümde verilen matematiksel esaslar, Taguchi’nin oluşturduğu ortogonal diziler için de sağlanmaktadır. Benzer durum üç seviyeli faktörler içinde geçerlidir.

Kaynaklarda tasarım matrisi olarak geçen bu dizilerin gösterimi $L_d(s^k)$ şeklindedir (Roy, 1990). Bu gösterimde d denemedeki kombinasyon sayısını, s faktörlerin seviye sayısını, k faktör sayısını göstermektedir. Faktörlerin farklı seviye sayısına sahip olduğu durumlarda da ortogonal dizinin gösterimi benzerdir. Örneğin, s_1 seviyeli k_1 adet faktörün ve s_2 seviyeli k_2 adet faktörün incelenmesi için kullanılacak ortogonal dizinin gösterimi $L_d(s_1^{k_1} s_2^{k_2})$ şeklindedir. Farklı faktör ve faktör seviye sayılarına göre yaygın olarak kullanılan bazı Taguchi ortogonal dizileri Tablo 2.5’de verilmektedir. Bu tabloda belirtilenler dışındaki ortogonal diziler Taguchi ve ark. (2005)’da ayrıntılı şekilde gösterilmektedir.

Tablo 2.5 : Taguchi’nin Yaygın Olarak Kullanılan Ortogonal Dizileri (Taguchi ve ark, 2005)

Dizi		
$L_4(2^3)$	2 seviyeli 3 faktör	2 Seviyeli faktörler için hazırlanmış diziler
$L_8(2^7)$	2 seviyeli 7 faktör	
$L_{12}(2^{11})$	2 seviyeli 11 faktör	
$L_{16}(2^{15})$	2 seviyeli 15 faktör	
$L_{32}(2^{31})$	2 seviyeli 31 faktör	
$L_9(3^4)$	3 seviyeli 4 faktör	3 Seviyeli faktörler için hazırlanmış diziler
$L_{27}(3^{13})$	3 seviyeli 13 faktör	
$L_{18}(2^1 \times 3^7)$	2 seviyeli 1 faktör ve 3 seviyeli 7 faktör	Asimetrik faktöriyel deneme için hazırlanmış dizi

Taguchi'nin ortogonal dizileri faktörlere ilişkin serbestlik derecesi toplamına bakılarak seçilmektedir. Faktörlere ilişkin serbestlik derecesi (sd) toplamı dizideki kombinasyon sayısından küçükse (toplam sd < d) seçilen dizi uygun olmaktadır. Eğer serbestlik derecesi toplamı dizideki deneme sayısına eşit veya büyükse bir üst diziye seçmek gerekmektedir. Örnek olarak faktörler arasında etkileşimin olmadığı her biri 2'şer seviyeli 7 faktörün bulunduğu denemede $L_8(2^7)$ dizisini seçmek yeterli iken her biri 2'şer seviyeli 8 faktörün bulunduğu denemeler için $L_{12}(2^{11})$ dizini seçilmelidir. Faktörlerde kullanılan seviye sayısı ise kullanılacak olan ortogonal dizinin kaç seviyeli olacağını belirlemede kullanılmaktadır. Tablo 2.5'de görüldüğü gibi eğer denemede faktörler 2 seviyeli ise 2 seviyeli ortogonal dizilerin kullanılması, faktörler 3 seviyeliyse 3 seviyeli ortogonal dizilerin kullanılması gerekmektedir. Taguchi, $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizisinde görüldüğü gibi asimetrik faktöriyel denemeler için de özel ortogonal diziler önermiştir (Taguchi ve ark, 2005).

Ortogonal dizilerde faktör etkileşimleri için de sütunlar bulunmaktadır. Faktörler arasında etkileşimin olduğu durumlarda toplam serbestlik derecesi ana etki ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin toplamına eşit olmakta, ortogonal dizi bu serbestlik derecesi dikkate alınarak seçilmektedir.

Taguchi'nin ortogonal dizilerinin içindeki iki seviyeli faktörler için tasarlanan diziler, az sayıda deneme ile çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesini sağlayan en basit dizilerdir. Bu dizilerin tam faktöriyel denemelere oranla ihtiyaç duyulan deneme sayısını ne kadar azalttığı Tablo 2.6'da kolayca görülmektedir.

Tablo 2.6 : 2 Seviyeli Ortogonal Dizilerdeki Deneme Sayıları

Ortogonal Dizi	Faktör sayısı	Ortogonal Dizideki deneme Sayısı	Tam Faktöriyel Deneme Sayısı
L4	3 Faktör 2 seviyeli	4	8
L8	7 Faktör 2 Seviyeli	8	128
L12	12 Faktör 2 seviyeli	12	4096
L16	15 Faktör 2 Seviyeli	16	32768
L32	31 faktör 2 seviyeli	32	2147483648

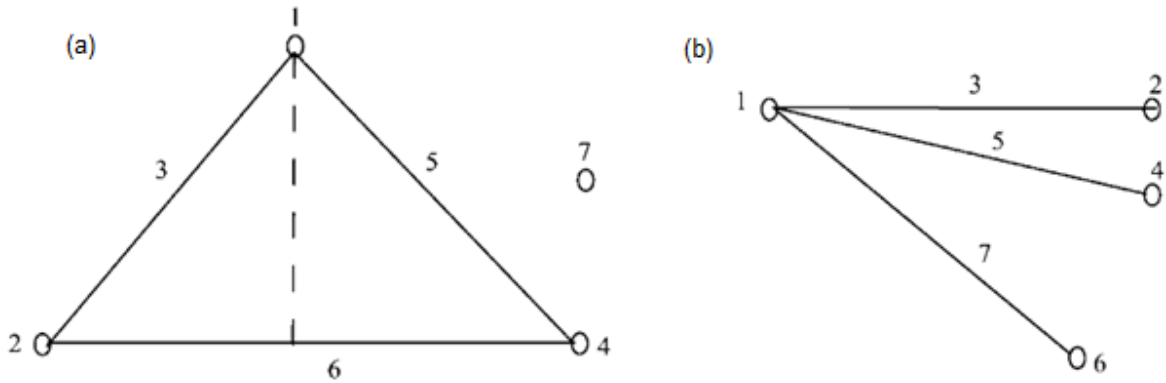
Taguchi'nin 2 seviyeli denemeler için yaygın olarak kullanılan ortogonal dizisi, Tablo 2.7'de verilen 2 seviyeli 7 faktörün bulunduğu deneyi tasarlamak için kullanılan $L_8(2^7)$ dizisidir (Roy, 1990). Bu denemede tüm etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu varsayımı altında 8 deneme ile 7 faktörün (A, B,...,G) ana etkisi tahminlenebilmektedir.

Tablo 2.7 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisi

Kombinasyon No	Faktörler						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Eğer k adet faktör yerine p adet ($p < k$) faktörün incelenmesi isteniyorsa, ilgili ortogonal dizinin k-p tane sütunu boş kalacaktır. Tüm etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu varsayımı altında bu sütunlara ait kareler toplamları k-p serbestlik derecesi ile hatanın tahminlenmesi için kullanılabilir. Ancak bazı faktörler arasındaki etkileşimlerin ihmal edilemeyeceği düşünülüyorsa araştırmacı boş kalan bu sütunları istenen etkileşimleri incelemek için

kullanabilir. Bu noktada etkileşimlerin diziye nasıl alınacağı sorunu ortaya çıkar. Taguchi bu etkileşimlerin sütunlara yerleştirilmesi için doğrusal grafikler geliştirmiştir. Buna göre Taguchi'nin ortogonal dizilerinin her biri belirli bir doğrusal grafik kümesine sahiptir ve bu doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini değerlendirmekte kullanılabileceğini belirlemektedir. Doğrusal grafikler birbirlerine bağlı çemberlerden oluşur. Her çember ortogonal dizideki temel faktörleri, bu çemberleri birbirlerine bağlayan çizgiler ise iki faktör arasındaki etkileşim faktörünü ifade eder (Şanyılmaz, 2006). Örneğin her biri 2'şer seviyeli 4 (A, B, C, D) faktörün bulunduğu çalışmada faktörlere ilişkin toplam serbestlik derecesi $L_8(2^7)$ ortogonal dizisinin seçilmesini gerektirmektedir. Bu durumda $7-4=3$ tane sütun istenen faktör etkileşimlerini değerlendirmek için kullanılabilir. Hangi sütunların faktör etkileşimleri için kullanılacağı Şekil 2.1'de gösterilen $L_8(2^7)$ ortogonal dizisi için oluşturulan iki doğrusal grafik kullanılarak verilmektedir.



Şekil 2.1 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisi için Oluşturulan Doğrusal Grafikler (Taguchi ve ark., 2005)

Şekil 2.1'deki (a) doğrusal grafiği kullanılarak A, B, C, D faktörleri ve incelenmesi istenen A*B, A*C ve B*C etkileşimleri sırasıyla 1, 2, 4, 7, 3, 5, 6 numaralı sütunlara atanabilir (Ross, 1996).

Tablo 2.8’de doğrusal grafik (a) kullanılarak faktörlerin ve etkileşimlerin sütunlara nasıl atandığı gösterilmektedir.

Tablo 2.8 : Doğrusal Grafik Kullanılarak Faktörlerin $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Sütunlarına Atanması

Kombinasyon No	1 A	2 B	3 A*B	4 C	5 A*C	6 B*C	7 D
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Doğrusal grafik (b) de farklı etkileşimlerin sütunlara atanmasına alternatif bir düzenleme sağlamaktadır (Bayrak, 1996). Diğer ortogonal diziler için oluşturulan lineer grafikler ve bunların kullanımı Taguchi ve ark. (2005) ve Ross (1996)’da yer almaktadır.

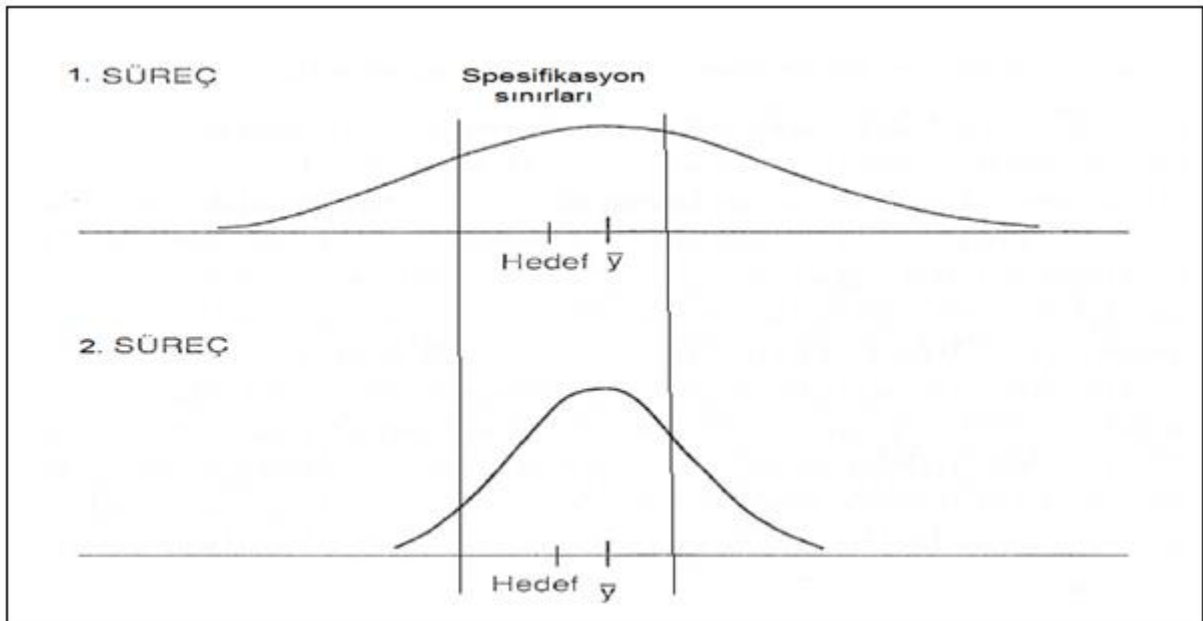
İhtiyaç duyulan deneme sayısını azaltması dışında dizi seçiminin ve kullanımının kolaylığı Taguchi’nin dizilerinin faktör sayısının çok olduğu çalışmalarda sıkça kullanılmasına sebep olmuştur. Taguchi’nin ortogonal dizilerinin seçimi ve etkili olarak kullanımı Taguchi ve ark. (2005), Ross (1996) ve Roy (2001) tarafından ayrıntılı şekilde verilmektedir.

2.2.2. Taguchi’nin Analiz Stratejisi

Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve denemelerin gerçekleştirilmesinden sonra hangi istatistiksel etkinin önemli olduğu kararının verilmesi (klasik analiz metotları ya da normal olasılık grafiği vasıtasıyla) ve ürünün veya sürecin kalitesini en iyi noktaya getirecek optimum faktör kombinasyonlarının bulunması aşamasına gelinmektedir. Bu aşamada bölüm 2.1.2’de verilen standart kesirli deneme analizi sadece etkinin önemini belirlemeyi hedeflerken Taguchi yaklaşımında bunun yanı sıra süreçteki varyasyonun da azaltılması hedeflenmiştir.

Böyle bir yaklaşımın ortaya konmasının sebebi üretimde ve kalite artırma çalışmalarında kalitenin, bir grup ürünün kalite karakteristiğinin ortalamasından çok varyasyonu ile ilgili olmasıdır. Burada kalite karakteristiği (Y), Şirvancı (1997) tarafından bazen ürünün ömrü, bazen mukavemeti veya yüzey özelliği, bazen de ürünün ve/veya sürecin başka bir özelliği olarak ifade edilmiştir.

Optimize edilmek istenen bir kalite karakteristiğinin ortalama değeri spesifikasyon sınırlarının içinde olduğu halde ortalama değere bakılarak bulunan faktör seviyeleriyle üretilen ürünlerin büyük bir kısmı muayeneyi geçemeyebilir ve dolayısıyla istenen kaliteyi sağlamayabilir (Şirvancı, 1997). Örneğin Şekil 2.2’de verilen iki sürecin ortalamaları hedef değere yakın olmasına karşılık birinci süreçte varyasyonun büyük olması sebebiyle üretim sürecinin kalitesi daha düşük olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.2: Varyasyonu Farklı Süreçlerin Karşılaştırılması

Taguchi ürünün kalitesinin sadece spesifikasyon sınırları içinde olmasına göre değerlendirilmesinin kalite kaybına sebep olacağını belirtmiş, bu kalite kaybını açıklamak için karesel kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir. Karesel kayıp fonksiyonu, kalite karakteristiğinin

arzulanılan durumu dikkate alınarak belirlenmektedir. Kalite karakteristiklerinin arzulanılan durumları başlıca “hedef değer en iyi”, “daha büyük daha iyi” ve “daha küçük daha iyi” şeklinde olabilmektedir. Karesel kayıp fonksiyonu, karakteristiği hedef değere yaklaştırırken aynı zamanda hedeften sapmaları en aza indirerek varyasyonu azaltmayı amaçlamakta ve

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad \dots (2.5)$$

fonksiyonu ile gösterilmektedir. (2.5) fonksiyonu, “hedef değer en iyi” (nominal the best) durumu için kullanılan bir fonksiyondur. Fonksiyonda $L(y)$ hedef değerden uzaklaştıkça oluşan kalite kaybını, y kalite karakteristiğini, m kalite karakteristiğinin hedef değerini, k kalite kaybı katsayısını göstermektedir. Kalite karakteristiği hedef değere eşit olduğunda kalite kaybı sıfıra eşittir ve bu kayıp, hedeften sapma arttıkça sapmanın karesi oranında artmaktadır. k katsayısını elde etmek için ilk olarak y ’nin spesifikasyon sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Spesifikasyon sınırları müşterinin kullanımı sırasında başarısız olan ürünün y değerleridir (Phadke, 1989).

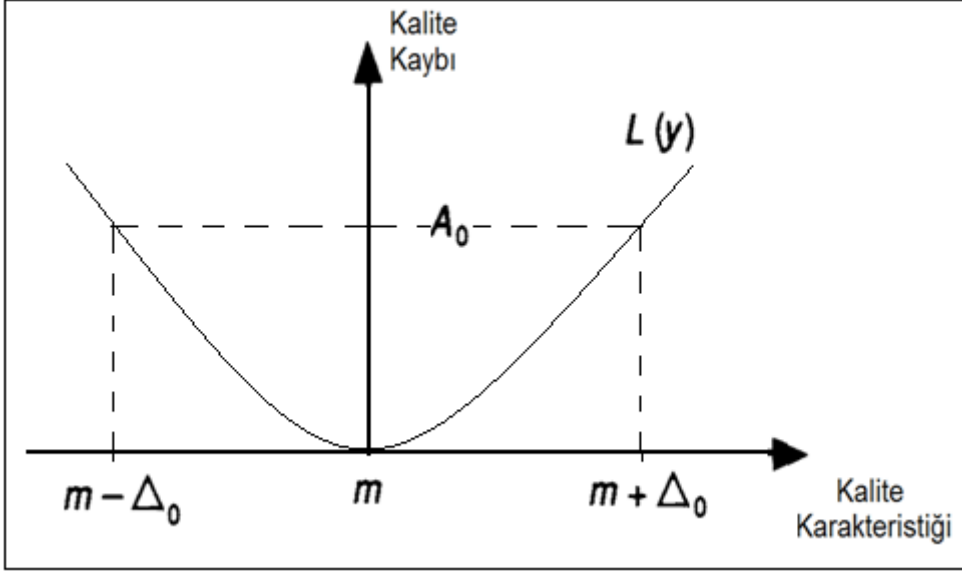
Spesifikasyon sınırları Şekil 2.3’deki gibi $m \pm \Delta_0$ olarak kabul edilirse ve bu sınırlardaki kayıp A_0 olursa spesifikasyon sınırlarındaki karesel kayıp fonksiyonu,

$$A_0 = k((m \pm \Delta_0) - m)^2 \quad \dots (2.6)$$

şekilde ifade edilebilir. (2.6) eşitliğinin düzenlenmesiyle k katsayısı,

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad \dots (2.7)$$

olarak bulunur. A_0 kaybına ürünün yenilenmesi ya da bozuk ürünün tamir edilmesi için gereken ücret ve ürünün tamir edildiği ya da yenilendiği süredeki müşteri kaybı dahildir.



Şekil 2.3: "Hedef Değer En İyi" için Karesel Kayıp Fonksiyonu (Phadke, 1989)

(2.7) eşitliği kullanılarak (2.5) eşitliği yeniden yazılırsa,

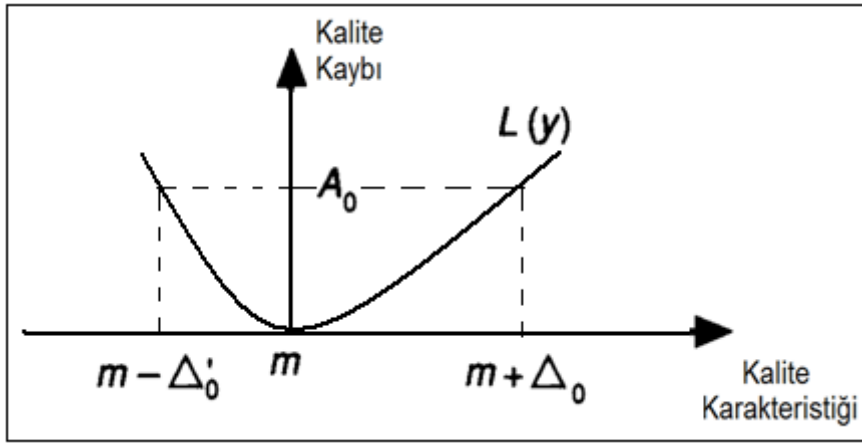
$$L(y) = (A_0/\Delta_0^2) * (y-m)^2 \quad \dots(2.8)$$

eşitliği elde edilmektedir.

Kalite karakteristiği eğer sonlu bir hedef değere sahip ise ve Şekil 2.3'deki gibi hedefin her iki tarafına sapma simetrik bir kayba neden oluyorsa (2.5) eşitliğinde verilen karesel kalite kayıp fonksiyonunu kullanmak uygun olacaktır (Phadke, 1989). Ancak bazı kalite karakteristiklerinin hedef değerden sapması Şekil 2.4'deki gibi asimetrik bir kayba sebep olabilmektedir. Bu gibi durumlarda $y \leq m$ ve $y > m$ için iki ayrı kalite kaybının tanımlandığı asimetrik kayıp fonksiyonunu kullanmak gerekir. Bu durumda asimetrik kayıp fonksiyonu,

$$L(y) = \begin{cases} k_1(y - m)^2, & y > m \\ k_2(y - m)^2, & y \leq m \end{cases} \quad \dots(2.9)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (2.9) fonksiyonunda k_1 ve k_2 sırasıyla kalite karakteristiğinin hedef değerden büyük ve küçük olduğu durumda kullanılan kayıp katsayısıdır.

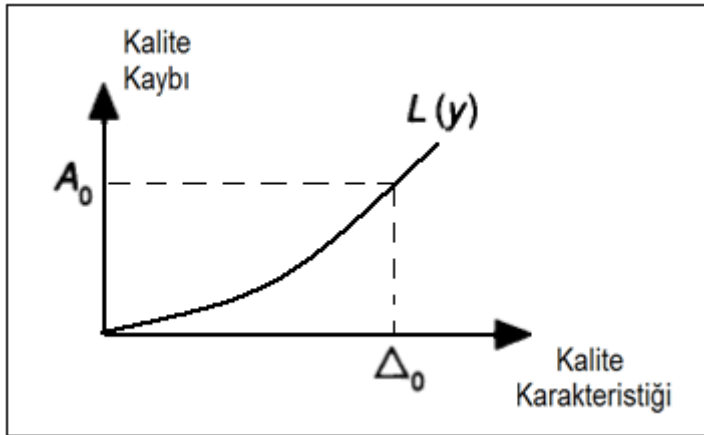


Şekil 2.4: Asimetrik Kayıp Fonksiyonu (Phadke, 1989)

Kalite karakteristiğinin “daha küçük daha iyi” tipinde olduğu durumlarda kalite kayıp fonksiyonu,

$$L(y) = ky^2 \quad \dots (2.10)$$

şekilde ifade edilecektir. Amaç y 'yi minimize etmek olduğu için Şekil 2.5’de görüldüğü gibi y sıfır iken kayıp sıfır olmaktadır. y arttıkça kalite kaybı da y 'nin karesi oranında artmaktadır.

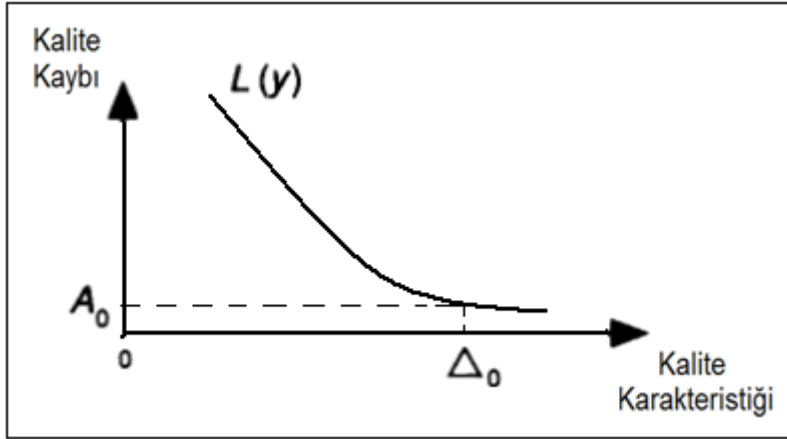


Şekil 2.5: “Daha Küçük Daha İyi” için Karesel Kayıp Fonksiyonu (Phadke, 1989)

Kalite karakteristiğinin “daha büyük daha iyi” tipinde olduğu durumlarda kalite kayıp fonksiyonu,

$$L(y) = k\left(\frac{1}{y^2}\right) \quad \dots (2.11)$$

şekildedir. Amaç y 'yi maksimize etmek olduğu için y büyüdükçe kalite kaybı azalmaktadır. Şekil 2.6'de görüldüğü gibi spesifikasyon sınırlarının altındaki değerler için kayıp büyük olacaktır.



Şekil 2.6: “Daha Büyük Daha İyi” için Kayıp Fonksiyonu (Phadke, 1989)

Kalite kaybını azaltmak için mümkün olduğu kadar hedef değere yakın üretim yapılması gerektiği kalite kayıp fonksiyonu yaklaşımıyla kolayca görülebilmektedir. Hedef değere yakın üretim yapabilmek varyasyonun azaltılmasına da bağlıdır. Varyasyonun azaltılması için varyasyonu yaratan faktörlerin belirlenip, bu faktörlerin varyasyon açısından optimal değerlerini seçmek gerekmektedir. Taguchi, varyasyonu minimum yapan optimum koşulu belirlemek amacıyla, deneme tasarımında bir performans ölçüsü olarak kullanılmak üzere sinyal/gürültü (S/G) oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir (Şirvancı 1997).

S/G oranı Taguchi tarafından,

$$S/G = -10\log_{10}(OKS) \quad \dots (2.12)$$

şeklinde formüle edilmiştir. (2.12)'de OKS, ortalama karesel sapmayı ifade etmektedir. Optimum faktör kombinasyonunun belirlenmesinin temelini varyasyonun incelenmesi teşkil ettiğinden denemelerin tekrarlı olarak uygulanması gerekmektedir. $y_1, y_2, \dots, y_n$ değerlerinin Y kalite karakteristiğinin aynı koşulda n tane tekrarı olduğu varsayılırsa karakteristiğin 3 farklı tipi için ortalama karesel sapma (OKS),

$$OKS = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2, & \text{Daha küçük daha iyi} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 = \frac{n-1}{n} s^2 + (\bar{y} - m)^2, & \text{Hedef değer en iyisi} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}, & \text{Daha büyük daha iyi} \end{cases} \quad \dots (2.13)$$

şekilde tanımlanmaktadır. Deney sonuçları S/G oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Amaç, hedef değer etrafındaki değişkenliği azaltmak ise “hedef değer en iyi” için tanımlanan S/G oranının, kalite karakteristiğini maksimize etmekse “daha büyük daha iyi” için tanımlanan S/G oranının, minimize etmekse “daha küçük daha iyi” için tanımlanan S/G oranının kullanımı uygun olacaktır. Yukarıdaki üç tip kalite karakteristiğinin tümünde S/G oranını maksimum yapan koşul optimal koşul olarak kabul edilmektedir. S/G oranının veri analizinde kullanılması karakteristik ortalamasını hedefe yaklaştıran varyasyonu düşüren optimum koşulun bulunmasını sağlamaktadır.

“hedef değer en iyi” için tanımlanan S/G oranının maksimize edilmesi için, s^2 ve $(\bar{y} - m)^2$ 'nin eş zamanlı olarak minimize edilmesi gerekmektedir. Ancak pratikte, “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiği için S/G oranını maksimize eden optimal koşul ile s^2 ve $(y-m)^2$ 'yi eşzamanlı olarak minimize eden koşul aynı değildir. Bu yüzden Taguchi “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiği için S/G oranını,

$$\eta = 10\log_{10}\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} - \frac{1}{n}\right) \approx 10\log_{10}\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad \dots (2.14)$$

şeklinde yeniden tanımlamıştır (Wu, 2002). Bu sebepten bazı çalışmalarda “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiklerinin kalite kaybı,

$$L = k\left(\frac{s^2}{\bar{y}^2}\right) \quad \dots (2.15)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

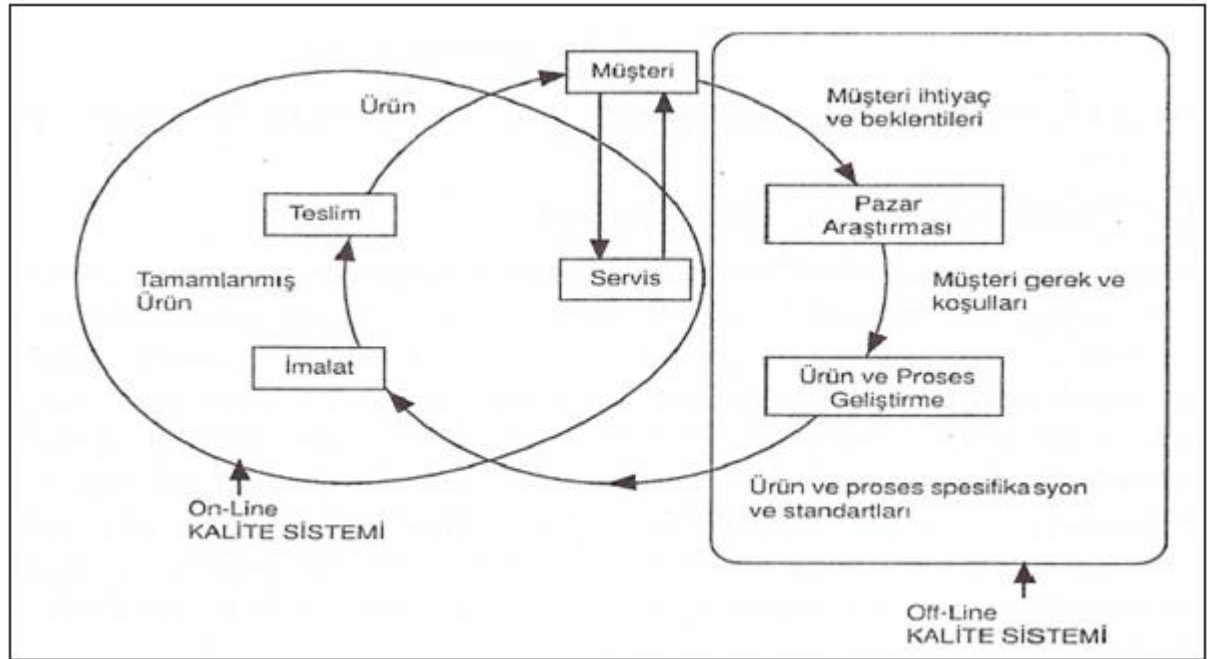
Varyasyonun incelenmesi için bazı çalışmalarda S/G oranı yerine varyasyonun gerçek ölçüsü standart sapma da kullanılmaktadır. Şirvancı (1997), S/G oranının Box (1988) tarafından sakıncalı bulunduğunu belirtip analizlerinde önce kalite değişkeninin ortalamasını incelemiş, ardından standart sapmayı kullanarak varyasyonu etkileyen faktörleri bulmuştur. Amaç, S/G oranı veya standart sapmanın kullanılmasıyla varyasyonu düşük kaliteli ürünün ve/veya sürecin üretilmesidir. Taguchi’nin kaliteli ürün ve/veya süreç üretmek konusunda oluşturduğu aşamalar 2.2.3 bölümünde verilmektedir.

Ortogonal dizilerin kullanımı ile Taguchi denemelerinin oluşturulması (deneme tasarımı aşaması) ile oluşturulan bu tasarıma uygun olarak elde edilen verilerin analizi (veri analizi aşaması) bazı standart bilgisayar yazılımları (Minitab, Excel, SPSS) ile gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş özel yazılımlar da bulunmaktadır. Bunların içinde Design-Expert programının özel bir yeri vardır. Bu programın genel özelliklerini içeren bilgilere bu çalışmada Ek 1. bölümünde yer verilmiştir.

2.2.3. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi

Taguchi ürünün kaliteli olması için ürüne üretimden sonra değil, tasarım ve üretim aşamasında müdahale edilmesi fikrini ortaya atmıştır. Bu fikirle klasik yöntemlerin aksine ürünün kalitesi daha üretilmeden geliştirilmektedir. Taguchi kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri Şekil 2.7 'de gösterildiği gibi iki bölüme ayırmaktadır (Şirvancı, 1997):

1. Off-Line Kalite Sistemi: Ürünü üretmeden önce gerçekleştirilen, pazar araştırması ile başlayıp ürün ve süreç geliştirme ile devam eden kalite geliştirme faaliyetleri.
2. On-Line Kalite Sistemi: Ürünün üretim aşamasında, servis aşamasında ve üretimi sonrasında gerçekleştirilen kalite faaliyetleri.



Şekil 2.7: Taguchi'nin Üretim/ Kalite Çemberi (Şirvancı, 1997)

Taguchi'nin kalite sisteminde deneme tasarımı off-line kalite sistemi içinde yer almaktadır. Off-line kalite kontrolündeki ürün ve/veya süreç tasarımları için üç kalite aşaması tanımlanmaktadır;

1. Sistem tasarımı

2. Parametre tasarımı

3. Tolerans tasarımı

2.2.3.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı off-line kalite sisteminin ilk aşamasıdır. Bu aşamada, ürünün belirlenmiş tolerans sınırları içinde ve en düşük maliyetle üretimini sağlayacak süreci geliştirmek amaçlanır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Sistem tasarımı daha çok kavramsal yönlü bir aşama olduğu için mühendislik deneyimi gerektirir ve istatistiksel yöntemler bu aşamada önemli rol almamaktadır (Şanyılmaz, 2006).

2.2.3.2. Parametre Tasarımı

Taguchi'ye göre ürün ve/veya süreç tasarımı için ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama parametre tasarımı aşamasıdır (Şirvancı, 1997). Parametre tasarımı, ürün ve süreçteki kontrol edilemeyen faktörlerin (gürültü faktörleri) yarattığı hedef değerden sapmayı kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerini seçerek en aza indirmeyi amaçlar.

Parametreler üç sınıfta sınıflandırılabilir;

1. Sinyal (signal) faktörleri; İstenilen performansı veya çıktıyı elde etmek için kullanıcı tarafından kurgulanan ve söz konusu olan ortalama yanıt düzeyini etkileyen faktörlerdir. Sinyal faktörleri tasarım mühendisi tarafından mühendislik bilgisine bağlı olarak seçilir (Çakır, 2007).
2. Gürültü (noise) faktörü; Deneyi tasarlayan kişiler tarafından kontrol edilemeyen faktörlerdir. Gürültü faktörlerinin seviyeleri üniteden üniteye, bir çevresel durumdan başka bir çevresel duruma, bir zamandan başka bir zamana değişkenlik gösterir.

Gürültü faktörünün sadece ortalama ve varyans gibi karakteristikleri bilinebilir ya da belirlenebilir. Y sonuç değişkeninin hedeften sapmasına sebep olur (Phadke, 1989).

3 çeşit gürültü faktörü vardır;

- a. Dış gürültü: Çevre koşullarındaki ısı, nem oranı, toz vb. gibi kontrol edilemeyen değişimler,
- b. İçsel gürültü: Kullanıma bağlı zamanla oluşan yıpranmalar,
- c. Birimler arası gürültü: Aynı spesifikasyonlarla üretilmiş ürünlerin birimden birime gösterdiği farklılıklar.

3. Kontrol Faktörleri; bu faktörler deneme tasarımcısı tarafından belirlenen ölçülebilir ve kontrol edilebilir faktörlerdir (Phadke, 1989).

Hsieh ve ark (2005) tarafından “güçlü tasarım” olarak da ifade edilen parametre tasarımı; (i) optimize edilecek kalite karakteristiklerinin belirlenmesi, (ii) gürültü faktörlerinin tanımlanması, (iii) kontrol faktörlerinin ve bu faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi, (iv) uygun denemenin tasarlanması, (v) deneyin gerçekleştirilmesi, (vi) veri analizinin yapılması, kontrol faktörlerinin optimum seviyesinin bulunması ve (vii) doğrulama deneyinin gerçekleştirilmesi adımlarından oluşmaktadır (Phadke, 1989).

Parametre tasarımı statik ve dinamik olmak üzere iki sistemi içeren problemlerde uygulanabilmektedir. Bu iki sistem, dinamik sistemin sinyal faktöre yer vermesine karşılık statik sistemin sinyal faktöre yer vermemesi sebebiyle farklılık gösterir (Hsieh ve ark, 2005). Statik sistemlerde kalite karakteristiği sabit bir hedef değere sahiptir ve bu sistemde sinyal faktör ihmal edilir. Optimizasyon kalite karakteristiğinin hedef değere yaklaştıran kontrol faktörlerinin bulunmasını içerir. Statik sistemlerde kalite karakteristikleri, istenilen hedef değere bağlı olarak “daha küçük daha iyi”, “daha büyük daha iyi” ve “hedef değer en iyi” şeklinde sınıflandırılmaktadır. Dinamik sistemlerde ise hedef değer sinyal faktörünün

seviyelerine bağılıdır ve sistemde tek bir hedef yoktur. Yanıt, sinyalin bir fonksiyonudur. Bu nedenle sinyal-yanıt ilişkisi, sistemin performansını ölçmek için önemli bir araçtır (Çakır, 2007).

2.2.3.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı parametre tasarımının yetersiz kaldığı durumlarda başvuru, kalitenin geliştirilmesine değil, değerlendirilmesine yönelik bir aşamadır (Hamzaçebi ve Kutay 2003).

Eğer parametre tasarımında değişkenlik istenen seviyeye düşürülmemişse, tolerans tasarımında üründeki değişkenliğe katkısı en fazla olan faktörler belirlenir (Şanyılmaz, 2006).

2.3. Tek Kalite Karakteristiğinin Optimizasyonu İçin Sayısal Örnek

Bu bölümde üzerinde araştırma yapılan bir kalite karakteristiği bakımından Taguchi deneme tasarımı ve kalite analizleri uygulamasına ilişkin sayısal bir örnek üzerinde durulacaktır. Sayısal örnek Şirvancı (1997)'den alınmış ve MINITAB 14, SPSS 18 ve Excell 2007 yardımıyla analiz edilmiştir.

Örnek entegre devrelere (tümleşikdevrelere) ilişkin bir denemeyi içermektedir. Entegre devreler: Elektronik bir fonksiyonu yerine getirmek üzere en az biri elektiriği iletme özelliğine sahip (yarı iletken materyali) birden çok katmanın meydana getirdiği devrelerdir. Bu çalışmada entegre devre, metalize cam zemine monte edilirken yapışma mukavemetinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır (Şirvancı, 1997). Yapışma mukavemetinin Tablo 2.9'da seviyeleri belirtilen 4 faktörden etkilendiği düşünülmektedir.

Tablo 2.9 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörler ve Faktör Seviyeleri

Faktörler	Alt Seviye	Üst Seviye
A: Yapıştırıcı Türü	A1	A2
B: İletken Türü	Bakır	Nikel
C: Kür Süresi (Dakika)	90	120
D: Kaplama Malzemesi	Kalay	Gümüş

Faktörler arasındaki tüm etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu varsayımı altında uygun ortogonal dizinin seçimi için kullanılacak faktörlere ilişkin serbestlik derecesi (sd) toplamı 4 olmaktadır. Bölüm 2.2.1'deki kurallar dikkate alındığında bu çalışma için $L_8(2^7)$ ortogonal dizininin kullanımı uygundur. Bu durumda $L_8(2^7)$ ortogonal dizinin 7-4=3 tane sütunu boş kalacaktır. Boş kalan sütunlara ait kareler toplamı 3 serbestlik derecesi ile hatanın tahminlenmesi için kullanılacaktır.

Uygun ortogonal dizinin seçiminden sonra faktörlerin hangi sütunlara yerleştirileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörler arasındaki etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu varsayımı altında faktörler istenilen 4 sütuna atanabilir. Ancak faktörler sütunlara atanırken mümkün olduğunca daha az etkileşim içeren sütunlara atanması tercih edilir (Şanyılmaz, 1996). Tablo 2.7'de verilen $L_8(2^7)$ ortogonal dizininin etkileşim içeren sütunları, Ross (1996) tarafından Tablo 2.10'da gösterildiği gibi verilmiştir.

Tablo 2.10 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Etkileşim İçeren Sütunları (Ross, 1996)

Sütun No						
1	2	3	4	5	6	7
A	B	AxB	C	AxC	BxC	D
BxCxD	AxCxD	CxD	AxBxD	BxD	AxD	AxBxC
BxC	AxE	E	DxE	AxDxE	BxDxE	CxE
				BxCxE	AxCxE	

Faktörler sütunlara yerleştirilirken Tablo 2.10'nun 1. satırı dikkate alınmaktadır. A ve B faktörleri sırasıyla 1. ve 2. sütunlara yerleştirilir. Üçüncü sütun AxB etkileşim etkisini içermektedir. 4. sütunda her hangi bir etkileşim etkisi yoktur. Bu sebepten C faktörü 4. sütuna yerleştirilir. 5. ve 6. sütunlar sırasıyla AxC ve BxC etkileşim etkilerini içerdiği için 5. ve 6. sütunlar boş bırakılacak, D faktörü 7. sütuna atanacaktır. Bu durumda faktörler Tablo 2.11'de gösterildiği gibi dizide yer alacaktır.

Tablo 2.11 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisinin Sütunlarına Atanması

Kombinasyon No	1	2	3	4	5	6	7
	A	B		C			D
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tablo 2.11'de gösterilen denemedeki A, B, C ve D faktörlerini kapsayan her bir kombinasyon 5 kez tekrar edilmiş ve Tablo 2.12'de verilen, libre cinsinden elde edilen yapışma mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2.12 : $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisine Göre Elde Edilen Yapışma Mukavemeti Verileri (Şirvancı, 1997)

Kombinasyon No					Yapışma Mukavemeti Verileri				
	A	B	C	D	1	2	3	4	5
1	A1	Bakır	90	Kalay	73,0	73,2	72,8	72,2	76,2
2	A1	Bakır	120	Gümüş	87,7	86,4	86,9	87,9	86,4
3	A1	Nikel	90	Gümüş	80,5	81,4	82,6	81,3	82,1
4	A1	Nikel	120	Kalay	79,8	77,8	81,3	79,8	78,2
5	A2	Bakır	90	Gümüş	85,2	85,0	80,4	85,2	83,6
6	A2	Bakır	120	Kalay	78,0	75,5	83,1	81,2	79,9
7	A2	Nikel	90	Kalay	78,4	72,8	80,5	78,4	67,9
8	A2	Nikel	120	Gümüş	90,2	87,4	92,9	90,0	91,1

Analiz aşamasında, yapışma mukavemetini maksimize eden faktör/seviye kombinasyonunu bulmak için performans ölçüsü olarak ortalama ve “daha büyük daha iyi” için tanımlanan S/G oranı kullanılmaktadır. 1. Kombinasyona ilişkin S/G oranı,

$$-10 \log \left(\frac{1}{5} \left(\frac{1}{73,0^2} + \frac{1}{73,2^2} + \frac{1}{72,8^2} + \frac{1}{72,2^2} + \frac{1}{76,2^2} \right) \right) = 37,32$$

ve ortalama,

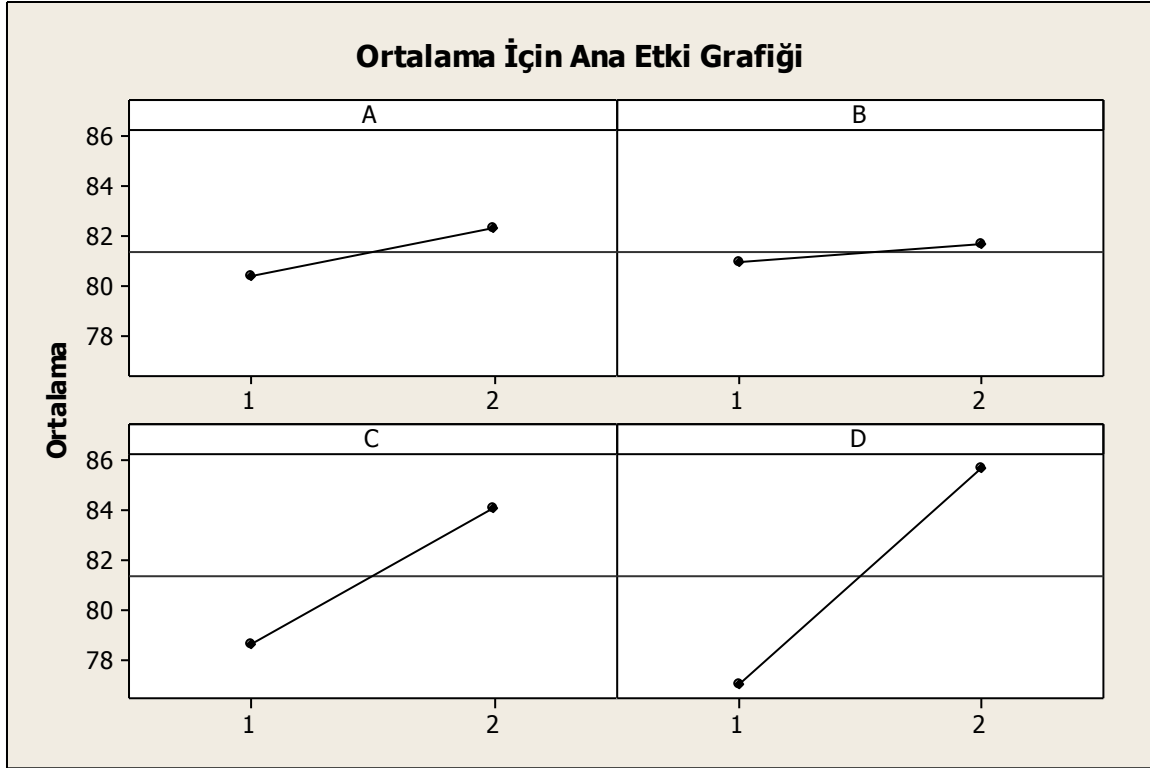
$$\frac{1}{5} (73,0 + 73,2 + 72,8 + 72,2 + 76,2) = 73,48$$

şeklinde bulunmaktadır. Diğer kombinasyonlara ait ortalamalar ve S/G oranları bir bütün olarak Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13 : Entegre Devre Çalışmasındaki Kombinasyonların Yapışma Mukavemeti Ortalamaları ve S/G Oranları

Kombinasyon No	Gözlemler						
	1	2	3	4	5	Ortalama	S/G
1	73,0	73,2	72,8	72,2	76,2	73,48	37,32
2	87,7	86,4	86,9	87,9	86,4	87,06	38,79
3	80,5	81,4	82,6	81,3	82,1	81,58	38,23
4	79,8	77,8	81,3	79,8	78,2	79,38	37,99
5	85,2	85,0	80,4	85,2	83,6	83,88	38,47
6	78,0	75,5	83,1	81,2	79,9	79,54	37,99
7	78,4	72,8	80,5	78,4	67,9	75,60	37,52
8	90,2	87,4	92,9	90,0	91,1	90,32	39,11

Tablo 2.13’de gösterilen ortalama değerleri kullanılarak oluşturulan, her bir faktörün 1. ve 2. seviyelerinin kalite karakteristiği ortalaması üzerindeki etkisini gösteren ana etki grafiği Şekil 2.8’de verilmektedir.



Şekil 2.8: Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Ortalama Üzerindeki Ana Etki Grafiği

Şekil 2.8’de A, B, C ve D faktörlerinin 2. seviyesinin yapışma mukavemetinin ortalamasını arttırdığı görülmektedir. Hangi faktörün yapışma mukavemeti ortalaması üzerinde daha etkili olduğu ise Tablo 2.14’de görülmektedir.

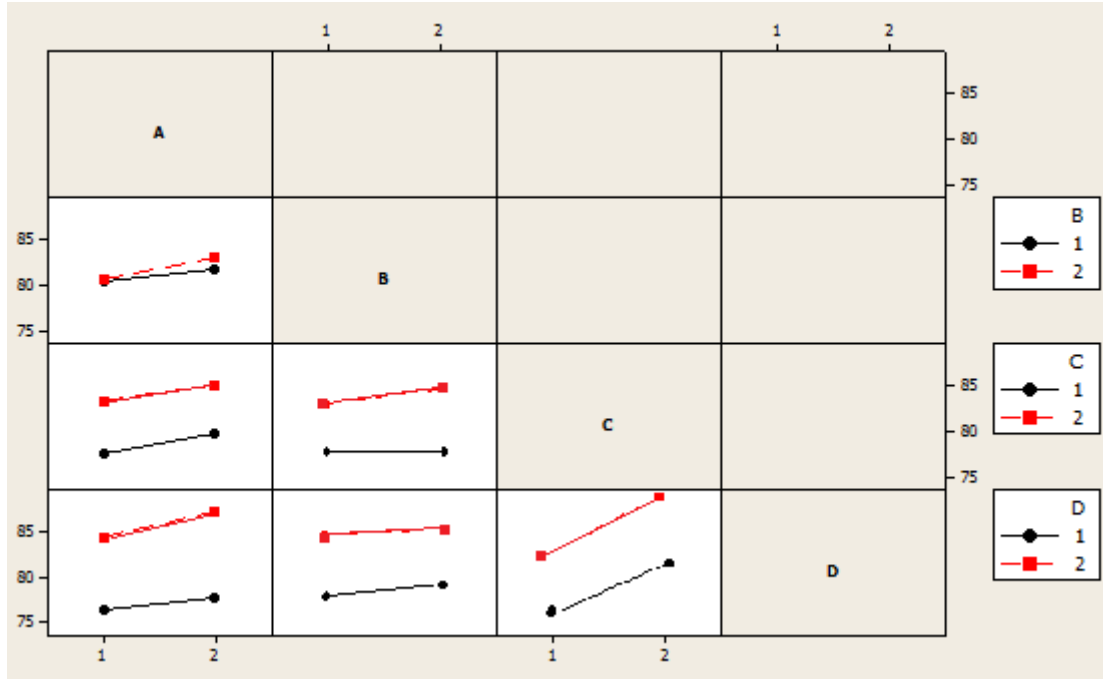
Tablo 2.14 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Ortalamaya Etkilerinin Sayısal Gösterimi

	Faktör			
Seviye	A	B	C	D
1	80,38	80,99	78,64	77,00
2	82,34	81,72	84,08	85,71
Fark	1,96	0,73	5,44	8,71
Derece	3	4	2	1

Tablo 2.14’de görüldüğü gibi ortalamaya etkisi en büyük olan faktör D, ikinci etkili faktör C, etkisi en az olan faktör ise B faktörüdür.

Faktörler arasındaki etkileşimlerin incelendiği grafikler Şekil 2.9'da gösterilmektedir.

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi herhangi iki faktör arasında çok önemli bir etkileşim görülmemektedir.



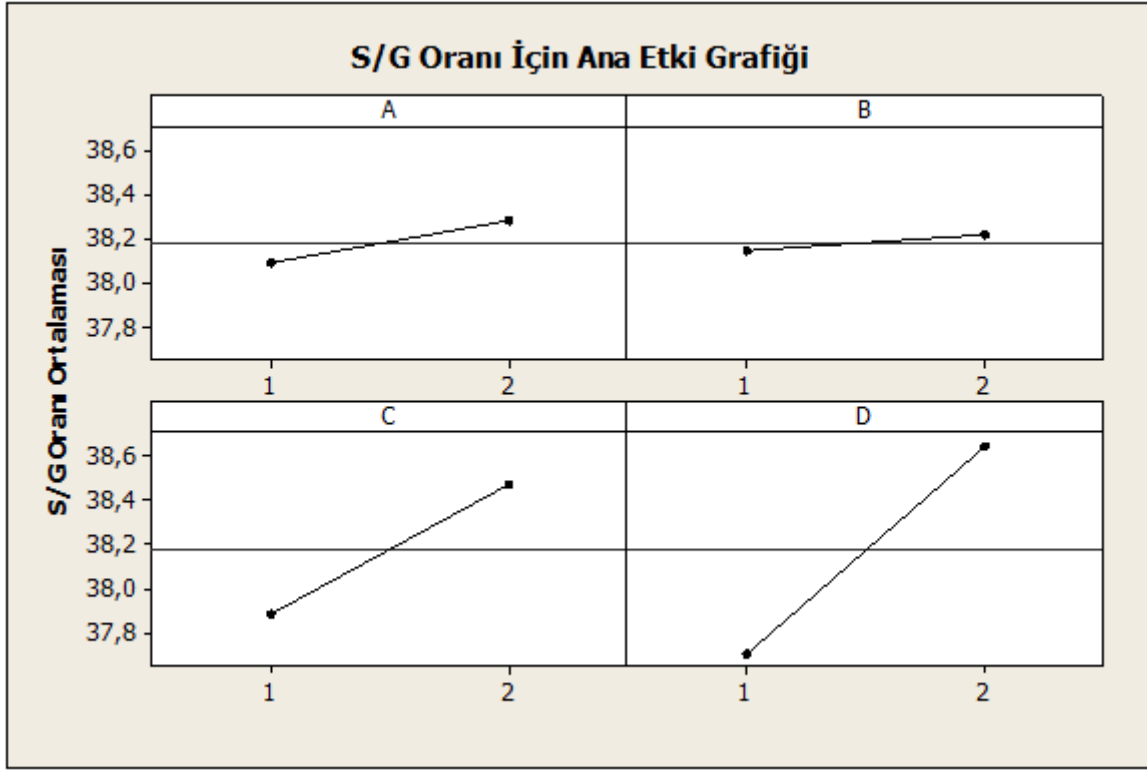
Şekil 2.9: Ortalama için Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Etkileşim Grafiği

Tablo 2.13'de verilen ortalama değerleri kullanılarak gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Tablo 2.15'de verilmektedir. Varyans analizi sonucunda A, C ve D faktörlerinin kalite karakteristiği ortalaması üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). B faktörünün ortalamaya etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 2.15 : Entegre Devre Çalışmasında Ortalamaya Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	P
A	7,683	1	7,683	11,464	,043
B	1,066	1	1,066	1,590	,296
C	59,187	1	59,187	88,313	,003
D	151,728	1	151,728	226,392	,001
Hata	2,011	3	,670		
Genel Kareler Toplamı	221,675	7			

Faktörlerin kalite karakteristiği ortalaması üzerindeki etkisi incelendikten sonra faktörlerin S/G oranı üzerindeki etkilerinin incelendiği aşamaya gelinmektedir. Tablo 2.13’de verilen S/G oranları kullanılarak oluşturulan ana etki grafiği Şekil 2.10’da verilmektedir.



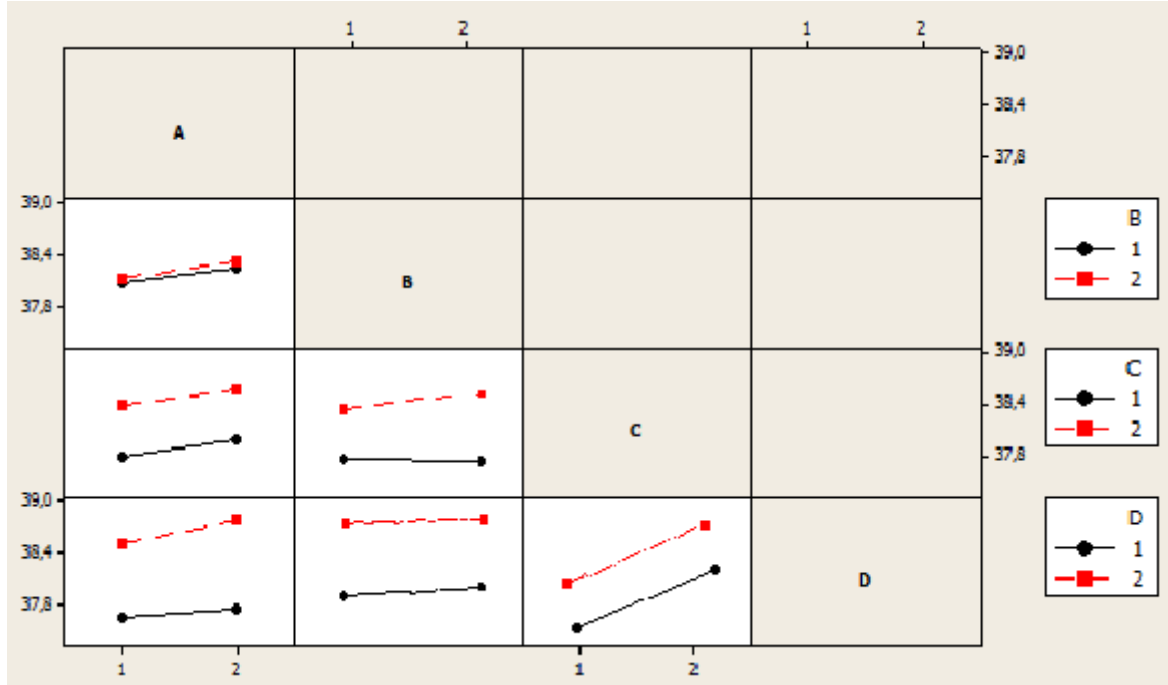
Şekil 2.10: Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin S/G Oranı Üzerindeki Ana Etki Grafiği

S/G oranının ortalamasını en yüksek çıkaran seviye optimum seviye olarak seçilecektir. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi A, B, C ve D faktörlerinin 2. seviyeleri S/G oranının yüksek çıktığı seviyelerdir. S/G oranına etkisi en büyük olan faktörün D, ikinci en büyük etkiye sahip olan faktörün C, etkisi en küçük olan faktörün ise B faktörü olduğu Tablo 2.16’da gösterilmektedir.

Tablo 2.16 : Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin S/G Oranına Etkilerinin Sayısal Gösterimi

	Faktör			
Seviye	A	B	C	D
1	38,08	38,14	37,88	37,71
2	38,27	38,21	38,47	38,65
Fark	0,19	0,07	0,59	0,94
Derece	3	4	2	1

S/G oranları için, faktörler arasında etkileşim olup olmadığı grafiksel olarak incelenmiş, herhangi iki faktör arasında çok önemli bir etkileşim olmadığı Şekil 2.11’de görülmüştür.



Şekil 2.11: S/G Oranı için Entegre Devre Çalışmasındaki Faktörlerin Etkileşim Grafiği

Tablo 2.13’de verilen S/G oranları kullanılarak gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları, Tablo 2.17’de verilmektedir. Varyans analizi sonucunda A, C ve D faktörlerinin S/G oranının ortalaması üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). B faktörünün S/G oranı ortalamasına etkisi ise kalite karakteristiği ortalaması için yapılan varyans analizinde olduğu gibi istatistiksel olarak önemli bulunamamıştır ($p < 0,05$).

Tablo 2.17 : Entegre Devre Çalışmasında S/G Oranına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F	P
A	,072	1	,072	12,739	,038
B	,009	1	,009	1,648	,289
C	,696	1	,696	123,628	,002
D	1,784	1	1,784	316,840	,000
Hata	,017	3	,006		
Genel Kareler Toplamı	2,578	7			

Analizler sonucunda, A, B, C ve D faktörlerinin yapışma mukavemetini maksimize eden faktör/seviye kombinasyonu, ortalama ve S/G oranı için $A_2B_2C_2D_2$ olarak bulunmuştur. Çalışmada ortalama ve S/G oranı için bulunan optimum faktör/seviye kombinasyonu aynıdır. Bu sebepten optimum seviye kombinasyonu belirlenirken herhangi bir çelişki yaşanmamıştır. Ortalama ve S/G oranı için bulunan optimum seviye kombinasyonunun farklı olduğu durumlarda Bölüm 2.2.2’de belirtilen sebepler yüzünden öncelikli olarak S/G oranının dikkate alınması önerilmektedir.

Parametre tasarımının en son aşaması Bölüm 2.2.3’de de belirtildiği gibi doğrulama deneyinin yapıldığı aşamadır. Bu aşamada belirlenen optimum faktör/seviye kombinasyonu ile deneme tekrarlanır. Deneme sonucunda elde edilen değerler aşağıda açıklanan beklenen güven aralığı içindeyse belirlenen faktör/seviye kombinasyonunun ürün ve/veya sürecin kalite karakteristiği için en iyi kombinasyon olduğu doğrulanır.

Ortalamanın tahmini, belirlenen en iyi faktör/seviye kombinasyonu için performans ölçütünün beklenen değerinin hesaplanabilmesine yarar (Bayrak, 1996). Kalite karakteristiği üzerinde etkili olan k adet faktör ($x_1, x_2, \dots, x_k$) var ise belirlenen kombinasyondaki faktör seviyelerinin ortalama değeri,

$$\hat{\mu}_{x_1, x_2, \dots, x_k} = \hat{\mu}_{x_1} + \hat{\mu}_{x_2} + \dots + \hat{\mu}_{x_k} - (k - 1)\bar{T} \quad \dots (2.16)$$

şeklinde hesaplanır. (2.16)'da $\hat{\mu}_{x_i}$, (i=1, 2,...,k) i. faktörün optimum bulunan seviyesinin ortalamasını, $\bar{T}$, d adet kombinasyonun ortalamasını ifade etmektedir. Bu durumda doğrulama deneyi ortalaması için beklenen güven aralığı,

$$\hat{\mu}_{x_1, x_2, \dots, x_k} \pm \sqrt{F_{\alpha, sd_T, sd_e} \hat{\sigma}_e^2 \left[\left(\frac{1+c}{N} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad \dots (2.17)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik (2.17)'de c; μ tahminlenirken kullanılan tüm faktörlerin toplam serbestlik derecesini, r; gerçekleştirilen doğrulama deneyi sayısını, sd_T ; ortalamaya ait serbestlik derecesini, sd_e ; hata serbestlik derecesini, $\hat{\sigma}_e^2$; hata varyansının tahminini, N; denemedeki kombinasyon sayısını, α ; 1-güven düzeyini göstermektedir.

(2.17) kullanılarak belirlenen optimum faktör/seviye kombinasyonunun ortalamasının tahmini S/G için,

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{A2, B2, C2, D2} &= \hat{\mu}_{A2} + \hat{\mu}_{B2} + \hat{\mu}_{C2} + \hat{\mu}_{D2} - (4 - 1)\bar{T} \\ &= 38,273 + 38,213 + 38,474 + 38,651 - (4 - 1)38,179 = 39,074 \end{aligned}$$

ortalama için,

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{A2, B2, C2, D2} &= \hat{\mu}_{A2} + \hat{\mu}_{B2} + \hat{\mu}_{C2} + \hat{\mu}_{D2} - (4 - 1)\bar{T} \\ &= 82,335 + 81,720 + 84,075 + 85,710 - (4 - 1)81,355 = 89,775 \end{aligned}$$

bulunacaktır. Bu örneğin alındığı kaynakta doğrulama deneyi yapılmamıştır. Bu sebepten doğrulama deneyi sayısı (r) bilinmemekte ve güven aralığı sayısal olarak bulunamamaktadır. Güven aralığını sayısal olarak elde edilişini görebilmek için doğrulama deneyi (dd) sayısının 5 olduğu (r=5) varsayılın. Bu durumda, S/G oranının güven aralığı,

$$39,074 - \sqrt{10,13 * 0,006 * \left[\left(\frac{5}{8} \right) + \left(\frac{1}{5} \right) \right]} < \eta_{dd} \leq 39,074 + \sqrt{10,13 * 0,006 * \left[\left(\frac{5}{8} \right) + \left(\frac{1}{5} \right) \right]}$$

$$38,85 < \eta_{dd} \leq 39,297$$

ortalamanın güven aralığı,

$$89,775 - \sqrt{10,13 * 0,67 * \left[\left(\frac{5}{8} \right) + \left(\frac{1}{5} \right) \right]} < \hat{\mu}_{dd} \leq 89,775 + \sqrt{10,13 * 0,67 * \left[\left(\frac{5}{8} \right) + \left(\frac{1}{5} \right) \right]}$$

$$87,409 < \mu_{dd} \leq 92,141$$

şeklinde bulunacaktır. Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen 5 adet değerin ortalaması ve bu 5 adet değerlerle hesaplanan S/G oranı beklenen güven aralığı içinde olmalıdır. Aksi takdirde parametre tasarımının tekrar yapılması gerekmektedir.

BÖLÜM III

3. ÇOKLU KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI OPTİMİZASYONU

Geleneksel Taguchi metodu, ürün ve/veya süreç kalitesinin geliştirilmesinde tek kalite karakteristiğinin optimizasyonuna odaklanmaktadır. Ancak uygulamada ürün ve süreçlerin birçoğu birden fazla kalite karakteristiğine sahiptir. Bu özellikteki ürün ve sürecin geliştirilmesinde karşılaşılan çoklu kalite karakteristik problemi (Antony, 2001);

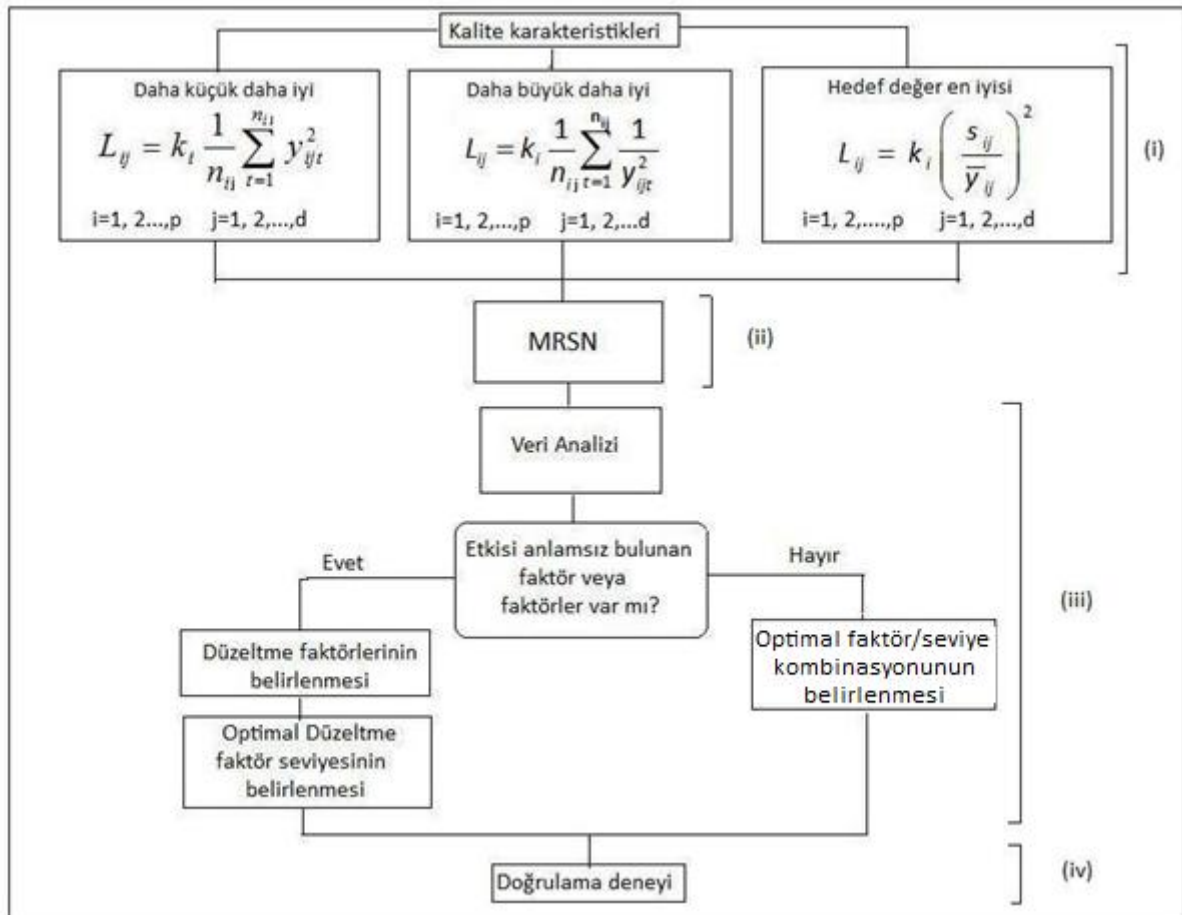
- (i) bazı koşulların bazı kalite karakteristiklerini arzulanılan, ürün veya süreç kalitesi için en uygun görülen değere yaklaştırırken aynı koşulların diğer kalite karakteristiklerini arzulan değere uzaklaştırması,
- (ii) her bir kalite karakteristiğinin yol açtığı kayıpların farklı olması,
- (iii) bazı durumlarda, farklı kalite karakteristiklerinin ürün ve/veya süreç kalitesi için önemlerinin eşit olmaması, şeklinde özetlenebilir.

Çoklu kalite karakteristik probleminin dikkate alınmaması ürün veya sürecin kalitesini en iyi noktaya getiren koşulun seçiminde ciddi çelişkilere sebep olabilmektedir. Bu çelişkinin ortaya çıkmaması için son zamanlarda çoklu kalite karakteristik problemine yoğunlaşılmıştır. Bu kapsamdaki çalışmalara özellikle son on yılda, endüstriyel araştırma geliştirme alanında çokça yer verilmiştir. Kalite karakteristiklerinin öneminin dikkate alındığı, karakteristiklerin eş zamanlı olarak optimize edildiği, Taguchi metodunu temel alan yaklaşımlar Tong, Su ve Wang (1997), Wu (2002), Refaie ve ark. (2010) tarafından öne sürülmüştür. Tong, Su ve Wang (1997) kalite kayıplarını normalize etmiş ve bu normalize kayıpları kullanarak hesapladığı çoklu kalite karakteristik S/G oranını optimizasyon için önermiştir. Wu (2002), kayıp fonksiyonunda türetilen kalite kaybının yüzdesel azalımına bağlı genelleştirmiş bir yaklaşımda bulunmuştur. Refaie ve ark. (2010) ise faktör seviyelerine ilişkin S/G oranlarının

ağırlıklandırılmasına dayalı bir yaklaşım önermiştir. Belirtilen bu yaklaşımlar sırasıyla 3.1, 3.2 ve 3.3 bölümlerinde ayrıntılı şekilde açıklanıp sayısal bir örnek ile ele alınmış, yaklaşımların sonuçları 3.4 bölümünde karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

3.1. Çoklu Kalite Karakteristiği S/G Oranı Yaklaşımı

Tong, Su ve Wang (1997), çoklu kalite karakteristiği problemi için çoklu kalite karakteristikleri S/G oranının (Multi-Response Signal Noise=MRSN) kullanıldığı bir yöntem önermiştir. Önerilen bu yöntem Şekil 3.1’de gösterilen; (i) kaybın tüm kalite karakteristikleri için hesaplanması, (ii) MRSN’nin elde edilmesi, (iii) optimal faktör/seviye kombinasyonlarının belirlenmesi, (iv) doğrulama deneyinin gerçekleştirilmesi aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.1: Çoklu Kalite Karakteristik Problemi için MRSN Yaklaşımı Aşamaları (Tong, Su ve Wang, 1997)

Şekil 3.1’de (i) bölümünde yer alan formülasyonlarda,

L_{ij} = i. kalite karakteristiğinin j. kombinasyondaki kalite kaybını,

n_{ij} = i. kalite karakteristiğinin j. kombinasyonunun tekrar sayısını,

y_{ijt} = i. kalite karakteristiğinin j. kombinasyonundaki t. tekrarından elde edilen gözlem değerini,

$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{t=1}^{n_i} y_{ijt}$, i. karakteristik için j. kombinasyonda yapılan gözlemlerin ortalamasını,

$s_{ij}^2 = \frac{1}{n_i} \sum_{t=1}^{n_i} (y_{ijt} - \bar{y}_{ij})^2$, i. karakteristik için j. kombinasyonda yapılan gözlemlerin varyansını,

k_i i. kalite karakteristiğinin kalite kaybı katsayısını ifade etmektedir.

MRSN yaklaşımında q adet faktörden ($x_1, x_2, \dots, x_q$) etkilendiği düşünülen p adet kalite karakteristiğinin ($y_1, y_2, \dots, y_p$) optimize edilmek istendiği bir kalite geliştirme çalışmasında, faktör seviyelerinin farklı d adet kombinasyonunun her birinin n_{ij} ($i=1,2,\dots,p$) ($j=1,2,\dots,d$) defa tekrar edildiği kabul edilsin. MRSN yaklaşımının ilk aşamasında, kalite kaybı tüm kalite karakteristikleri için Taguchi’nin tanımladığı karesel kayıp fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

MRSN oranının hesaplandığı ikinci aşama 3 adımda gerçekleşmektedir;

Adım 1: Bu adımda tüm kalite karakteristiklerinin kalite kaybı normalize edilir. Bu işlem

$L_i^* = \text{maksimum}\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{id}\}$ olmak üzere,

$$c_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \quad i = 1,2, \dots, p ; j = 1,2, \dots, d \quad \dots (3.1)$$

şeklinde yapılır. Normalize edilmiş kalite kaybı “0” ile “1” arasında tanımlıdır ve “1” en büyük kaybı göstermektedir.

Adım 2: Toplam normalize edilmiş kalite kaybı (Total Normalized Quality Lost=TNQL) her kombinasyon için,

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^p w_i c_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, d \quad \dots (3.2)$$

şeklinde hesaplanır. (3.2)'deki w_i , i. kalite karakteristiğinin ağırlığını ifade etmektedir.

Adım 3: TNQL kullanılarak j. kombinasyona ilişkin MRSN,

$$\eta_j = -10 \log(TNQL_j) \quad j = 1, 2, \dots, d \quad \dots (3.3)$$

şeklinde hesaplanır.

Optimum faktör/seviye kombinasyonun elde edilmesi aşamasında, Taguchi “daha küçük daha iyi” ve “daha büyük daha iyi” tipindeki karakteristikler için kalite kaybının doğrudan minimize edilmesini, “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiği için S/G oranının maksimize edilmesi ve hedef değere yakın ortalamanın belirlenmesi gibi iki aşamalı optimizasyon sürecini önermiştir. İkinci aşamada ortalamanın hedef değere çekilmesi için kullanılacak faktörlere düzeltme faktörleri denir (Tong, Su ve Wang, 1997).

Optimum kombinasyonu tespit edebilmek için öncelikle faktörlerin MRSN oranı üzerindeki ana etkileri grafiksel olarak gösterilir. Eğer çalışmada “hedef değer en iyi” özelliğine sahip bir ya da daha fazla kalite karakteristiği var ise faktörlerin karakteristik ortalaması üzerindeki ana etkilerinin grafiği de çizilmelidir.

Etkiler grafiksel olarak gösterildikten sonra MRSN oranı üzerindeki etkisi anlamlı olan faktörler varyans analizi ile bulunur. MRSN’yi maksimum yapan faktör seviyesi optimum seviye olarak seçilir.

η_j 'nin genel ortalaması $\bar{\eta}$ olarak gösterilirse, varyans analizinde MRSN oranının kareler toplamı,

$$SS_T = \sum_{j=1}^d \eta_j^2 - d\bar{\eta}^2 \quad \dots (3.4)$$

eşitliğiyle hesaplanır. A, kalite karakteristiklerini etkilediği düşünülen s seviyeli herhangi bir faktör olsun. $A_1, A_2, \dots, A_s$ sırasıyla A faktörünün 1., 2., ..., s. seviyelerindeki MRSN oranı toplamalarını, $d_1, d_2, \dots, d_s$ ($d_1 + d_2 + \dots + d_s = d$) sırasıyla A faktörünün 1., 2., ..., s. seviyelerindeki gözlem sayılarını göstermek üzere A faktörünün kareler toplamı,

$$SS_A = \frac{A_1^2}{d_1} + \frac{A_2^2}{d_2} + \dots + \frac{A_s^2}{d_s} - d\bar{\eta}^2 \quad \dots (3.5)$$

şeklinde bulunur (Antony, 2001).

Çoklu kalite karakteristiğinin optimizasyonunda eğer var ise “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristikleri için uygun düzeltme faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Optimizasyon sürecinde “hedef değer en iyi” tipinde karakteristiğin bulunduğu olası 4 farklı durum vardır (Tong, Su ve Wang, 1997);

1. “daha küçük daha iyi” ve “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiklerin optimize edildiği durum
2. “daha büyük daha iyi” ve “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiklerin optimize edildiği durum
3. “daha küçük daha iyi”, “daha büyük daha iyi” ve “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiklerin optimize edildiği durum

4. Optimize edilecek tüm kalite karakteristiklerinin “hedef değer en iyi” tipinde olduğu durum

Yukarıda belirtilen ilk üç durumda, MRSN üzerindeki etkisi anlamlı olmayan fakat karakteristik ortalaması üzerindeki etkisi anlamlı olan faktörler düzeltme faktörü olarak seçilebilirler. Seçilen düzeltme faktörü, ortalamayı hedef değere yaklaştırırken “daha küçük daha iyi” ve “daha büyük daha iyi” tipindeki karakteristikleri de eş zamanlı olarak geliştirmelidir. 4. durumda, i. kalite karakteristiğinin ortalamasını hedef değere yaklaştırmak için kullanılacak düzeltme faktörünün geriye kalan p-1 adet kalite karakteristiğinin ortalaması üzerindeki etkisi anlamlı olmamalıdır. Aksi takdirde düzeltme faktöründeki değişim diğer karakteristiklerin ortalamasını hedef değerden uzaklaştırabilir.

Açıklanan bu yaklaşım aşağıda Phadke (1989)’den alınan polisilikon koruma (polysilicon deposition) verisi üzerinde uygulanmıştır. Verilerin analizinde SPSS 18 ve Excel 2007 kullanılmıştır.

Polisilikon küçük silikon kristallerden oluşan elektronik ve solar hücreler için kullanılan bir materyaldir. Bu materyalin geliştirme süreci, “daha küçük daha iyi” tipindeki yüzey hatası (surface defect), “hedef değer en iyi” tipindeki kalınlık (thickness) ve “daha büyük daha iyi” tipindeki korunma oranı (deposition rate) kalite karakteristiklerine sahiptir. Çalışmada kalınlık için hedef değer 3600 angstrom($\text{\AA}$) olarak belirlenmiştir ($1\text{\AA}=10^{-10}$ metre). Belirlenen bu 3 kalite karakteristiğinin, koruma sıcaklığı, koruma basıncı, nitrojen salınımı, silane salınımı, ayarlama zamanı ve temizleme metodu faktörlerinden etkilendiği düşünülmektedir. Faktörlerin her biri 3’er seviyelidir ve Tablo 3.1’de gösterildiği gibi belirlenmiştir. Kalite karakteristiklerinin özellikleri, faktörler ve faktörlerin seviyeleri hakkındaki bilgiler Phadke (1989)’de ayrıntılı şekilde verilmektedir.

Tablo 3.1 : Polisilikon Koruma Geliştirme Süreci Faktörleri ve Faktör Seviyeleri

Faktörler	Seviyeler		
A.Koruma Sıcaklığı °C (Deposition Temperature)	T ₀ -25	T ₀	T ₀ +25
B. Koruma Basıncı mtorr (Deposition Pressure)	P ₀ -200	P ₀	P ₀ +200
C.Nitrojen Salınımı sccm (Nitrogen Flow)	N ₀	N ₀ -150	N ₀ -75
D.Silane Salınımı sccm (Silane Salımı)	S ₀ -100	S ₀ -50	S ₀
E.Ayarlama Zamanı dk. (Settling Flow)	t ₀	t ₀ +8	t ₀ +16
F.Temizleme Metodu (Cleaning Method)	yok	CM ₂	CM ₃

Çalışmada etkisi incelenen faktörlerin arasındaki etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmekte, faktörlere ilişkin serbestlik derecesi toplamına göre deneme tasarımı aşamasında $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizisinin kullanılması uygun bulunmaktadır. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizisinde 8 sütun bulunduğu ve çalışmada 6 faktörün etkisi incelendiğinden 2 sütunun boş bırakılması gerekmektedir. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizisinin sütunlarından 1'inci iki seviyeli bir faktörün atanması için uygundur. İncelenen 6 faktör de 3 seviyeli olduğu için 1. sütun araştırmacı tarafından boş bırakılmıştır. Boş bırakılacak diğer sütunun ise 7. sütun olmasına karar verilmiş, A, B, C, D, E ve F faktörleri sırasıyla 2, 3, 4, 5, 6, 8 sütunlarına Tablo 3.2'de gösterildiği gibi atanmıştır. Sütunlardan 1 veya daha fazlasının kullanılmaması ortogonalliği bozmamaktadır (Fradley ve ark, 2006).

Tablo 3.2 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Faktörlerin $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Ortogonal Dizisine Atanması

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kombinasyon No		A	B	C	D	E		F
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Ortogonal dizideki 18 kombinasyon için yüzey hatası, kalınlık ve korunma oranı değerleri

Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'deki gibidir.

Tablo 3.3 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Yüzey Hatası Verileri

Kombinasyon No	Tekrar								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	1	0	1	2	0	0	1	1	0
2	1	2	8	180	5	0	126	3	1
3	3	35	106	360	38	135	315	50	180
4	6	15	6	17	20	16	15	40	18
5	1720	1980	2000	487	810	400	2020	360	13
6	125	360	1620	2430	207	2	2500	270	35
7	360	810	1215	1620	117	30	1800	720	315
8	270	2730	5000	360	1	2	9999	225	1
9	5000	1000	1000	3000	1000	1000	3000	2800	200
10	3	0	0	3	0	0	1	0	1
11	1	0	1	5	0	0	1	0	1
12	3	1620	90	216	5	4	270	8	3
13	1	25	270	810	16	1	225	3	0
14	3	21	162	90	6	1	63	15	39
15	450	1200	1800	2530	2080	2080	1890	180	25
16	5	6	40	54	0	8	14	1	1
17	1200	3500	3500	1000	3	1	9999	600	8
18	8000	2500	3500	5000	1000	1000	5000	2000	2000

Tablo 3.4 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Kalınlık Verileri

Kombinasyon No	Tekrar								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	2029	1975	1961	1975	1934	1907	1952	1941	1949
2	5375	5191	5242	5201	5254	5309	5323	5307	5091
3	5989	5894	5874	6152	5910	5886	6077	5943	5962
4	2118	2109	2099	2140	2125	2108	2149	2130	2111
5	4102	4152	4174	4556	4504	4560	5031	5040	5032
6	3022	2932	2913	2833	2837	2828	2934	2875	2841
7	3030	3042	3028	3486	3333	3389	3709	3671	3687
8	4707	4472	4336	4407	4156	4094	5073	4898	4599
9	3859	3822	3850	3871	3922	3904	4110	4067	4110
10	3227	3205	3242	3468	3450	3420	3599	3591	3535
11	2521	2499	2499	2576	2537	2512	2551	2552	2570
12	5921	5766	5844	5780	5695	5814	5691	5777	5743
13	2792	2752	2716	2684	2635	2606	2765	2786	2773
14	2863	2835	2859	2829	2864	2839	2891	2844	2841
15	3218	3149	3124	3261	3205	3223	3241	3189	3197
16	3020	3008	3016	3072	3151	3139	3235	3162	3140
17	4277	4150	3992	3888	3681	3572	4593	4298	4219
18	3125	3119	3127	3567	3563	3520	4120	4088	4138

Tablo 3.5 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Korunma Oranı Verisi

Kombinasyon No	Korunma Oranı
1	14,5
2	36,6
3	41,4
4	36,1
5	73,0
6	49,5
7	76,6
8	105,4
9	115,0
10	24,8
11	20,0
12	39,0
13	53,1
14	45,7
15	54,8
16	76,8
17	105,3
18	91,4

Polisilikon koruma geliştirme çalışmasında Phadke (1989) kalite karakteristiklerini tek tek geleneksel Taguchi metoduyla ele almış, bunun sonucunda A, B ve C faktörlerinin 1. seviyesi yüzey hatası ve kalınlık S/G oranının en yüksek, korunma oranı S/G oranının en düşük çıktığı seviye olarak bulunmuştur. Benzer şekilde D faktörünün 1. seviyesinin yüzey hatasının S/G oranını yükselttiği, korunma oranının S/G oranını azalttığı görülmüştür. S/G oranlarıyla gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda ise E faktörünün kalınlık ve korunma oranı üzerindeki etkisi, F faktörünün yüzey hatası ve korunma oranı üzerindeki etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). A, B, C ve D faktörlerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkilerinde çelişkiler olması sebebiyle optimum kombinasyonunu belirlemek için süreç hakkında bilgi sahibi mühendislere başvurulmuş fikir alışverişi sonunda optimum faktörün

$A_1B_2C_1D_3E_2F_2$ olmasına karar verilmiştir. Kombinasyonun doğrulama deneyi sonucunda başarısız olmamasıyla belirlenen kombinasyonda değişikliğe gidilmemiştir.

MRSN yaklaşımında yüzey hatası, kalınlık ve korunma oranı için kayıp katsayıları sırasıyla k_1 , k_2 ve k_3 olursa 1. kombinasyonun kalite kaybı yüzey hatası için,

$$L_{11} = k_1 \cdot \frac{1}{9} (1^2 + 0^2 + 1^2 + 2^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 1^2 + 0^2) = k_1 \cdot 0,8888$$

kalınlık için,

$$\bar{y} = \frac{1}{9} (2029 + 1975 + 1961 + 1975 + 1934 + 1907 + 1952 + 1941 + 1949) = 1958,1$$

$$s^2 = \frac{1}{8} [(2029 - 1958,1)^2 + \dots + (1949 - 1958,1)^2] = 1151,36$$

$$L_{21} = k_2 \cdot \left(\frac{s^2}{\bar{y}^2} \right) = k_2 \cdot \left(\frac{1151,36}{1958,1^2} \right) = k_2 \cdot 0,00030029$$

korunma oranı için,

$$L_{31} = k_3 \left(\frac{1}{14,5^2} \right) = k_3 \cdot 0,004756242$$

şeklinde bulunur. Diğer kombinasyonlara ait kalite kayıpları Tablo 3.6'da verilmektedir.

Tablo 3.6 : Yüzey Hatası, Kalınlık ve Korunma Oranına Ait Tüm Kombinasyonların Kalite Kayıpları

Kombinasyon No	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı
1	k ₁ .0,88888	k ₂ .0,00030029	k₃.0,004756242*
2	k ₁ .5375,555	k ₂ .0,00026582	k ₃ .0,0007465137
3	k ₁ .32873,7777	k ₂ .0,00025	k ₃ .0,00058344418
4	k ₁ .376,7777	k ₂ .0,00005968	k ₃ .0,00076733603
5	k ₁ .1793582	k ₂ .0,007187043	k ₃ .0,00018765246
6	k ₁ .1671278,111	k ₂ .0,0005113	k ₃ .0,00040812162
7	k ₁ .973171	k ₂ .0,007255089	k ₃ .0,0001704285
8	k ₁ .14742892,444	k ₂ .0,0051992	k ₃ .0,0000900158
9	k ₁ .6097777,777	k ₂ .0,0008714385	k ₃ .0,0000756143
10	k ₁ .2,222222	k ₂ .0,002064769	k ₃ .0,0016259105
11	k ₁ .3,2222222	k ₂ .0,000131694	k ₃ .0,0025
12	k ₁ .305797,6666	k ₂ .0,000156479	k ₃ .0,00065746219
13	k ₁ .86724,11111	k ₂ .0,000620918	k ₃ .0,0003546589
14	k ₁ .4505,11111	k ₂ .0,0000462063	k ₃ .0,0004788148
15	k ₁ .2615702,7777	k ₂ .0,0001803512	k ₃ .0,0003329958
16	k ₁ .537,6666	k ₂ .0,0006521188	k ₃ .0,0001695421
17	k ₁ .14142230,5555	k ₂ .0,006289631	k ₃ .0,00009018685
18	k₁.15833333,333*	k₂.0,014375719*	k ₃ .0,0001197037

* Kalite karakteristiğinin en büyük kayba yol açan kombinasyonu

Tablo 3.6’da gösterilen kayıplar (3.1) kullanılarak 3 kalite karakteristiği için normalize edilir. Normalize edilmiş kalite kayıpları Tablo 3.7’de gösterilmektedir.

Tablo 3.7 : Yüzey Hatası, Kalınlık ve Korunma Oranına Ait Normalize Edilmiş Kalite Kayıpları

	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı
Kombinasyon No	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}
1	5,61404E-08	0,020888502	1
2	0,000339509	0,018491377	0,156954522
3	0,002076239	0,017390874	0,12266914
4	2,37965E-05	0,004151771	0,161332402
5	0,113278863	0,499943219	0,039453931
6	0,105554407	0,035568639	0,085807571
7	0,061463432	0,504676592	0,035832612
8	0,931130049	0,361669942	0,018925823
9	0,385122807	0,06061878	0,015897921
10	1,40351E-07	0,143628973	0,341847685
11	2,03509E-07	0,009160872	0,525625
12	0,019313537	0,010884993	0,138231427
13	0,005477312	0,043192174	0,07456705
14	0,000284533	0,003214192	0,10067082
15	0,165202281	0,012545544	0,070012387
16	3,39579E-05	0,04536252	0,035646227
17	0,893193509	0,437517647	0,018961787
18	1	1	0,025167705

Çalışmadaki 3 kalite karakteristiğinin de aynı öneme sahip olduğu varsayılırsa kalite karakteristiklerinin her birinin ağırlığı 1 olacaktır. Bu durumda toplam normalize edilmiş kalite kaybı birinci kombinasyon için (3.2) kullanılarak,

$$TNQL_1 = 1 * 5,61404E^{-08} + 1 * 0,020888502 + 1 * 1 = 1,02088856$$

şeklinde bulunur. Diğer kombinasyonlara ait TNQL değerleri Tablo 3.8’de verilmektedir.

Tablo 3.8 : Polisilikon Koruma Sürecinde Toplam Normalize Edilmiş Kalite Kaybı (TNQL) Değerleri

Kombinasyon No	TNQL
1	1,02088856
2	0,17578541
3	0,14213625
4	0,16550797
5	0,65267601
6	0,22693062
7	0,60197264
8	1,31172581
9	0,46163951
10	0,4854768
11	0,53478608
12	0,16842996
13	0,12323654
14	0,10416955
15	0,24776021
16	0,0810427
17	1,34967294
18	2,0251677

Tablo 3.8’de verilen TNQL değerleri (3.3) kullanılarak MRSN oranına dönüştürülür. Tüm kombinasyonlara ait MRSN oranları ve kalınlık ortalamaları Tablo 3.9’da verilmektedir.

Tablo 3.9 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecinde Çoklu Kalite Karakteristik Sinyal Gürültü Oranları (MRSN) ve Kalınlık Ortalaması

Kombinasyon No	Faktörler						MRSN	Kalınlık Ortalaması
	A	B	C	D	E	F		
1	1	1	1	1	1	1	-0,089783	1958,11
2	1	2	2	2	2	2	7,550172	5254,78
3	1	3	3	3	3	3	8,472951	5965,22
4	2	1	1	2	2	3	7,811811	2121,00
5	2	2	2	3	3	1	1,853023	4572,33
6	2	3	3	1	1	2	6,441069	2890,56
7	3	1	2	1	3	3	2,204233	3375,00
8	3	2	3	2	1	1	-1,178431	4526,89
9	3	3	1	3	2	2	3,35697	3946,11
10	1	1	3	3	2	1	3,138315	3415,22
11	1	2	1	1	3	2	2,718199	2535,22
12	1	3	2	2	1	3	7,735807	5781,22
13	2	1	2	3	1	2	9,092605	2723,22
14	2	2	3	1	2	3	9,822592	2851,67
15	2	3	1	2	3	1	6,059684	3200,78
16	3	1	3	2	3	2	10,91286	3104,78
17	3	2	1	3	1	3	-1,302285	4074,44
18	3	3	2	1	2	1	-3,06461	3596,33

Faktörlerin MRSN üzerindeki ana etkileri Tablo 3.10’da verilmektedir. Tablo 3.10 dikkate alınarak çizilen MRSN üzerindeki ana etki grafiği ise Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

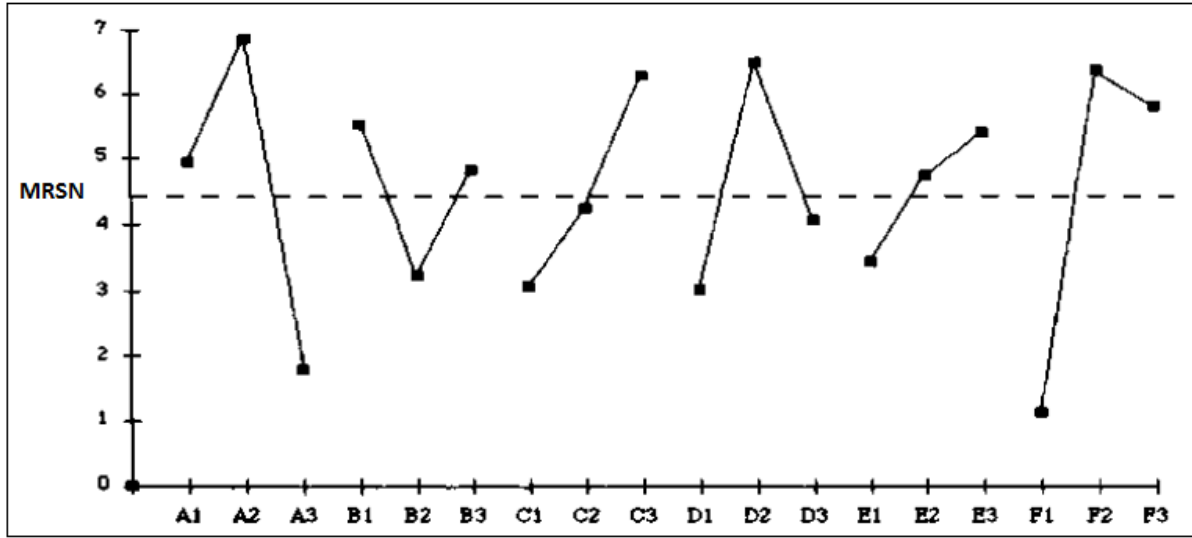
Tablo 3.10 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Gösterimi

Seviyeler	Faktörler					
	A	B	C	D	E	F
1	4,920943	5,511674*	3,092433	3,005283	3,44983	1,1197
2	6,846798*	3,243878	4,228538	6,481984*	4,769208	6,678646*
3	1,821456	4,833645	6,268226*	4,10193	5,370159*	5,790851

* MRSN oranının en yüksek olduğu seviye

Çalışmada “hedef değer en iyi” tipinde bir kalite karakteristiği (kalınlık) vardır. Bu durumda faktörlerin MRSN oranı ve kalınlık ortalaması üzerindeki etkisinin varyans analizi ile incelenip düzeltme faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Düzeltme faktörlerini bulabilmek için MRSN ve kalınlık ortalaması için varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 3.11

ve Tablo 3.12 de verilmiştir. Tablo 3.11 ve Tablo 3.12 görüldüğü gibi B, C ve D faktörlerinin MRSN üzerindeki ana etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmazken ($p>0.05$)



Şekil 3.2: Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkilerinin Grafiks gösterimi

kalınlık ortalaması üzerindeki ana etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p\leq 0,05$). Bu üç faktörün kalınlık ortalamasını 3600 Å'ya yaklaştırmak için kullanılması uygundur. B, C ve D faktörlerinin hangi seviyesinin kalınlığı hedefe yaklaştırdığını görebilmek için faktörlerin kalınlık ortalamasına etkisinin incelenmesi gerekir. Faktörlerin kalınlık ortalaması üzerindeki ana etkileri Tablo 3.13'de verilmektedir.

Tablo 3.11 : Polisilikon Koruma Geliştirme Süreci MRSN Oranına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	P
A	77,140	2	38,570	7,686	,030
B	16,260	2	8,130	1,620	,287
C	31,073	2	15,537	3,096	,133
D	37,909	2	18,955	3,777	,100
E	11,579	2	5,790	1,154	,387
F	107,019	2	53,510	10,664	,016
Hata	25,090	5	5,018		
Genel Kareler Toplamı	306,071	17			

Tablo 3.12 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Kalınlık Ortalamasına Göre Oluşturulan Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	P
A	3682687,00	2	1841343,50	12,941	,011
B	7139424,33	2	3569712,17	25,089	,002
C	4802761,00	2	2401380,50	16,877	,006
D	5698681,00	2	2849340,50	20,026	,004
E	204910,33	2	102455,17	,720	,531
F	1269620,33	2	634810,17	4,462	,077
Hata	711420,00	5	142284,00		
Genel Kareler Toplamı	23509504,00	17			

Tablo 3.13 : Polisilikon Koruma Geliştirme Sürecindeki Faktörlerin Kalınlık Ortalaması Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Gösterimi

thick ort	Faktörler					
Seviyeler	A	B	C	D	E	F
1	4152	2783	2973	2868	3659*	3545*
2	3060	3969*	4217	3998*	3531	3409
3	3771*	4230	3792*	4116	3792	4028

* Kalınlık Ortalamasını Hedefe Yaklaştıran Seviye

Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- (i) A ve F faktörlerinin MRSN üzerindeki etkisi anlamlı bulunmuştur. Bu sebepten A ve F faktörlerinin MRSN oranının en yüksek bulunduğu seviyeleri optimum seçilecektir (A_2 ve F_2).
- (ii) B, C ve D faktörlerinin MRSN üzerindeki etkisi daha önce de belirtildiği gibi anlamlı bulunmamış, bu üç faktörün kalınlık ortalaması üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda B ve D faktörlerinin 2. seviyelerinin, C faktörünün ise 3. seviyesinin kalınlık ortalamasını 3600 Å'ya yaklaştırdığı, C ve D faktörlerinin kalınlık ortalamasını hedefe yaklaştıran seviyelerinin MRSN oranının en yüksek çıktığı seviyeler olduğu görülmüştür.

- (iii) E faktörünün etkisi, MRSN üzerinde de kalınlık ortalaması üzerinde de anlamlı bulunmamıştır. Ancak değişkenlik ön planda olduğu için E faktörünün MRSN oranını en yüksek çıkaran seviyesi optimum olmaktadır.

Bu sonuçlar dikkate alınarak optimal faktör kombinasyonu, 3 kalite karakteristiğinin de kalite bakımından aynı öneme sahip olduğu varsayımı altında $A_2B_2C_3D_2E_3F_2$ olarak bulunmaktadır. Tong, Su ve Wang (1997)'de düzeltme faktörleri dikkate alınmamış, en büyük MRSN oranına sahip faktör seviyesi optimum olarak seçilmiştir. Bu sebepten optimal koşul bütün kalite karakteristiklerinin kalite bakımından aynı öneme sahip olduğu varsayımı altında $A_2B_1C_3D_2E_3F_2$ olarak bulunmuştur.

3.2. Taguchi' nin Kalite Kaybının Yüzdesel Azalımına Dayalı Bir Yaklaşım

Wu (2002), S/G oranının maksimize edilmesine yönelik birçok yaklaşımın aksine çoklu kalite karakteristiğinin optimizasyonunda, Taguchi'nin kayıp fonksiyonundan türetilen kalite kaybının yüzdesel azalmasına bağlı genelleştirilmiş bir yaklaşım ileri sürmüştür.

Taguchi (2.13) nolu eşitlikte verilen ortalama karesel sapmayı (OKS) kullanarak ortalama kayıp fonksiyonunu,

$$L = k. (OKS) \quad \dots (3.6)$$

şeklinde tanımlamıştır. Bölüm 2.2'de "daha küçük daha iyi" ve "daha büyük daha iyi" tipindeki karakteristikler için (2.12) eşitliğinde tanımlanan S/G oranı, (3.6)'dan hareketle,

$$\eta = S/G = -10\log_{10} \left(\frac{k}{L} \right)^{10} \quad \dots (3.7)$$

veya kayıp fonksiyonu,

$$L = k. 10^{-\frac{\eta}{10}} \quad \dots (3.8)$$

şeklinde yazılabilir. Parametre tasarımından sonra bulunan kayıp (L'),

$$L' = k. 10^{-\frac{\eta'}{10}} \quad \dots (3.9)$$

şeklinde ifade edilir. (3.9) eşitliğindeki η' , L' kaybındaki S/G oranını gösterir. Bu durumda kalite kaybının azalma oranı (Percent Reduction Quality Loss=PRQL), $\delta = \eta' - \eta$ olmak üzere,

$$PRQL = \frac{L - L'}{L} * 100 = \left(1 - 10^{-\frac{\eta' - \eta}{10}}\right) * 100 = \left(1 - 10^{-\frac{\delta}{10}}\right) * 100 \quad \dots (3.10)$$

eşitliğiyle elde edilir (Wu, 2002).

(2.13) nolu eşitlikte “hedef değer en iyi” için tanımlanan OKS kullanılarak “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristik için karesel kayıp fonksiyonu,

$$L = k. \left(\frac{n-1}{n} s^2 + (\bar{y} - m)^2 \right) \quad \dots (3.11)$$

şeklinde ifade edilir. (2.14)'den örnek varyansı,

$$s^2 = \bar{y}^2 * 10^{-\frac{\eta}{10}} \quad \dots (3.12)$$

şeklinde yazılır. Böylece (3.11) kullanılarak “hedef değer en iyi” için karesel kayıp fonksiyonu,

$$L = k. \left(\frac{n-1}{n} \left(\bar{y}^2 * 10^{-\frac{\eta}{10}} \right) + (\bar{y} - m)^2 \right) \quad \dots (3.13)$$

şeklinde tekrar yazılabilir. Bu durumda “hedef değer en iyi” için kalite kaybının yüzdesel azalımı m hedef değeri, $\bar{y}_1$ başlangıç koşulunun ortalamasını, $\bar{y}_2$ parametre tasarımından sonra bulunan koşul ortalamasını göstermek üzere,

$$PRQL = \frac{L - L'}{L} * 100 = \left(1 - \frac{\left(10^{-\frac{n'}{10}} \left(\frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} \right)^2 + \frac{n}{n-1} \left(\frac{\bar{y}_2 - m}{\bar{y}_1} \right)^2 \right)}{\left(10^{-\frac{n}{10}} + \frac{n}{n-1} \left(\frac{\bar{y}_1 - m}{\bar{y}_1} \right)^2 \right)} \right) * 100 \quad \dots (3.14)$$

şeklinde tanımlanır. Başlangıç koşulunun ve parametre tasarımından sonra bulunan koşulun ortalama değerinin hedef değere eşit ($\bar{y}_1 = \bar{y}_2 = m$) olduğu durumda azalma oranı “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiği için (3.10) ile bulunur (Wu, 2002).

Bir ürünün $m_1, m_2, \dots, m_p$ hedef değerleri olan p adet kalite karakteristiğine sahip olduğu, bu p adet kalite karakteristiğinin de q adet kontrol faktöründen ($x_1, x_2, \dots, x_q$) etkilendiği varsayılın. Birden fazla kalite karakteristiğine sahip bu ürünün parametre tasarımı ile toplam kalite kaybının (Total Quality Loss=TQL) minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Başka bir deyişle,

$$L_{TQL}(x_1, x_2, \dots, x_q) = \sum_{i=1}^p L_i(x_1, x_2, \dots, x_q) \quad \dots (3.15)$$

minimize edilmek istenmektedir. S/G oranının ortalamasının tahmini ve “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiğin ortalamasının (Sample Mean=SM) tahmini sırası ile,

$$\hat{\mu}_{SG} = \bar{\mu}_{x_1SG} + \bar{\mu}_{x_2SG} + \dots + \bar{\mu}_{x_qSG} - (q - 1)\bar{T}_{SG} \quad \dots (3.16)$$

$$\hat{\mu}_{SM} = \bar{\mu}_{x_1SM} + \bar{\mu}_{x_2SM} + \dots + \bar{\mu}_{x_qSM} - (q - 1)\bar{T}_{SM} \quad \dots (3.17)$$

şeklinde bulunur. (3.16) ve (3.17)’de $\bar{T}$ genel ortalamayı göstermektedir.

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi faktör sayısı arttıkça denemedeki kombinasyon sayısı artmakta, bu durumun yarattığı sorun ortogonal dizinin kullanımıyla çözülmektedir. PRQL yaklaşımında, regresyon modeli oluşturularak sadece kullanılan ortogonal dizideki kombinasyonlar için değil denemedeki olası tüm kombinasyonlar için S/G oranı ve ortalama tahminlenir (sadece “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiklerin örnek ortalaması (SM)

için regresyon modeli oluşturulur). $\hat{\mu}_{SG}$ ve $\hat{\mu}_{SM}$, deneydeki gözlemler olarak düşünülür, S/G oranı ve SM için regresyon modelinin tahminlenmesinde kullanılır. Tahminlenecek regresyon modelinin nasıl kurulacağına faktörlerin seviye sayılarına ve faktörler arasında etkileşim olup olmadığına bakılarak karar verilir. Örnek olarak, her bir faktörün 3 seviyeye sahip olduğu ve faktörler arasında etkileşimin olmadığı durumda etkileşimsiz ikinci dereceden regresyon modeli S/G oranı için,

$$S/G(X_1, X_2, \dots, X_q) = a + a_1 X_1 + b_1 X_1^2 + a_2 X_2 + b_2 X_2^2 + \dots + a_q X_q + b_q X_q^2 \quad \dots (3.18)$$

örnek ortalaması (SM) için,

$$SM(X_1, X_2, \dots, X_q) = c + c_1 X_1 + d_1 X_1^2 + c_2 X_2 + d_2 X_2^2 + \dots + c_q X_q + d_q X_q^2 \quad \dots (3.19)$$

şeklinde oluşturulur. (3.18)'de a sabit regresyon katsayısını, a_j ve b_j sırasıyla j. faktörün birinci ve ikinci derece regresyon katsayılarını, (3.19)'de c sabit regresyon katsayısını, c_j ve d_j ise sırasıyla j. faktörün birinci ve ikinci derece regresyon katsayılarını, ifade etmektedir ($j=1, 2, \dots, q$). (3.18) modeli $\hat{\mu}_{SG}$, (3.19) modeli $\hat{\mu}_{SM}$ kullanılarak tahminlenir ve olası tüm faktör kombinasyonlarının S/G ve SM'lerini bulmak için kullanılır.

PRQL yaklaşımında amaç, toplam kalite kaybının (Total Quality Loss=TQL) minimize edilmesiyle kalite kaybı azalma oranını maksimize etmektir. Başka bir deyişle maksimize edilmek istenen fonksiyon,

$$PRQL_{TQL}(x_1, x_2, \dots, x_q) = \sum_{i=1}^p k_i * 10^{-\frac{\eta_i}{10}} * PRQL_i \quad \dots (3.20)$$

gibidir. Eğer tasarımcı bazı kalite karakteristikleri için kaybın artmasını istemiyorsa, bu amaca ulaşmak için belirli kısıtlamayı modele dahil edebilir. Öyle ki,

$$SG_i(x_1, x_2, \dots, x_p) \geq \tau_i \quad \dots (3.21)$$

kısıtlaması ele alınabilir.

Wu (2002) tarafından önerilen PRQL yaklaşımına göre çoklu kalite karakteristikli sürecin parametre tasarımı aşağıda belirtilen adımlardan oluşur;

Adım 1: Her bir kalite karakteristiğinin S/G oranı ve “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiklerin SM’leri hesaplanır.

Adım 2: Her bir kalite karakteristiği için faktörlerin ana etkileri hesaplanır.

Adım 3: Her bir kombinasyon için ortalama S/G oranı, her bir “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiği için SM tahminlenir.

Adım 4: Her bir kalite karakteristiği için etkileşim içermeyen S/G çoklu regresyon modeli ile “hedef değer en iyi” kalite karakteristikleri için SM çoklu regresyon modeli tahminlenir.

Adım 5: Olası tüm faktör/seviye kombinasyonlarının S/G oranı ve “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiklerinin ortalaması dördüncü adımda tahminlenen regresyon modeli ile hesaplanır. Başlangıç koşulu için S/G oranı ve SM değeri hesaplanır.

Adım 6: Çoklu kalite karakteristikli PRQL’in matematiksel programlama problemi (3.24) fonksiyonuyla oluşturulur. $PRQL_{TQL}$ olası tüm kombinasyonlar için adım 5’de hesaplanan S/G oranları ve SM’ler kullanılarak hesaplanır. $PRQL_{TQL}$ ’in en büyük çıktığı kombinasyon optimum olarak seçilir.

Wu (2002) tarafından önerilen bu adımlar Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de verilen Polisilikon korunma süreci verileri üzerinde uygulanmış, sonuçların elde edilmesinde SPSS 18 ve Excell 2007 programı kullanılmıştır.

Birinci adımda, tüm kalite karakteristikler için S/G oranları, kalınlık için örnek ortalaması (SM) hesaplanmıştır. Hesaplanan S/G oranları ve örnek ortalaması Tablo 3.14’de verilmektedir.

Tablo 3.14: Polisilikon Koruma Sürecindeki Kombinasyonlara Ait S/G Oranı ve Kalınlık Ortalaması

Kombinasyon No	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası S/G Oranı	Kalınlık S/G Oranı	Kalınlık Ortalaması	Korunma Oranı S/G Oranı
1	1	1	1	1	1	1	0,51	35,22	1958,11	23,23
2	1	2	2	2	2	2	-37,30	35,76	5254,78	31,27
3	1	3	3	3	3	3	-45,17	36,02	5965,22	32,34
4	2	1	1	2	2	3	-25,76	42,25	2121,00	31,15
5	2	2	2	3	3	1	-62,54	21,43	4572,33	37,27
6	2	3	3	1	1	2	-62,23	32,91	2890,56	33,89
7	3	1	2	1	3	3	-59,88	21,39	3375,00	37,68
8	3	2	3	2	1	1	-71,69	22,84	4526,89	40,46
9	3	3	1	3	2	2	-68,15	30,60	3946,11	41,21
10	1	1	3	3	2	1	-3,47	26,85	3415,22	27,89
11	1	2	1	1	3	2	-5,08	38,80	2535,22	26,02
12	1	3	2	2	1	3	-54,85	38,06	5781,22	31,82
13	2	1	2	3	1	2	-49,38	32,07	2723,22	34,50
14	2	2	3	1	2	3	-36,54	43,34	2851,67	33,20
15	2	3	1	2	3	1	-64,18	37,44	3200,78	34,76
16	3	1	3	2	3	2	-27,31	31,86	3104,78	37,71
17	3	2	1	3	1	3	-71,51	22,01	4074,44	40,45
18	3	3	2	1	2	1	-72,00	18,42	3596,33	39,22

İkinci adımda faktörlerin, tüm kalite karakteristikleri için hesaplanan S/G oranları ve kalınlık ortalaması üzerindeki etkileri bulunmuştur. S/G oranları üzerindeki faktör etkileri Tablo 3.15’de, kalınlık ortalaması üzerindeki faktör etkileri ise Tablo 3.13’de verilmektedir.

Tablo 3.15: Polisilikon Koruma Gelistirme Sürecinde S/G Oranı Üzerindeki Faktör Etkileri

	Yüzey Hatası					
Seviye	A	B	C	D	E	F
1	-24,23	-27,55	-38,98	-39,2	-51,52	-45,56
2	-50,1	-47,44	-55,99	-46,85	-40,49	-41,53
3	-61,7	-61,05	-41,07	-49,99	-44,03	-48,95
	Kalınlık					
Seviye	A	B	C	D	E	F
1	35,12	31,61	34,39	31,68	30,52	27,04
2	34,91	30,7	27,86	34,7	32,87	33,67
3	24,52	32,24	32,3	28,16	31,16	33,85
	Korunma Oranı					
Seviye	A	B	C	D	E	F
1	28,76	32,03	32,8	32,21	34,06	33,81
2	34,13	34,78	35,29	34,53	33,99	34,1
3	39,46	35,54	34,25	35,61	34,3	34,44

Üçüncü adımda (3.16) kullanılarak tüm kalite karakteristiklerinin ortalama S/G oranları, (3.17) kullanılarak kalınlığın örnek ortalaması tahmin edilmiştir. 1. kombinasyonun ortalama S/G oranı tahmini yüzey hatası için,

$$\hat{\mu}_{SG(A_1B_1C_1D_1E_1F_1)} = -24,23 - 27,55 - 38,98 - 39,2 - 51,52 - 45,56 - 5(-45,3628) \\ = -0,2261$$

kalınlık için,

$$\hat{\mu}_{SG(A_1B_1C_1D_1E_1F_1)} = 35,12 + 31,61 + 34,39 + 31,68 + 30,52 + 27,04 - 5(31,515) \\ = 32,785$$

korunma oranı için,

$$\hat{\mu}_{SG(A_1B_1C_1D_1E_1F_1)} = 28,76 + 32,03 + 32,8 + 32,21 + 34,06 + 33,81 - 5(34,115) \\ = 23,095$$

şeklinde bulunmuştur. 1. kombinasyonun kalınlık ortalamasının tahmini ise Tablo 3.13 dikkate alınarak,

$$\hat{\mu}_{SM(A_1B_1C_1D_1E_1F_1)} = 4152 + 2783 + 2973 + 2868 + 3659 + 3545 - 5(3660,67) \\ = 1676,66$$

şeklinde bulunmuştur. Tüm kombinasyonlar için bulunan tahminler Tablo 3.16'da verilmektedir.

Tablo 3.16: Polisilikon Koruma Sürecindeki Kalite Karakteristik S/G Oranı ve Kalınlık Ortalaması Tahminleri

Kombinasyon No	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası S/G Oranı	Kalınlık S/G Oranı	Kalınlık Ortalama	Korunma Oranı S/G
1	1	1	1	1	1	1	-0,2261	32,785	1676,66	23,095
2	1	2	2	2	2	2	-29,7161	37,345	4972,66	30,875
3	1	3	3	3	3	3	-42,5061	35,255	5806,66	32,325
4	2	1	1	2	2	3	-26,1061	44,755	2069,66	31,345
5	2	2	2	3	3	1	-66,2961	22,255	4395,66	37,345
6	2	3	3	1	1	2	-57,6561	37,745	2714,66	33,715
7	3	1	2	1	3	3	-50,6061	23,105	3155,66	37,155
8	3	2	3	2	1	1	-67,3261	22,205	4430,66	40,315
9	3	3	1	3	2	2	-66,9261	28,275	3726,66	40,925
10	1	1	3	3	2	1	-2,0761	29,525	3615,66	27,875
11	1	2	1	1	3	2	-8,5961	39,145	2859,66	26,375
12	1	3	2	2	1	3	-61,7761	36,715	5980,66	32,045
13	2	1	2	3	1	2	-49,8661	29,155	2940,66	34,645
14	2	2	3	1	2	3	-40,4361	38,735	2944,66	33,225
15	2	3	1	2	3	1	-59,7561	36,865	3294,66	34,535
16	3	1	3	2	3	2	-35,9161	30,385	3241,66	38,095
17	3	2	1	3	1	3	-71,7661	24,565	4212,66	40,575
18	3	3	2	1	2	1	-77,1761	18,635	3858,66	39,725

Dördüncü adımda Tablo 3.16'da verilen tahminler gözlemler olarak düşünülmüş ve faktörler üç seviyeli olduğundan etkileşimsiz ikinci dereceden çoklu regresyon modeli yüzey hatasının (YH) S/G oranı için,

$$SG_{YH(A,B,C,D,E,F)} = 86,104 - 47,275A + 7,135A^2 - 29,31B + 3,14B^2 - 64,905C + 15,965C^2 - 14,415D + 2,255D^2 + 32,885E - 7,285E^2 + 21,205F - 5,725F^2$$

kalınlığın S/G oranı için,

$$SG_{Kalınlık(A,B,C,D,E,F)} = 11,605 + 15,06A - 5,09A^2 - 4,585B + 1,225B^2 - 22,985C + 5,485C^2 + 17,36D - 4,78D^2 + 8,44E - 2,03E^2 + 16,305F - 3,225F^2$$

kalınlık ortalaması için,

$$SM_{Kalınlık(A,B,C,D,E,F)} = -1186,33 - 3796,5A + 901,5A^2 + 2573,5B - 462,5B^2 + 3747,5C - 834,5C^2 + 2648D - 506D^2 - 711,5E + 194,5E^2 - 1268,5F + 377,5F^2$$

korunma oranının (KO) S/G oranı için,

$$SG_{KO(A,B,C,D,E,F)} = 3,575 + 5,43A - 0,02A^2 + 5,735B - 0,995B^2 + 7,785C - 1,765C^2 + 4,18D - 0,62D^2 - 0,64E + 0,19E^2 + 0,215F + 0,023F^2$$

şeklinde tahminlenmiştir.

Beşinci adımda başlangıç koşulunun S/G oranları ve kalınlık ortalaması dördüncü adımda tahminlenen regresyon modelleri ile elde edilecektir. Phadke (1989)'de, polisilikon geliştirme çalışmasının parametre tasarımıdan önce başlangıç koşulunun $A_2B_2C_1D_3E_1F_1$ olarak belirlendiği ifade edilmiştir. Bu durumda başlangıç koşulunda yüzey hatasının S/G oranı,

$$SG_{YH(A_2,B_2,C_1,D_3,E_1,F_1)} = 86,104 - 47,275(2) + 7,135(2^2) - 29,31(2) + 3,14(2^2) - 64,905(1) + 15,965(1)^2 - 14,415(3) + 2,255(3)^2 + 32,885(1) - 7,285(1)^2 + 21,205(1) - 5,725(1)^2 = -56,776$$

kalınlığın S/G oranı,

$$SG_{\text{Kalınlık}(A_2,B_2,C_1,D_3,E_1,F_1)} = 11,605 + 15,06(2) - 5,09(2^2) - 4,585(2) + 1,225(2^2) - 22,985(1) + 5,485(1^2) + 17,36(3) - 4,78(3^2) + 8,44(1) - 2,03(1^2) + 16,305(1) - 3,225(1^2) = 28,145$$

kalınlık ortalaması,

$$SM_{\text{Kalınlık}(A_2,B_2,C_1,D_3,E_1,F_1)} = -1186,33 - 3796,5(2) + 901,5(2^2) + 2573,5(2) - 462,5(2^2) + 3747,5(1) - 834,5(1^2) + 2648(3) - 506(3^2) - 711,5(1) + 194,5(1^2) - 1268,5(1) + 377,5(1^2) = 3018,66$$

korunma oranı S/G oranı,

$$SG_{KO(A_2,B_2,C_1,D_3,E_1,F_1)} = 3,575 + 5,43(2) - 0,02(2^2) + 5,735(2) - 0,995(2^2) + 7,785(1) - 1,765(1^2) + 4,18(3) - 0,62(3^2) - 0,64(1) + 0,19(1^2) + 0,215(1) + 0,023(1^2) = 34,613$$

şeklinde bulunacaktır.

Altıncı adımda olası tüm faktör kombinasyonları için S/G oranları ve kalınlık ortalamaları beşinci adımda başlangıç koşulundaki S/G oranı ve kalınlık ortalamalarının bulunduğu gibi hesaplanmıştır. Ardından çoklu kalite karakteristikli PRQL'in matematiksel programlama modeli (3.20) kullanılarak,

$$\begin{aligned} PRQL_{TQL1(A,B,C,D,E,F)} = & k_1 \left(10^{-\frac{\eta_{YH}}{10}} \right) \left(1 - 10^{-\frac{SG_{YH(A,B,C,D,E,F)} - (-56,776)}{10}} \right) \\ & + k_2 \left(10^{-\frac{\eta_{\text{Kalınlık}}}{10}} \right) \left(1 - \frac{\left(\frac{SM_{\text{Kalınlık}(A,B,C,D,E,F)}}{3018,66} \right)^2 + \frac{9 \left(\frac{SM_{\text{Kalınlık}(A,B,C,D,E,F)} - 3600}{3018,66} \right)^2}{10^{-\frac{28,145}{10}} + \frac{9 \left(\frac{3018,66 - 3600}{3018,66} \right)^2}{8}} \right) \\ & + k_3 \left(10^{-\frac{\eta_{KO}}{10}} \right) \left(1 - 10^{-\frac{SG_{KO(A,B,C,D,E,F)} - (34,613)}{10}} \right) \end{aligned}$$

ve,

$$PRQL_{TQL2}(A,B,C,D,E,F) =$$

$$k_1 \left(10^{-\frac{\eta_{YH}}{10}} \right) \left(1 - 10^{-\frac{SG_{YH}(A,B,C,D,E,F) - (-56,776)}{10}} \right) +$$

$$k_2 \left(10^{-\frac{\eta_{Kalinlik}}{10}} \right) \left(1 - 10^{-\frac{SG_{Kalinlik}(A,B,C,D,E,F) - (-28,145)}{10}} \right) +$$

$$k_3 \left(10^{-\frac{\eta_{KO}}{10}} \right) \left(1 - 10^{-\frac{SG_{KO}(A,B,C,D,E,F) - (34,613)}{10}} \right)$$

olmak üzere 2 şekilde oluşturulmuştur. 1. matematiksel modelde “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiğinin (kalınlık) PRQL’ini hesaplamak için 1. matematiksel modelde (3.14), 2. matematiksel modelde ise (3.10) kullanılmıştır. Wu (2002)’da üç kalite karakteristiğinin de kalite bakımından aynı öneme sahip olduğu varsayılmakta ve,

$$k_1 \left(10^{-\frac{\eta_{YH}}{10}} \right) = k_2 \left(10^{-\frac{\eta_{Kalinlik}}{10}} \right) = k_3 \left(10^{-\frac{\eta_{KO}}{10}} \right) = k \quad \dots (3.22)$$

olarak kabul edilmektedir.

Olası tüm faktör kombinasyonları için $PRQL_{TQL}$ (3.22) varsayımı altında iki matematiksel problem için de hesaplanmıştır ve iki modelin kullanımıyla da optimal kombinasyon $A_3B_1C_3D_2E_2F_3$ olarak bulunmuştur. Optimum bulunan kombinasyona ait kalite kaybı azalma oranları Tablo 3.22 ve 3.23’de, tüm kombinasyonlar için hesaplanan S/G oranları, kalınlık ortalamaları ve bu kombinasyonlara ait PRQL ve $PRQL_{TQL}$ değerleri Ek Tablo 1’de verilmektedir.

3.3. Faktör Seviyelerine İlişkin S/G Oranlarının Ağırlıklandırılmasına Dayalı Bir Yaklaşım

Refaie ve ark (2010), çoklu kalite karakteristiğinin optimizasyonuna faktör seviyelerine ilişkin S/G oranlarının ağırlıklandırılmasına dayalı bir yaklaşım önermiştir.

Optimize edilmek istenen p adet kalite karakteristiğinin olduğu bir durumda, önerilen yaklaşımla ilk olarak tüm kalite karakteristikleri Bölüm 2.2’de tanımlanan S/G oranına dönüştürülür. η_i , i. kalite karakteristiğine ait S/G oranı olarak ifade edilsin ($i=1,2,...,p$). Kalite karakteristiklerine etkisi olduğu düşünülen $s_1, s_2,...,s_k$ seviyeli k adet faktörün bulunduğu bir çalışmada, η_{iks} k. faktörün s. seviyesine karşılık gelen η_i oranlarının toplamını, $\bar{\eta}_{iks}$ ise η_{iks} ’nin k. faktörün s. seviyesinin tekrarına bölünmesiyle bulunan ortalamayı göstermektedir. Örnek olarak η_{111} ’i bulmak için 1. kalite karakteristiğinin, tüm kombinasyonlar için elde edilen S/G oranlarından hangilerinin 1. faktörün 1. seviyesi ile bulunduğu belirlenir ve bu S/G oranları toplanır. Bu toplam 1. faktörün 1. seviyesinin tekrar sayısına bölündüğünde ise $\bar{\eta}_{111}$ bulunur. $\bar{\eta}_{iks}$ aynı şekilde, Tablo 3.17’de görüldüğü gibi tüm faktör seviyeleri için hesaplanır ve,

$$w_{iks} = \begin{cases} \frac{\text{maksimum}_s \bar{\eta}_{ik}}{\bar{\eta}_{iks}}, & \text{daha küçük daha iyi} \\ \frac{\bar{\eta}_{iks}}{\text{maksimum}_s \bar{\eta}_{ik}}, & \text{hedef değer en iyi ve daha büyük daha iyi} \end{cases} \quad \dots (3.23)$$

şeklinde ağırlıklandırılır. (3.23)’de $\text{maksimum}_s \bar{\eta}_{ik}$ i. karakteristiğin k. faktörünün en büyük S/G ortalamasına sahip seviyesini göstermektedir. w_{iks} k. faktörün s. seviyesinin ağırlık değeridir ve Tablo 3.18’de gösterildiği gibi bütün kalite karakteristikleri için hesaplanmaktadır.

Tablo 3.17: Tüm Karakteristiklerin Faktör/Seviye S/G Oranı Ortalamaları

		Faktörler			
	Seviyeler	1. Faktör	2. Faktör	.....	k. Faktör
1. Karakteristik	1	$\bar{\eta}_{111}$	$\bar{\eta}_{121}$	.....	$\bar{\eta}_{1k1}$
	2	$\bar{\eta}_{112}$	$\bar{\eta}_{122}$	.....	$\bar{\eta}_{1k2}$
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	$\bar{\eta}_{11s_1}$	$\bar{\eta}_{12s_2}$	.....	$\bar{\eta}_{1ks_k}$
2. Karakteristik	1	$\bar{\eta}_{211}$	$\bar{\eta}_{221}$	.....	$\bar{\eta}_{2k1}$
	2	$\bar{\eta}_{212}$	$\bar{\eta}_{222}$	.....	$\bar{\eta}_{2k2}$
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	$\bar{\eta}_{21s_1}$	$\bar{\eta}_{22s_2}$	.....	$\bar{\eta}_{2ks_k}$
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
p. Karakteristik	1	$\bar{\eta}_{p11}$	$\bar{\eta}_{p21}$	.....	$\bar{\eta}_{pk1}$
	2	$\bar{\eta}_{p12}$	$\bar{\eta}_{p22}$	.....	$\bar{\eta}_{pk2}$
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	$\bar{\eta}_{p1s_1}$	$\bar{\eta}_{p2s_2}$	.....	$\bar{\eta}_{pks_k}$

Tablo 3.18: Tüm Karakteristiklerin Faktör/Seviye Ağırlıklandırmaları

		Faktörler			
	Seviyeler	1.Faktör	2. Faktör	.....	k.Faktör
1. Karakteristik	1	w_{111}	w_{121}	.....	w_{1k1}
	2	w_{112}	w_{122}	.....	w_{1k2}
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	w_{11s_1}	w_{12s_2}	.....	w_{1ks_k}
2. Karakteristik	1	w_{211}	w_{221}	.....	w_{2k1}
	2	w_{212}	w_{222}	.....	w_{2k2}
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	w_{21s_1}	w_{22s_2}	.....	w_{2ks_k}
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
p. Karakteristik	1	w_{p11}	w_{p21}	.....	w_{pk1}
	2	w_{p12}	w_{p22}	.....	w_{pk2}
	:	:	:		:
	:	:	:		:
	...	w_{p1s_1}	w_{p2s_2}	.....	w_{pks_k}

w_{iks} değerleri 0 ile 1 arasında tanımlıdır. k. faktörün s. seviyesinin ağırlıklarının ortalaması,

$$\bar{w}_{ks} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p w_{iks} \quad \dots (3.24)$$

şeklinde Tablo 3.19'daki gibi faktörlerin tüm seviyeleri için hesaplanır.

Tablo 3.19: k. Faktörün s. Seviyesinin Ağırlık Ortalaması

		Faktörler			
Seviyeler		1.Faktör	2. Faktör	.....	k.Faktör
1		$\bar{w}_{11}$	$\bar{w}_{21}$	.....	$\bar{w}_{k1}$
2		$\bar{w}_{12}$	$\bar{w}_{22}$	.....	$\bar{w}_{k2}$
:		:	:		:
:		:	:		:
:		$\bar{w}_{1s_1}$	$\bar{w}_{2s_2}$	.....	$\bar{w}_{ks_k}$

Faktörlerin en büyük ağırlık ortalamasına sahip seviyesi en iyi performansı gösteren seviyedir. Bu sebepten faktörlerin ağırlık ortalamasını maksimum yapan seviyesi optimum seviye olarak seçilmektedir.

Sayısal örnek olarak Refaie ve ark. (2010) tarafından önerilen yaklaşım, Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de verilen Polisilikon korunma süreci verileriyle ele alınmış gerekli hesaplamalar Excell 2007 yardımıyla yapılmıştır.

Yaklaşımın uygulamasının ilk adımında Tablo 3.15’deki ortalama S/G oranları ($\bar{\eta}_{iks}$) üç kalite karakteristiği için (3.23)’deki formül kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılmış $\bar{\eta}_{iks}$ ’ler Tablo 3.20’de verilmektedir.

Tablo 3.20: Polisilikon Koruma Sürcindeki Ağırlıklandırılmış Ortalama S/G Oranları

Kalite Karakteristikleri		Faktörler					
	Seviye	A	B	C	D	E	F
Yüzey Hatası	1	1	1	1	1	0,786726	0,912643
	2	0,483536	0,580734	0,697089	0,836713	1	1
	3	0,392325	0,451269	0,950329	0,783373	0,920736	0,849438
	Seviye	A	B	C	D	E	F
Kalınlık	1	1	0,980459	1	0,912968	0,928506	0,798818
	2	0,994021	0,952233	0,810119	1	1	0,994682
	3	0,698178	1	0,939227	0,811527	0,947977	1
	Seviye	A	B	C	D	E	F
Korunma Oranı	1	0,728839	0,901238	0,929442	0,904521	0,993003	0,981707
	2	0,864927	0,978616	1	0,969671	0,990962	0,990128
	3	1	1	0,97053	1	1	1

İkinci adımda faktörlerin seviyelerinin ağırlık ortalaması (3.24)’deki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlık ortalamaları Tablo 3.21’de gösterilmektedir.

Tablo 3.21: Polisilikon Koruma Süreci Faktörlerine İlişkin S/G Oranı Ağırlık Ortalamaları

Seviye	Faktörler					
	A	B	C	D	E	F
1	0,909613*	0,960566*	0,976481*	0,939163*	0,902745	0,897723
2	0,780828	0,837194	0,835736	0,935461	0,996987*	0,994937*
3	0,696834	0,81709	0,953362	0,864967	0,956238	0,949813

* En yüksek ağırlık ortalamasını göstermektedir

Faktörlerin en yüksek ağırlık ortalamasına sahip seviyeleri dikkate alınarak Tablo 3.20'den tespit edilmiş optimum kombinasyon $A_1B_1C_1D_1E_2F_2$ olarak belirlenmiştir.

3.4. Çoklu Kalite Karakteristiklerinin Optimizasyonunda Kullanılan Yaklaşımların Karşılaştırılması

Bu bölümde 3.1, 3.2 ve 3.3 bölümlerinde polisilikon korunma veri seti üzerinde uygulanan yaklaşımlar S/G oranlarına ve Wu (2002) tarafından önerilen kalite kaybının azalma oranına (PRQL) bakılarak karşılaştırılmıştır.

Tong, Su ve Wang (1997); Refaei ve ark. (2010) optimum kombinasyonu belirlerken S/G oranının maksimum yapılmasıyla ilgilenmişlerdir. Wu (2002) ise kalite kaybının yüzdesel azalımı yaklaşımının S/G oranlarının maksimize edildiği optimizasyon yöntemlerinden daha düşük kayba sebep olduğunu savunmuştur.

İncelenen yaklaşımlarla bulunan optimum kombinasyonların, 3.2 bölümünün 5. adımında tahmin edilen regresyon modelleri ile hesap edilen S/G oranları ve (3.10) kullanılarak hesap edilen PRQL'leri Tablo 3.22'de verilmektedir. Bu tabloda ayrıca Phadke'nin önerdiği ve MRSN yaklaşımında düzeltme faktörlerinin dikkate alındığında bulunan optimum kombinasyonlara ait bilgiler de bulunmaktadır. Tablo 3.22'de görüldüğü gibi Tong, Su ve Wang (1997) tarafından belirlenen optimum kombinasyon ile kalite kaybı başlangıç koşuluna göre ortalama 47,05% oranında azaltılmıştır. MRSN yaklaşımında düzeltme faktörleri dikkate

alınarak belirlenen optimum kombinasyon ile kalite kaybının azalma oranı ortalaması 68.78% olarak bulunmuştur. Phadke (1989); Refaie ve ark. (2010) tarafından öne sürülen yaklaşımlarla bulunan optimum kombinasyonlar başlangıç koşuluna göre kalite kaybını sırasıyla ortalama 13,29% ve 351,71% oranında arttırmıştır. Wu (2002) tarafından önerilen PRQL yaklaşımıyla bulunan optimum kombinasyonla ise kalite kaybı başlangıç koşuluna göre 71,54% azaltılmıştır. Bu sonuçlara göre, kalite kaybını azaltması bakımından en iyi faktör kombinasyonu Wu (2002) tarafından önerilen kombinasyon olarak gözükmektedir.

Kalınlık için kalite kaybı azalma oranı hesaplanırken (3.14) eşitliği kullanıldığında bulunan kalite kaybının azalma oranları Tablo 3.23'de gösterilmektedir. Tablo 3.23'den Phadke (1989); Tong, Su ve Wang (1997); Refaie ve Ark. (2010) tarafından önerilen kombinasyonların kalite kaybını sırasıyla ortalama 15,29%, 59,96% ve 805,47% arttırdığı, düzeltme faktörleri dikkate alınarak MRSN yaklaşımıyla bulunan faktör kombinasyonunun kalite kaybını ortalama 69,6% azalttığı görülmüştür. Kalınlık için (3.14) kullanıldığında da Wu (2002) tarafından önerilen kombinasyon ortalama 83,77% ile kalite kaybını en çok azaltan koşul olarak bulunmuştur.

Tablo 3.22'de, Tong, Su ve Wang (1997); Refaie ve ark. (2010) tarafından önerilen faktör kombinasyonlarının yüzey hatası için elde edilen S/G oranını çok yükseltirken korunma oranı için elde edilen S/G oranını azalttığı görülmektedir. S/G oranlarının gelişiminin ortalamaları dikkate alındığında, yüzey hatasının S/G oranındaki büyük gelişim sebebiyle, Refaie ve Ark. (2010); Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyonlar Wu (2002) tarafından önerilen kombinasyon ve düzeltme faktörleri dikkate alınarak bulunan kombinasyondan kaliteyi geliştirme bakımından daha iyi gibi gözükmektedir. Ancak Bölüm 3'de de belirtildiği

Tablo 3.22: Polisilikon Koruma Sürecindeki Kalite Karakteristiklerinin Farklı Yöntemlerle Bulunan S/G Oranları ve (3.10) Eşitliği Dikkate Alınarak Hesaplanan PRQL Değerleri

	Başlangıç Koşulu	Phadke			Tong,Su ve Wang			MRSN *			Refaie ve Ark			Wu		
	A2B2C1D3E1F1	A1B2C1D3E2F2			A2B1C3D2E3F2			A2B2C3D2E3F2			A1B1C1D1E2F2			A3B1C3D2E2F3		
Kalite Karakteristikleri	S/G Oranı	S/G Oranı	S/G Oranı Gelişme	PRQL	S/G Oranı	S/G Oranı Gelişme	PRQL	S/G Oranı	S/G Oranı Gelişme	PRQL	S/G Oranı	S/G Oranı Gelişme	PRQL	S/G Oranı	S/G Oranı Gelişme	PRQL
Yüzey Hatası	-56,776	-15,846	40,93	99,99%	-24,316	32,46	99,94%	-44,206	12,57	94,46%	14,83	71,61	99,99%	-39,796	16,98	97,99%
Kalınlık	28,145	37,335	9,19	87,94%	40,725	12,58	94,54%	39,865	11,72	93,27%	41,765	13,62	95,65%	32,275	4,13	61,36%
Korunma Oranı	34,613	29,457	-5,156	-227,79%	32,757	-1,856	-53,32%	35,507	0,894	18,60%	23,307	-11,31	-1250,82%	38,107	3,494	55,26%
Ortalama				-13,29%			47,05%			68,78%			-351,73%			71,54%

*Düzeltilme faktörleri dikkate alınarak uygulanan MRSN yaklaşımı

Tablo 3.23: Polisilikon Koruma Sürecinde Yüzey Hatası ve Korunma Oranı için (3.10), Kalınlık için (3.14) Eşitlikleriyle Bulunan PRQL Değerleri ve Ortalamaları

	Phadke A1B2C1D3E2F2	Tong,Su ve Wang MRSN A2B1C3D2E3F2	MRSN* A2B2C3D2E3F2	Refaie ve Ark A1B1C1D1E2F2	Wu A3B1C3D2E2F3
Kalite Karakteristikleri	PRQL	PRQL	PRQL	PRQL	PRQL
Yüzey Hatası	99,99%	99,94%	94,46%	99,99%	97,99%
Kalınlık	81,94%	-226,50%	95,75%	-1265,59%	98,05%
Korunma Oranı	-227,79%	-53,32%	18,60%	-1250,82%	55,26%
Ortalama	-15,29%	-59,96%	69,60%	-805,47%	83,77%

*Düzeltilme faktörleri dikkate alınarak uygulanan MRSN yaklaşımı

gibi çoklu kalite karakteristik problemini çözebilmek için ürün ve/veya süreç bütün halinde ele alınmalıdır. Kalite karakteristiklerinin bir tanesi geliştirilirken başka bir kalite karakteristiğinin kalitesi azaltılmamalıdır.

Polisilikon korunma geliştirme sürecinde kalite karakteristikleri eşzamanlı olarak optimize edilmeyip kalite karakteristikleri tek tek ele alındığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır;

1. Kalite kaybının azalma oranıyla yüzey hatası ve korunma oranı için optimum kombinasyonlar sırasıyla $A_1B_1C_1D_1E_2F_2$ ve $A_3B_3C_2D_3E_3F_3$, kalınlık için optimum kombinasyon (3.14) ve (3.10) eşitlikleri kullanılarak sırasıyla $A_1B_3C_1D_1E_1F_3$ ve $A_1B_3C_1D_2E_2F_3$ olarak bulunmuştur.
2. S/G oranlarını yüksek çıkaran seviyeler dikkate alındığında yüzey hatası, kalınlık ve korunma oranı için optimum kombinasyon sırasıyla $A_1B_1C_1D_1E_2F_2$, $A_1B_3C_1D_2E_2F_3$ ve $A_3B_3C_2D_3E_3F_3$ olarak bulunmuştur.

S/G oranını yüksek çıkaran seviyenin optimum seçildiği geleneksel Taguchi yaklaşımı ve (3.10) eşitliğiyle hesaplanan PRQL dikkate alınarak bulunan optimum kombinasyonlar üç kalite karakteristiği içinde aynıdır. Bu sebeple Wu (2002) optimum kombinasyonun belirlenmesinde $PRQL_{TQL2}$ 'nin kullanımını önermiş, optimizasyon yöntemlerini karşılaştırırken kalınlığın (3.10) eşitliğiyle bulunan PRQL'lerini kullanmıştır. PRQL hesaplanırken (3.14) eşitliği kullanıldığında ise kalınlık için geleneksel Taguchi yönteminin aksine D ve E faktörlerinin 2. seviyesi değil 1. seviyesi optimum bulunmuştur. Bu farklılığın sebebi (3.10) eşitliğinde kalınlık ortalamasının hedefe uzaklığı ihmal edilirken, (3.14) eşitliğinde ortalama ile hedef arasındaki farkın ihmal edilmemesidir.

BÖLÜM IV

4. TARTIŞMA

Taguchi yaklaşımı ürün ve/veya sürecin değişkenliğini, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin optimum kombinasyonlarını seçerek minimum yapmayı hedefler, bu hedefe ulaşırken her biri kesirli faktöriyel deneme olan, kullanımıyla deneme materyalinin az olduğu durumlarda da kalitenin geliştirilmesine olanak sağlayan özel ortogonal dizileri kullanır.

Taguchi yaklaşımı ürün ve/veya sürecin istenen özelliklerini ifade eden kalite karakteristiklerini tek tek ele almaktadır. Bu durum, bazı faktör kombinasyonlarının ürün ve/veya sürece ait bazı kalite karakteristiklerini istenen düzeye getirirken diğer kalite karakteristiklerini arzulanan değerden uzaklaştırması sebebiyle optimum kombinasyonun seçiminde ciddi çelişkilerin oluşmasına neden olur. Çoğu ürün ve/veya sürecin birden fazla kalite karakteristiğine sahip olması sebebiyle çoklu kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak ele alınması konusu son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak ele alınmasına yönelik geliştirilen yöntemler endüstriyel alanda yoğun bir şekilde ele alınmış ve kalite ile ilgili dergilerde yayınlanmıştır (Derringer ve Suich, 1980; Wu, 2005; Hsieh ve ark, 2005).

Çoklu kalite karakteristiklerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar Wu (2002); Tong, Su ve Wang (1997); Refaie ve ark. (2010) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda tanıtılan yöntemler Phadke (1989)'den alınan gerçek bir veri seti üzerinde uygulanmış bulunan optimum kombinasyonlar Phadke (1989) tarafından önerilen kombinasyonla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Wu (2002); Tong, Su ve Wang (1997); Refaie ve ark. (2010) tarafından önerilen yaklaşımlar üzerinde durulmuş, bu yöntemler Phadke (1989)'de verilen veri seti üzerinde uygulanmıştır. Sonuç olarak yukarıda bahsedilen çalışmalarda bulunan sonuçların aynıları elde edilmiş, çalışmalarda dikkate alınmayan bazı noktalara değinilmiş ve yöntemlerle elde edilen optimum kombinasyonlar arasındaki farklılıklar kalite kaybının azalma oranlarına bakılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda optimum kombinasyonlar belirlenirken izlenen yollar ve bu kombinasyonların karşılaştırılmasıyla ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Phadke (1989) polisilikon geliştirme sürecinde karakteristikleri tek tek S/G oranlarına göre ele almış, faktörlerin kalite karakteristikleri üzerinde etkili olup olmadıklarını incelemiştir. Bunun sonucunda birkaç faktörün bazı seviyelerinin yüzey hatası ve kalınlığın S/G oranını arttırdığı, korunma oranının S/G oranlarını azalttığı görülmüştür. Ortaya çıkan bu çelişkiler süreç üzerinde uzman mühendislerle sorulmuş, mühendislerle fikir alış verişi yapılarak süreç için optimum kombinasyon belirlenmiştir. Belirlenen kombinasyonun doğrulama deneyinde başarısız olmaması sonucu optimum olarak belirlenen kombinasyonda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Tong, Su ve Wang (1997) kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak ele alınması gerektiğini savunmuş, optimum kombinasyon belirlenirken kararın mühendislerle bırakılmaması gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada her bir kalite karakteristiğinin kalite kaybını göz önünde bulundurup, geliştirdiği çoklu kalite karakteristik S/G oranını maksimum yapan faktör seviyelerini optimum olarak seçmiştir. Bu yöntemle elde edilen optimum kombinasyon Phadke (1989) tarafından önerilen kombinasyonla karşılaştırıldığında, Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyonla kalınlığın S/G oranının daha iyi bir gelişim

gösterdiği, korunma oranı S/G oranındaki azalmanın daha az olduğu, yüzey hatasındaki gelişmenin Phadke (1989) tarafından önerilen kombinasyondaki gelişmeye yakın olduğu görülmüştür. Tong, Su ve Wang (1997) optimum kombinasyonu belirlerken düzeltme faktörlerini dikkate almamıştır. Bu çalışmada, düzeltme faktörleri tespit edilip sonra bu faktörlerin kalınlık ortalamasını hedef değere yaklaştıran seviyeleri optimum seçildiğinde elde edilen kombinasyonun, yüzey hatasının S/G oranını Phadke (1989); Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyon kadar geliştiremediği ancak bu iki yöntemin aksine korunma oranı S/G oranını arttırdığı görülmüştür.

Refaie ve ark. (2010) bütün kalite karakteristiklerini S/G oranlarına dönüştürmüş ve faktörlerin her bir seviyesinin S/G oranı ortalamasını önerdiği formül ile (0,1) aralığında ağırlıklandırmıştır. Bu ağırlıkları bütün kalite karakteristiklerinden tek bir bilgi çıkarmak için kullanmış, bulduğu optimum kombinasyon, yüzey hatası ve kalınlık S/G oranını başlangıç koşuluna göre oldukça arttırmıştır. Ancak yüzey hatasının ve kalınlığın S/G oranı artarken korunma oranının S/G oranı başlangıç koşuluna göre azalmış, hatta bu azalmanın Phadke (1989); Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyonun yarattığı azalmadan da fazla olduğu görülmüştür.

Wu (2002) çoklu kalite karakteristiklerini eşzamanlı olarak optimize ederken S/G oranının doğrudan maksimize edilmesiyle ilgilenmemiş, optimum kombinasyonu belirlerken kalite kaybının yüzdesel azalma oranını kullanmıştır. Kalite kaybının azalma oranını elde ederken regresyon modeliyle olası tüm kombinasyonların kalite kaybını ne kadar azalttığı tahmin edilmiş, kalite kaybının azalma oranının en büyük olduğu kombinasyon optimum kombinasyon olarak seçilmiştir. Wu (2002) “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiğinin kalite kaybı azalma oranını hesaplarken iki farklı yöntem kullanmıştır.

Bunlardan ilki karakteristiğinin ortalamasının hedefe uzaklığının dikkate alındığı yöntemdir. Burada kalite karakteristiğinin ortalaması hedef değere yaklaştıkça kalite kaybının azalma oranı artmaktadır. İkinci yöntemde ise kalite karakteristiğinin ortalamasının hedef değere uzaklığı ihmal edilmektedir. Kalite karakteristikleri eş zamanlı olarak ele alındığında her iki yolla da Wu (2002) tarafından önerilen kombinasyonun Phadke (1989) tarafından önerilen koşuldan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kalite karakteristikleri tek tek ele alındığında S/G oranını maksimum yapan seviyeyi optimum seçen geleneksel Taguchi metodu ile Wu (2002) yüzey hatası ve korunma oranı için aynı kombinasyonu optimum olarak belirlemiştir. “hedef değer en iyi” tipindeki kalınlık için ortalamanın hedeften uzaklığının dikkate alınmadığı durumda Taguchi metodu ile Wu (2002)’nin aynı kombinasyonu optimum olarak belirlediği, ortalamanın hedef değere uzaklığı dikkate alındığında optimum belirlenen kombinasyonların farklılık gösterdiği görülmüştür.

Kalite kaybının azalma oranına bakarak, ele alığımız yöntemlerle bulduğumuz optimum kombinasyonlar incelendiğinde;

1. Phadke (1989); Refaie ve ark. (2010) tarafından önerilen kombinasyonların, kalınlığın PRQL’si hesaplanırken ortalamanın hedefe yakınlığının dikkate alındığı veya ihmal edildiği iki yöntemle de kalite kaybını arttırdığı,
2. Kalınlık ortalamasının hedefe uzaklığı ihmal edildiğinde Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyonun kalite kaybını azalttığı, aynı yaklaşımda düzeltme faktörü dikkate alındığında kalite kaybındaki azalmanın Tong, Su ve Wang (1997)’a göre daha fazla olduğu,
3. Kalınlığın ortalamasının hedefe uzaklığı ihmal edilmediği durumda Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen kombinasyonun kalite kaybını arttırdığı, düzeltme faktörü

dikkate alınarak MRSN yaklaşımıyla bulunan optimum kombinasyonun kalınlık ortalamasının hedefe uzaklığının ihmal edildiği durumdaki gibi kalite kaybını azalttığı,

4. İncelenen kombinasyonlar içinde kalınlığın ortalamasının hedefe uzaklığının ihmal edildiği veya edilmediği iki yöntemle de en büyük ortalama kalite kaybı azalma oranının Wu (2002) tarafından önerilen kombinasyonda gözlemlendiği,
5. Kalite karakteristiklerinin her hangi birinin S/G oranı başlangıç koşuluna göre azaldığında geriye kalan karakteristiklerde büyük gelişme olsa dahi ortalama kalite kaybı azalma oranının düşük hatta negatif çıkma eğilimli olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada Tong, Su ve Wang (1997)'ın önerdiği yaklaşımda düzeltme faktörlerinin dikkate alınmasının yararlı olduğu, “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiğinin ortalamaya uzaklığı ihmal edilerek belirlenen kombinasyonun nasıl bir kayba yol açtığı gösterilmiştir. Wu (2002) “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiğinin PRQL’sini “daha büyük daha iyi” ve “daha küçük daha iyi” tipindeki karakteristiklerinin PRQL’sini hesapladığı gibi hesaplamış, yöntemlerin karşılaştırmalarını bu sonuçlar üzerinden yapmıştır. Karşılaştırma yaparken böyle bir yol izlenmesi “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiklerinin ortalamasını hedeften uzaklaştıran kombinasyonları öneren yöntemlerin gözden kaçmasına sebep olabilir. Bu çalışmada bu gibi durumlara meydan vermemek için yöntemleri karşılaştırırken “hedef değer en iyi” tipindeki karakteristiğin ortalamadan uzaklığını ihmal etmeyen PRQL kullanılmıştır.

Çalışmada ele alınan bu yöntemler sanayi alanındaki kalite geliştirme çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. İncelenen faktör yapısı ve cevap değişkeni bakımından sanayi alanında tasarlanan denemeler ile eczacılıktaki farmasötik teknoloji denemelerin benzerlik gösterdiği, her iki alanın da üzerine araştırma yapılan ürün ve/veya süreci istenilen düzeye

getirirken faktöriyel deneme tasarımından yararlandığı görülmüştür (Lewis ve ark, 1999; Bolton ve Bon, 2004). Buna ek olarak, ilaç geliştirme çalışmaları yapan kurumlarla gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda ilaç geliştirme araştırmalarının birçoğunda birden fazla karakteristiğin (değişkenin) incelendiği, bu sebeple eşzamanlı inceleme yöntemlerine bu alanda ihtiyaç duyulabileceği sonucuna varılmıştır (Genç, 2012). Bu benzerliklerin yanında ilaç geliştirme çalışmalarında tam faktöriyel tasarımın kullanıldığı ve incelenen kalite karakteristiklerinin değişkenliğinin dikkate alınmadığı görülmüştür (Li ve ark, 2003; Genç ve Jalvand, 2008; Patel ve ark, 2010). Bu sebeplerle ilaç geliştirme alanında, deneme materyalinin azaltılmasını sağlayan, çoklu kalite karakteristiklerini eşzamanlı olarak optimize ederken değişkenliği azaltan Taguchi temelli bazı yöntemlerin kullanılmasında fayda vardır. Ancak Taguchi'yi temel alan bazı yöntemlerin ilaç geliştirme çalışmalarında uygulanması, sağlık alanındaki kaybın sanayideki gibi parasal olarak hesaplanamaması sebebiyle mümkün değildir. Örneğin Wu (2005) tarafından önerilen optimizasyon yaklaşımında kalite kaybı parasal olarak ifade edilmektedir. Bir canlının sağlığının parasal karşılığının olmaması sebebiyle bu gibi yöntemlerin tıbbi alanlarda kullanılabilirliği yoktur.

Bu çalışmada ele alınan optimizasyon yöntemlerinde kayıp para ile ifade edilmediğinden bu yöntemlerin sağlık alanında kullanımı özellikle ilk aşamalarda teorik olarak mümkündür. Çalışmadaki uygulamanın sonuçlarına bakılarak ilaç geliştirme alanına en büyük katkıyı PRQL yaklaşımının yapacağı görülmektedir. Ancak Wu (2002) tarafından önerilen yaklaşımda PRQL'in hesaplanabilmesi için başlangıç koşulunun belirlenmesi gereklidir. Ürün ve/veya süreç için parametre tasarımında başlangıç koşulu belirlenmemişse PRQL yaklaşımı kullanılamaz. Bu durumda optimum kombinasyonun bulunmasında düzeltme faktörleri dikkate alınmak şartıyla MRSN yaklaşımı önerilebilir.

BÖLÜM V

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada birden çok kalite karakteristiğini eş zamanlı olarak optimize eden, Taguchi yöntemini temel alan bazı yaklaşımlar ele alınmıştır. Ele alınan bu yaklaşımlar gerçek bir veri üzerinde denenmiş, sonuçlar kalite kaybının azalma oranı dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak;

- i. Kalite karakteristikleri tek tek ele alındığında çelişkilerin ortaya çıkacağı optimizasyonun eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.
- ii. Çoklu kalite karakteristiklerinin optimizasyonunda sadece S/G oranının maksimize edilmesiyle ilgilenilmesinin kalite kaybını arttırabileceği, bu yüzden çoklu kalite karakteristikleri için elde edilen S/G oranının tek başına dikkate alınmaması gerektiği görülmüştür. Bu sonuca bakılarak ürün ve/veya süreç geliştirme çalışmalarında S/G oranına ek olarak kalite kaybı ve kalite karakteristik ortalamalarının da incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
- iii. MRSN yaklaşımında ürün ve/veya süreç geliştirme çalışması “hedef değer en iyi” tipinde kalite karakteristiğine sahipse düzeltme faktörünün dikkate alınmasının kalite kaybı bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Eğer “hedef değer en iyi” tipinde bir veya daha fazla kalite karakteristiğine sahip ürün ve/veya sürecin geliştirilmesinde MRSN yaklaşımı kullanılacaksa “hedef değer en iyi” tipindeki kalite karakteristiklerinin ortalamasını hedef değere çekecek faktörlerin etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.
- iv. Kalite kaybının azalma oranı yaklaşımının tek kalite karakteristiğinin optimizasyonu için de kullanılabilir olduğu görülmüştür. Ürün ve/veya sürecin

sadece bir kalite karakteristiği varsa ve parametre tasarımından önce başlangıç koşulu belirlenebiliyorsa karakteristiğin optimizasyonunda kalite kaybı azalma oranı yaklaşımı kullanılabilir. Eğer “hedef değer en iyi” tipindeki bir kalite karakteristiği optimize edilecekse karakteristiğin hedef değere uzaklığının ihmal edilmesi önerilmemektedir.

- v. Kalite kaybının azalma oranı yaklaşımı ürün ve/veya süreçteki kalite karakteristiklerinin her birini eş zamanlı olarak geliştirecek faktör seviye kombinasyonunu belirlemektedir. Bu yüzden, kalite karakteristiklerinin her hangi bir tanesinin performansı düşerken diğer karakteristiklerin istenilen seviyede olmasının anlamsız olduğu ürün ve/veya süreç geliştirme çalışmalarında kalite kaybının azalma oranına dayalı optimizasyon yaklaşımı önerilebilir.

İlaç geliştirme çalışmalarında faktöriyel deneme tasarımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum optimizasyon yöntemlerinin bazılarının ilaç geliştirme çalışmalarında kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada ele alınan yöntemler uygun bir ilaç geliştirme verisi bulunamadığından endüstriyel bir veri seti üzerinde uygulanmıştır. Bu yöntemlerin ilaç geliştirme çalışmalarındaki kullanılabilirliğini incelemek için bu alanda yapılmış çalışma verileri üzerinde denenmesi uygun olacaktır.

Bazı ilaç geliştirme çalışmalarında faktörlerin etkileri incelenirken tam faktöriyel deneme tasarımı kullanılmıştır. Bu gibi çalışmalarda, tam faktöriyel denemeden daha az deneysel materyal kullanarak da faktörlerin etkisinin incelenmesini sağlayan ortogonal dizilerin kullanılması önerilebilir. Ortogonal dizilerin kullanımıyla daha az deneme materyali kullanılarak da geçerli sonuçların bulunabileceğini görebilmek için tam faktöriyel deneme

tasarımının kullanıldığı herhangi bir çalışmadaki denemenin bir kısmı ortogonal dizi esas alınarak tekrar analiz edilip, sonuçlar karşılaştırılabilir.

BÖLÜM VI

6.1 ÖZET

ÇOKLU KALİTE KARAKTERİSTİĞİNİN EŞZAMANLI OPTİMİZASYONUNA İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA

Ürün ve/veya süreç gelişimini etkileyen bir veya birkaç faktörün incelenmesinde deneme tasarımı prensibinin uygulanması fikri 20. Yüzyılın başlarından beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu fikrin pratik uygulamasına en önemli katkılardan birisi Japon bilim adamı Genichi Taguchi tarafından yapılmıştır. Taguchi temel olarak kesirli deneme ve ortogonal dizi teorisini kullanmış ve onlardan önemli derecede az sayıda deneme materyali kullanan simetrik ve asimetrik faktöriyel denemelerinin pratik tasarımlarını geliştirmiştir.

Taguchi bu tasarım prensibini, sadece tek bir kalite karakteristiğini (değişkeni) göz önünde bulundurarak, kalite kaybı ve sinyal/gürültü oranı gibi kalite konularıyla ilişkili olan analiz teknikleriyle birlikte kullanmıştır. Ancak, son 20-30 yıldır Taguchi'nin prensipleri birkaç yazar tarafından çoklu kalite karakteristikleri için uygulanmıştır. Bu çalışmada, çoklu kalite karakteristikleri için önerilen çalışmalar içinden Tong, Su ve Wang (1997) tarafından önerilen çoklu cevap sinyal/gürültü oranı, Wu (2002) tarafından öne sürülen kalite kaybının yüzdesel azalımı ile Refaie ve ark. (2010) tarafından geliştirilen faktör seviyesine dayalı ağırlıklı sinyal/gürültü oranı yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yöntemler Phadke (1989) tarafından verilen gerçek veriler üzerinde uygulanarak birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ayrıca ileri sürülen yöntemlerin biyolojik, kimyasal ve eczacılık alanında uygulama potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çoklu kalite Karakteristikleri, Ürün ve/veya süreç geliştirme, Taguchi metodu, Kalite kaybının azalma oranı

6.2 ABSTRACT

STUDY ON SIMULTANEOUS OPTIMIZATION OF MULTIPLE QUALITY CHARACTERISTICS

The idea of the use of experimental design principles for one or more factors which effect the product and/or process improvement have extensively been used since the beginning of 20th Century. One of the most important contributions for the practical application of this idea has been made by Japanese scientist Genichi Taguchi. He basically used the theory of fractional replication and the orthogonal arrays from which he developed practical designs for symmetrical and asymmetrical factorial experiments with considerably smaller number of experimental material.

Taguchi used this design principle together with the analysis techniques related with the quality issues like quality loss and signal/noise ratio considering only one quality variable (characteristic). However in the last 2-3 decades his principles have been applied for multiple quality characteristics by several authors. Among these the ones developed by Tong, Su and Wang (1997) using multi-response signal/noise ratio; by Wu (2002) considering percentage reduction of quality loss and by Refaie et al. (2010) considering weighted signal/noise ratio with respect to the level of factors were explained in detail and exercised on the real data given by Phadke (1989) in this work. Potential use of these ideas in biological, chemical and medical areas were also described.

Key Words: Multi quality characteristics, Product or process improvement, Taguchi method, Percent reduction of quality lost

BÖLÜM VII

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Antony, J. (2001). Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Quality Loss Function. *Advanced Manufacturing Technology*, 17: 134-138.
2. Bayrak, Z. (1996). Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolüne Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
3. Bolton, S. and Bon, C. (2004). *Pharmaceutical Statistics. Pratical and Clinical Applications*. Marcel Dekker, New York.
4. Box, G.E.P. and Wilson, K.G. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Konditions. *Journal of the Royal Statistical Society, B*, Vol. 13: 1-45.
5. Box, G. (1988). Signal to Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations, *Technometrics*, 30(1): 1-17
6. Castillo, E. D., Montgomery, D.C. and McCarville, D.R. (1996). Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization, *J.Qual.Tech.* , 28(3): 337-345.
7. Cochran, W. G. and Cox, G. M. (1957). *Experimental Designs*. John Wiley, New York.
8. Çakır, S. (2007). Çoklu Kalite Karakteristikleri İçin Karesel Kayıp Fonksiyonları ve Sinyal Gürültü Oranlarının Kullanımı Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, İzmir.
9. Daniel, C. (1959). Use of Half-Normal Plots Interpreting Factorial Two Level Experiments. *Technometrics*, 1: 311-342.
10. Derringer, G. and Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *J.Qual.Tech.* , 12(4):214-219.
11. Finney, D. J. (1945). The Fractional Replication of Fractional Arrangements, *Ann. Eugenics*. 12: 291-301.
12. Fradley, S., Oom M., Terrien B. and Zalewski J. (2006). *Design of Experiments Via Taguchi Methods: Orthogonal Arrays*. The Michigan Chemical Process Dynamics and Controls Open Textbook.

13. Genç, L. ve Jalvand, E. (2008). Preparation and In Vitro Evaluation of Controlled Release Hydrophilic Matrix Tablets of Ketorolac Tromethamine Using Factorial Design. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 1: 1-8.
14. Genç, L. (2012) ile BİBAM'da (Bitki İlaç ve Bilimsel Araştırma Merkezi) Gerçekleştirilen Kişisel Görüşme.
15. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2003). Taguchi Metodu Üzerine Bir Uygulama. *Teknoloji Dergisi*, 3-4: 7-17.
16. Harrington, J. (1965). The desirability function. *Ind Qual Control*, 21(10): 494–498.
17. Hsieh, K. L., Tong L. I., Chiu H. P. and Hsin, Y. Y. (2005). Optimization of a Multi-response Problem in Taguchi's Dynamic System. *Computers & Industrial Engineering*, 49: 556–571.
18. Kempthorne, O. (1952). *The Design and Analysis of Experiment*. John Wiley, New York.
19. Lenth, R. V. (1989). Quick and Easy Analysis of Unreplicated Factorials. *Technometrics*, 31: 469-473.
20. Lewis, G.A., Mathieu, D. and Phan-Tan-Luu R. (1999). *Pharmaceutical Experimental Design*. Marcel Dekker, New York.
21. Li, S., Lin, S., Daggy, B.P., Mirchadoni, H.L. and Chien Y.W. (2003). Effect of HPMC and Carbpol on the Release and Floating Properties og Gastric Floating Drug Delivery System Using Factorial Design. *International Journal of Pharmaceutics*, 253: 13-22.
22. Mead, R. (1990). *The Design of Experiments: Statistical Principles for Practical Applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
23. Montgomery, D.C. (2001). *Design and Analysis of Experiment*. John Wiley& Sons, New York.
24. İkiz, F. (1975). Fractional Replication (A Review). MSe. Thesis. Deparment of Applied Statistics University of Reading, England.
25. İkiz, F. (1978). Kısmi Tekerrürlü Denemeler ve Bu Deneme Planlarının Oluşturulmasında Galois Alanının ve Ortogonal Dizilerin Kullanılması. *Uygulamalı İstatistik*, Cilt: 1, Sayı:1, 1-17
26. Pasandideh, H.R. and Niaki, T.A. (2006). Multi-response simulation optimization using genetic algorithm within desirability function framework. *Applied Mathematics and Computation*, 175: 366–382.

27. Patel, D.J., Patel J.K., Pandya V.M., RJivani R. and Patel R.D. (2010). Optimization of Formulation Parameters on Famotidine Nanosuspension Using Factorial Design and the Desirability Function. *International Journal of PharmTech. Research*, 2(1): 155-161.
28. Phadke, M.S. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice-Hall and Englewood Cliffs, New Jersey.
29. Rao, C. R. (1947). Factorial Experiments Derivable from Combinatorial Arrangements of Arrays. *Jour. Roy. Stat. Soc. Supply.*, 9: 128-139.
30. Refaie, A., Wu, T.H. and Li, M.H. (2010). An Effective Approach for Solving The Multi-Response Problem in Taguchi Method. *J. Mechanical and Industrial Engineering*, 4, (2): 314 – 323.
31. Ross, P.J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. The McGraw-Hill Companies, New York.
32. Roy, R. K. (1990). *Primer On The Taguchi Method*. Society of Manufacturing Engineers, Van Nostrand Reinhold, New York.
33. Roy, R.K. (2001). *Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement*. John Wiley, New York.
34. Ryan, T. P. (2007). *Modern Experimental Design*. John Wiley, New York.
35. Şanyılmaz, M. (2006). *Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kütahya.
36. Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı"*. Literatür yayınları, İstanbul.
37. Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design*. UNIPUB, Kraus International Publications, New York.
38. Taguchi, G., Chowdhury S. and Wu Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. John Willey& Sons, Hoboken, New Jersey.
39. Tong, L. I., Su, C. T. and Wang, C. H. (1997). The Optimization of Multiresponse Problems in the Taguchi Method. *Int. J. Qual. Reliab. Manage*, 14(4): 367–380.
40. Trautman, H. (2009). *Multiobjective Optimization with Desirability Functions and Desirability Indices*. Drug Design Workshop. Statistics Faculty of Dortmund University, Dortmund.

41. Wu, F. C. (2002). Optimisation of Multiple Quality Characteristics Based on Percentage Reduction of Taguchi's Quality Loss. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 20:749–753.
42. Wu, F. C. (2005). Optimization of Correlated Multiple Quality Characteristics Using Desirability Function. *Quality Engineering*, 17:119-126.

BÖLÜM VIII

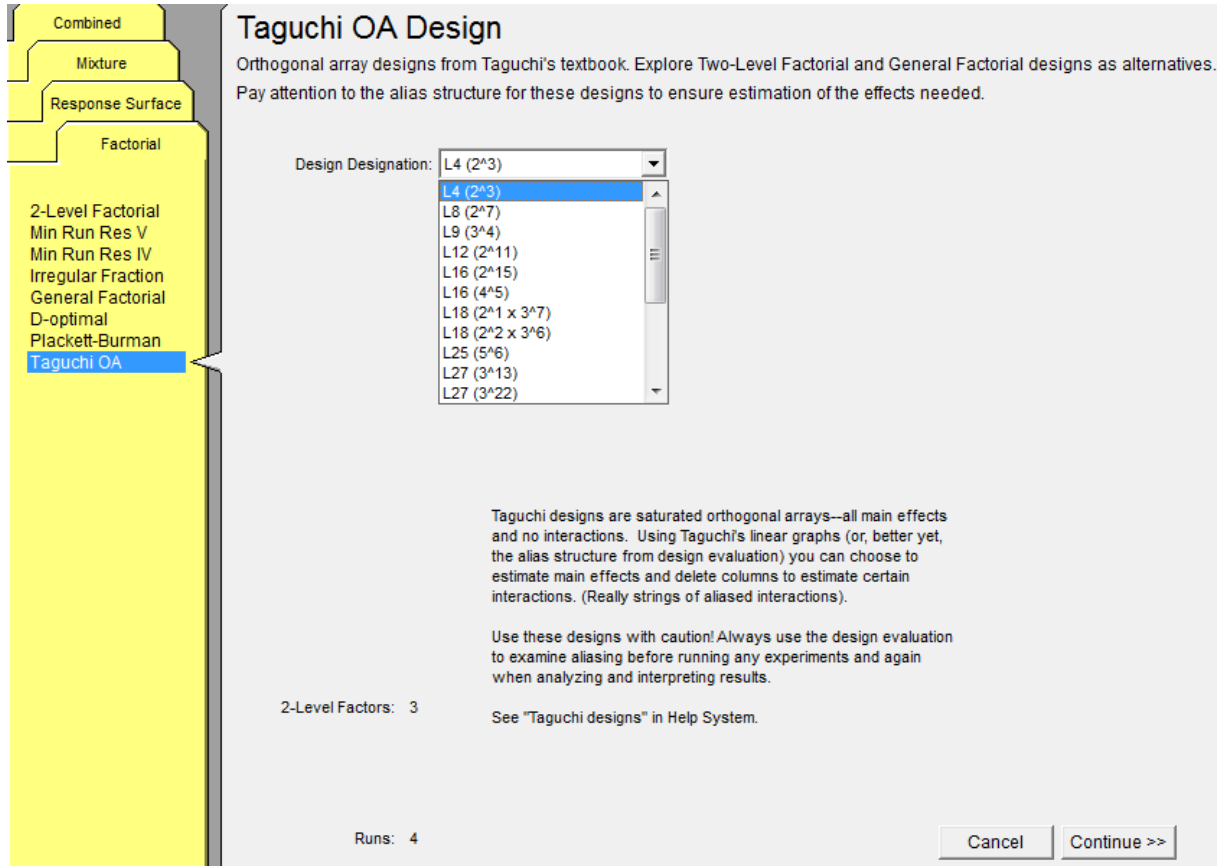
8.EKLER

Ek 1.Design-Expert

Design-Expert, ürün veya sürecin optimize edilmesine yardımcı olan bir paket programıdır ve faktöriyel tasarımların, yanıt yüzey (response surface) metodlarının, mixture tasarım metodlarının ve kombine tasarımların etkili kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

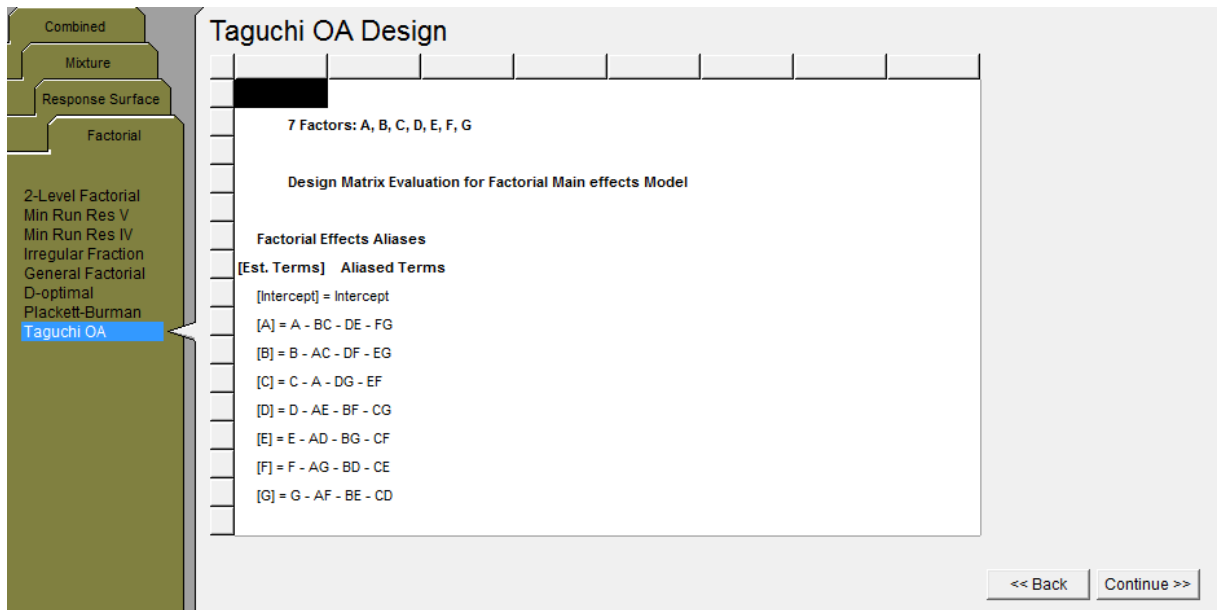
Ek 1.1.Deneme Tasarımı Aşaması

Bu bölümde, programın faktöriyel tasarım sekmesindeki ortogonal dizilere değinilmektedir. Faktöriyel tasarım sekmesinde Ek Şekil 1’de görüldüğü gibi bölüm 2.2’de verilen Taguchi’nin ortogonal dizilerinin kullanımı için hazırlanmış bir seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekte farklı faktör seviye sayıları için hazırlanmış ortogonal dizilere ulaşılabilir.



Ek Şekil 1: Design-Expert Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Sayfası

İlk olarak faktör ve seviye sayısına uygun ortogonal dizi seçilip “continue” düğmesine tıklanmalı ve alias yapısı incelenmelidir. Şekil Ek.1’de gösterilen sayfada $L_8(2^7)$ ortogonal dizini seçilirse ortaya çıkacak alias yapısı Ek Şekil 2’de gösterilmektedir.



Ek Şekil 2: Design-Expert Alias Yapısı Sayfası

Alias yapısının incelenmesinden sonra Ek Şekil 3’de gösterilen kalite karakteristiğinin tanımlandığı sayfaya geçilmelidir.

Taguchi OA Design

Responses: (1 to 999)

Name	Units
R1	
R2	
R3	

<< Back Continue >>

Ek Şekil 3: Design-Expert Kalite Karakteristiği Tanımlama Sayfası

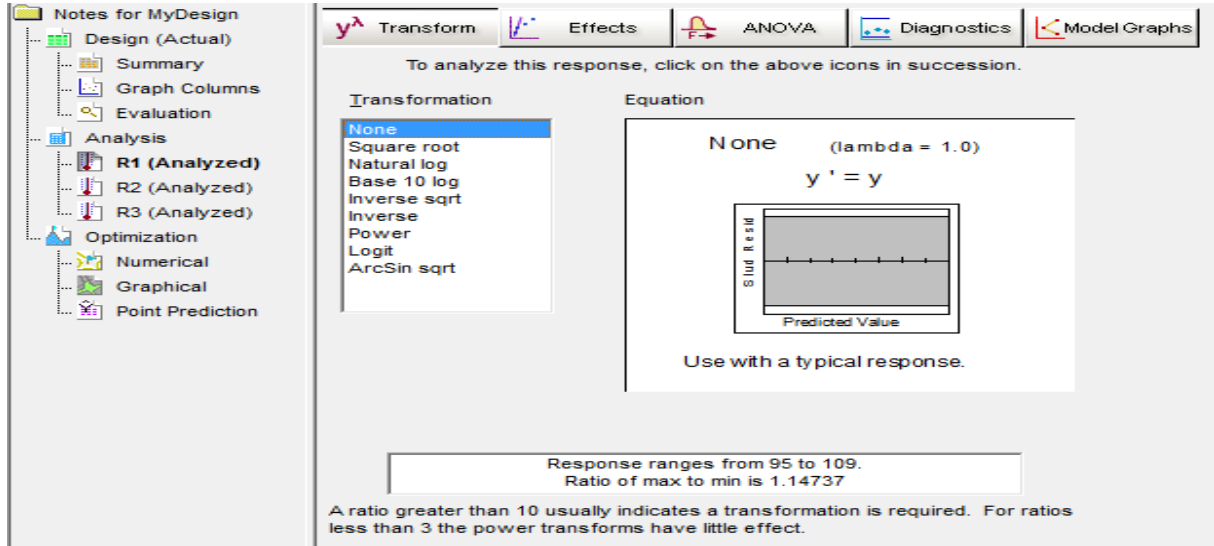
Kalite karakteristiği tanımlama sayfasında 3 adet kalite karakteristiği tanımlanırsa deneme tasarımı, Ek Şekil 4’de gösterildiği gibi oluşur. Ek Şekil 4’de görülen R1, R2 ve R3 sütunlarına kalite karakteristik değerleri girilir ve Ek 1.2. bölümde açıklanan analiz aşamasına geçilir.

Notes for MyDesign	Std	Run	Block	Factor 1 A:A	Factor 2 B:B	Factor 3 C:C	Factor 4 D:D	Factor 5 E:E	Factor 6 F:F	Factor 7 G:G	Response 1 R1	Response 2 R2	Response 3 R3
Design (Actual)													
Summary	1	1	Block 1	1	1	1	1	1	1	1			
Graph Columns	3	2	Block 1	1	2	2	1	1	2	2			
Evaluation	4	3	Block 1	1	2	2	2	2	1	1			
Analysis	5	4	Block 1	2	1	2	1	2	1	2			
R1 (Empty)	2	5	Block 1	1	1	1	2	2	2	2			
R2 (Empty)	7	6	Block 1	2	2	1	1	2	2	1			
R3 (Empty)	8	7	Block 1	2	2	1	2	1	1	2			
Optimization	6	8	Block 1	2	1	2	2	1	2	1			
Numerical													
Graphical													
Point Prediction													

Ek Şekil 4: Design-Expert Deneme Tasarımı Sayfası

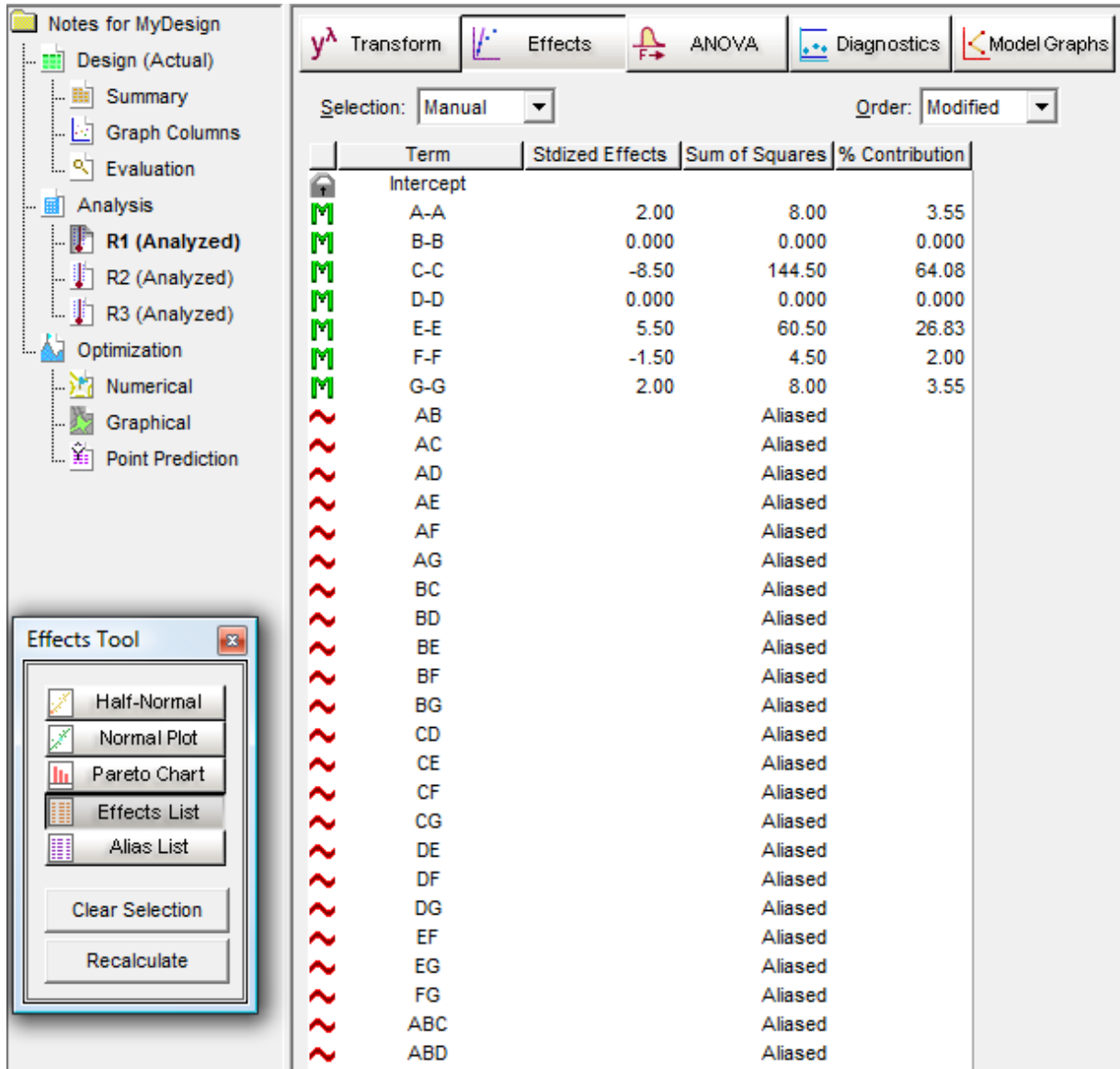
Ek 1.2. Analiz Aşaması

Eğer kalite karakteristiğine dönüşüm uygulanması gerekiyorsa Ek Şekil 5’de gösterilen “Transform” sayfasından istenilen dönüşüm seçilebilir.



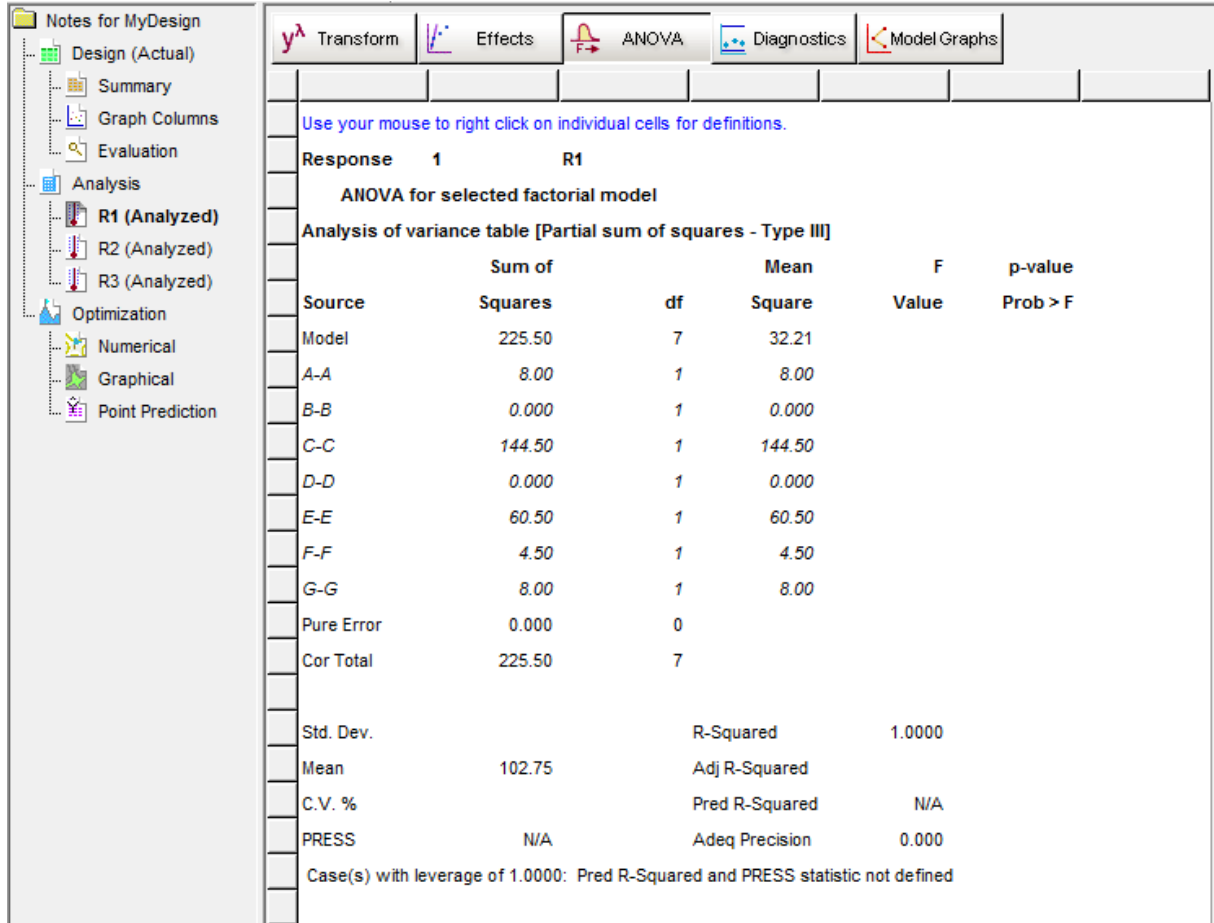
Ek Şekil 5: Design-Expert Dönüşüm Sayfası

“Transform” sayfasından sonra modelin oluşturulduğu “Effect” sayfasına geçilmektedir. Bu sayfada etkiler normal ve yarı normal olasılık grafiklerinde incelenebilir, Ek Şekil 6’da gösterildiği gibi istenilen ana etkiler ve etkileşim etkileri modele alınabilir.



Ek Şekil 6: Design-Expert “Effect” Sayfası

Modelin oluşturulmasından sonra varyans analizinin yapıldığı Ek Şekil 7’de gösterilen “ANOVA” sayfasına geçilmektedir. Ek 1.2 bölümünde yapılan bütün işlemler tüm kalite karakteristikleri için gerçekleştirilir ve sonra Ek 1.3 bölümünde açıklandığı gibi optimizasyon gerçekleştirilir.

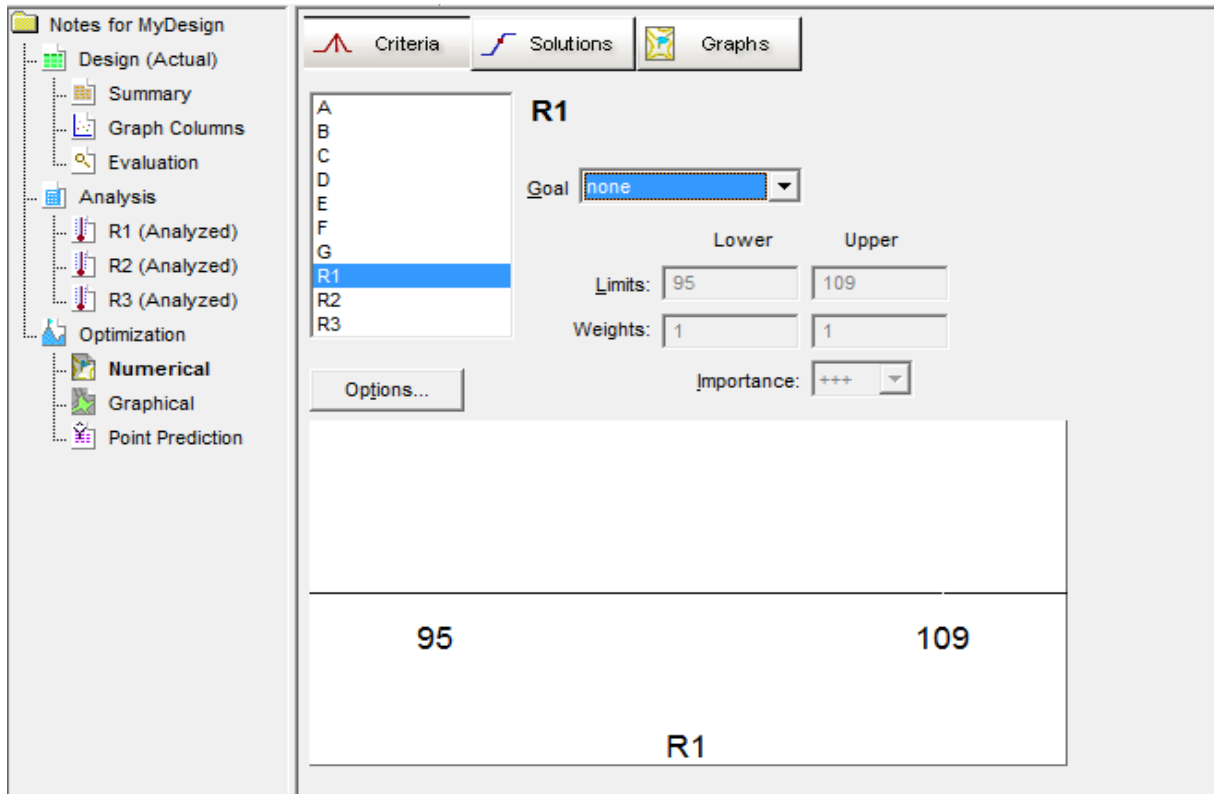


Ek Şekil 7: Design-Expert Varyans Analizi Sayfası

Ek 1.3.Design Expert Programında Optimizasyona Genel Bakış

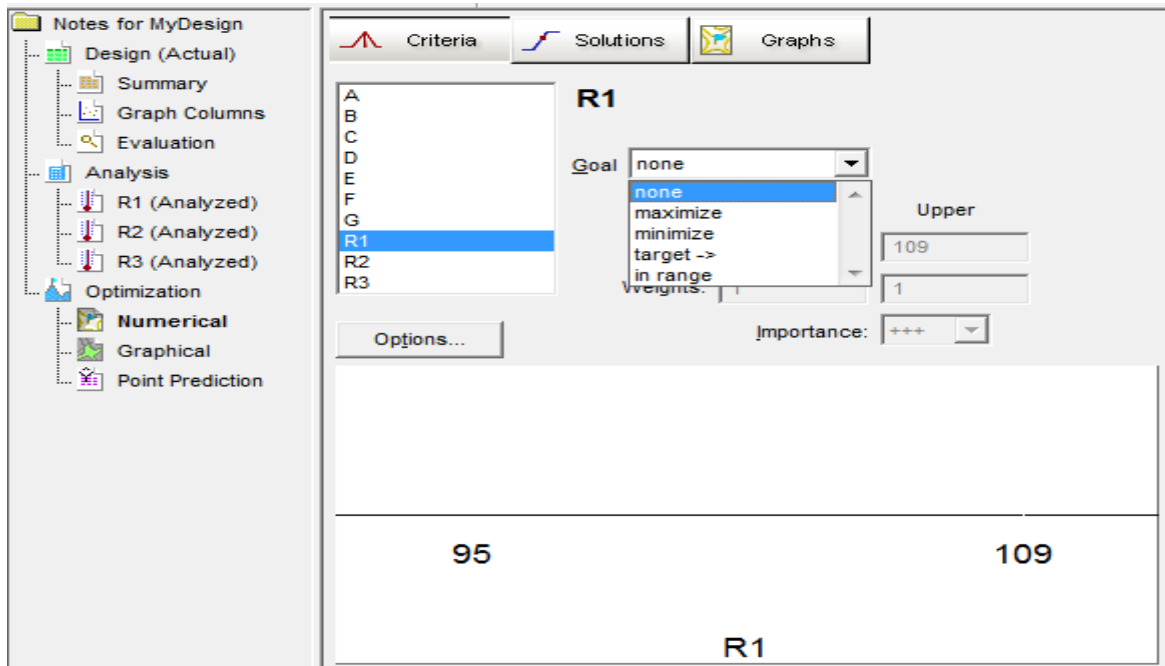
Design-Expert'deki optimizasyon modülü tüm yanıtların hedeflerini eşzamanlı olarak karşılayan faktör seviye kombinasyonlarının bulunmasını amaçlamaktadır. Bu modülde, tek kalite karakteristiği ya da çoklu kalite karakteristiği optimizasyonu grafiksel veya nümerik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Nümerik yöntemle optimizasyon gerçekleştirilirken ilk olarak her kalite karakteristiğinin hedefinin Ek Şekil 8'de gösterilen menüden seçilmesi gerekmektedir.



Ek Şekil 8: Kalite karakteristiği Kriteri Seçim Aşaması

Menüde seçilebilecek olası hedefler; maksimize, minimize, hedef değeri, belli bir aralık olarak Ek Şekil 9’da görülebilmektedir.



Ek Şekil 9: Kalite karakteristiği Tipinin Seçim Aşaması

Seçilen hedefler “Solutions” sayfasında bölüm Ek 1.3.1’de açıklanan çekicilik fonksiyonuyla (desirability function) kombine edilecek ve optimum seviye kombinasyonu seçilecektir.

Grafiksel yöntemle, birden fazla kalite karakteristiği optimize edilirken karakteristik kriterlerini (“hedef değer en iyi”, “daha küçük daha iyi” ve “daha büyük daha iyi”) eş zamanlı olarak karşılayacak alanın belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Eğer tasarımdaki faktör sayısı çok ise ilk olarak nümerik yöntemle optimizasyon yapılmalıdır aksi taktirde uygun alanın bulunması imkansızlaşacaktır. Bu sebepten bu bölümde sadece nümerik yöntem açıklanmaktadır.

Ek 1.3.1 Çekicilik Fonksiyonu (Desirability Function) Yaklaşımı

Çekicilik fonksiyonu çoklu kalite karakteristiğinin eşzamanlı optimizasyonunda kullanılan bir yaklaşımdır. İlk olarak Harrington (1965) tarafından oluşturulan çekicilik fonksiyonu daha sonraları Deringer ve Suich (1980), Castillo ve ark. (1996) tarafından geliştirilmiştir.

Çekicilik fonksiyonu deneme tasarımıyla ürünün kalitesine etki eden faktörlerin optimal seviyelerinin belirlenmesini hedeflemektedir.

p adet kalite karakteristiğiyle ($y_1, y_2, \dots, y_p$) q adet ($x_1, x_2, \dots, x_q$) faktör arasındaki fonksiyonel ilişki, j faktör/seviye kombinasyonunu göstermek üzere,

$$y_{ij} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_q) + \varepsilon_{ij} \quad i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, k \quad \dots(\text{Ek 1})$$

şeklinde ifade edilir. $E(\varepsilon_{ij})=0$ varsayımı altında regresyon metodu ile y_i tahmin edilebilir.

Çekicilik fonksiyonlarıyla y_i tahmini ($\hat{y}_i$) çekicilik değerlerine (d_i) dönüştürülür. d_i ,

$$d_i(Y_i)(i = 1; p); d \in [0; 1] \quad \dots(\text{Ek 2})$$

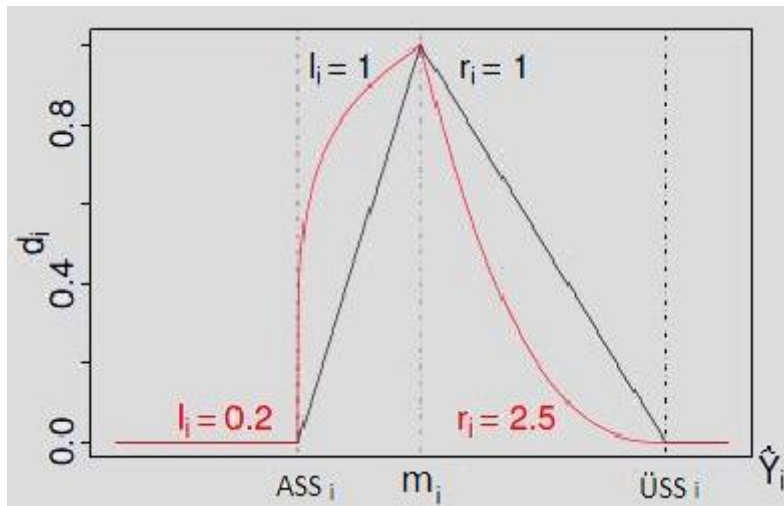
şeklinde tanımlıdır, $\hat{y}_i$ istenilen değere yaklaştıkça 1’e, istenilen değerden uzaklaştıkça 0’a yaklaşır.

Derringer ve Suich (1980) “hedef değeri en iyi”, “daha küçük daha iyi” ve “daha büyük daha iyi” olmak üzere üç çeşit çekicilik fonksiyonu tanımlamıştır (Wu, 2005).

m hedef değerine sahip “hedef değeri en iyi” tipindeki kalite karakteristikleri için çekicilik fonksiyonu,

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0, & \hat{y}_i < ASS_i \text{ (Alt Spesifikasyon Sınırı)} \\ \left(\frac{\hat{y}_i - ASS_i}{m_i - ASS_i} \right)^{l_i}, & ASS_i \leq \hat{y}_i \leq m_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - ÜSS_i}{m_i - ÜSS_i} \right)^{r_i}, & m_i < \hat{y}_i \leq ÜSS_i \text{ (Üst Spesifikasyon Sınırı)} \\ 0, & ÜSS_i < \hat{y}_i \end{cases} \quad \dots \text{ (Ek 3)}$$

şekilde tanımlanır. (Ek 3) eşitliğindeki l_i ve r_i çekicilik fonksiyonunun şeklini veren sabitlerdir. $l_i=r_i=1$ ise y_i hedef değerden uzaklaştıkça d doğrusal olarak azalır. $l_i < 1$ ve $r_i < 1$ olduğu takdirde fonksiyon dışbükey (convex) . $l_i > 1$ ve $r_i > 1$ olduğu takdirde fonksiyon içbükey (concave) olacaktır (Pasandideh ve Niaki, 2006). l ve r sabitlerinin aldığı farklı değerler için çizilen d 'nin azalma grafiği Ek Şekil 10’da gösterilmektedir.

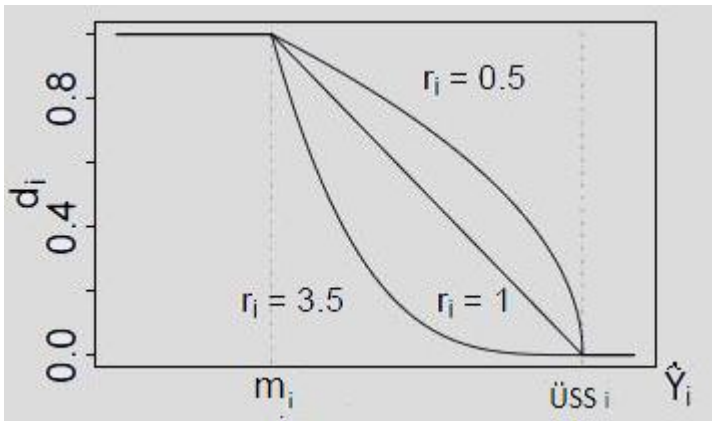


Ek Şekil 10: “hedef değeri en iyi” için tanımlanan çekicilik fonksiyonunun grafiği (Trautman, 2009).

“daha küçük daha iyi” tipindeki kalite karakteristikleri için tanımlanan çekicilik fonksiyonu,

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 1, & \hat{y}_i \leq m_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - \text{ÜSS}_i}{m_i - \text{ÜSS}_i} \right)^{r_i}, & m_i < \hat{y}_i < \text{ÜSS}_i \\ 0, & \text{ÜSS}_i \leq \hat{y}_i \end{cases} \quad \dots (\text{Ek 4})$$

şeklinde tanımlanır. $\hat{y}_i$ hedef değerden küçük ise $d_i=1$, ÜSS_i 'den büyükse $d_i=0$ olacaktır. $m_i < \hat{y}_i < \text{ÜSS}_i$ olduğunda hesaplanan d_i 'nin farklı r_i 'ler için azalma hızı Ek Şekil 11'de gösterilmektedir.

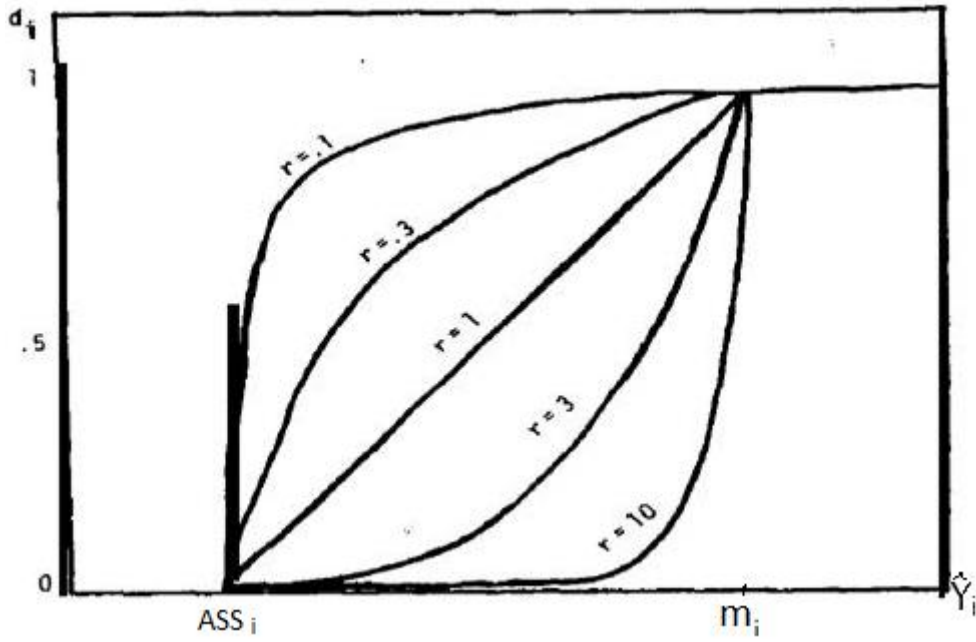


Ek Şekil 11: “daha küçük daha iyi” için tanımlanan çekicilik fonksiyonunun grafiği (Trautman, 2009)

“daha büyük daha iyi” tipi için tanımlanan çekicilik fonksiyonu,

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0, & y_i \leq \text{ASS}_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - \text{ASS}_i}{m_i - \text{ASS}_i} \right)^{r_i}, & \text{ASS}_i < \hat{y}_i < m_i \\ 1, & m_i \leq \hat{y}_i \end{cases} \quad \dots (\text{Ek 5})$$

şeklinde tanımlanır. $\hat{y}_i$ ASS_i 'den küçük ise $d_i=0$, T_i 'den büyükse $d_i=1$ olacaktır. $\text{ASS}_i < \hat{y}_i < \text{ÜSS}_i$ olduğunda hesaplanan d_i 'nin farklı r_i 'ler için azalma hızı Ek Şekil 12'de gösterilmektedir.



Ek Şekil 12: Şekil 2 “daha küçük daha iyi” için tanımlanan çekicilik fonksiyonunun grafiği (Derringer ve Suich,1980)

Çekicilik değerlerinin geometrik ortalaması alınarak çekicilik indeksi (Desirability Index=DI),

$$DI = (d_1 * d_2 * \dots * d_p)^{1/p} \quad \dots (\text{Ek 6})$$

şeklinde hesaplanır. Bulunan tek DI, kalite karakteristiklerinin çekicilik değerlerinin kombinasyonudur ve çekicilik değeri gibi [0,1] aralığında tanımlıdır. DI’yi maksimize eden seviye kombinasyonu optimum olarak seçilmektedir. Kalite karakteristiklerinin herhangi bir tanesinin çekicilik değeri (d) 0 bulunursa DI=0 olacaktır. Böyle bir durumda DI’yi hesaplarken geometrik ortalama yerine aritmetik ortalama kullanılabilir. (Derringer ve Suich, 1980). Çekicilik fonksiyonu yaklaşımı kolay anlaşılması sebebiyle optimizasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ek Tablo 1 : Polisilikon Korunma Sürecindeki Tüm Faktör Kombinasyonları için Tahminlenen S/G Oranları, PRQL, PRQL_{TQL1} PRQL_{TQL2} Değerleri

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TQL1}	PRQL _{TQL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
1	1	1	1	1	1	1	-0,226	32,785	23,093	1676,667	99,999779	65,644205	-956,1948	-1319,0575	-11,534135	-21,752525
2	1	1	1	1	1	2	3,804	39,415	23,377	1540,667	99,999913	92,535512	-1110,4824	-1229,2296	-10,366942	-22,39712
3	1	1	1	1	1	3	-3,616	39,595	23,707	2159,667	99,999517	92,838566	-492,24537	-1131,9696	-9,3913154	-15,242155
4	1	1	1	1	2	1	10,804	35,135	23,023	1548,667	99,999983	80,001381	-1101,2139	-1342,1154	-11,62114	-23,433293
5	1	1	1	1	2	2	14,834	41,765	23,307	1412,667	99,999993	95,654898	-1265,5925	-1250,8278	-10,551729	-24,164203
6	1	1	1	1	2	3	7,414	41,945	23,637	2031,667	99,999962	95,831306	-602,09931	-1151,9875	-9,5615625	-16,540869
7	1	1	1	1	3	1	7,264	33,425	23,333	1809,667	99,999961	70,351686	-815,22408	-1242,765	-10,724133	-19,579891
8	1	1	1	1	3	2	11,294	40,055	23,617	1673,667	99,999984	93,558307	-959,18566	-1157,7664	-9,6420814	-20,169521
9	1	1	1	1	3	3	3,874	40,235	23,947	2292,667	99,999914	93,819836	-387,93896	-1065,7354	-8,7191569	-13,536745
10	1	1	1	2	1	1	-7,876	35,805	25,413	2806,667	99,998712	82,860427	-80,160338	-731,76377	-5,4890463	-7,119254
11	1	1	1	2	1	2	-3,846	42,435	25,697	2670,667	99,999491	96,276083	-146,60692	-679,11219	-4,8283662	-7,2571962
12	1	1	1	2	1	3	-11,266	42,615	26,027	3289,667	99,997188	96,427272	72,36206	-622,10441	-4,2567995	-4,4974517
13	1	1	1	2	2	1	3,154	38,155	25,343	2678,667	99,999898	90,022999	-142,55632	-745,27885	-5,5525595	-7,8783527
14	1	1	1	2	2	2	7,184	44,785	25,627	2542,667	99,999996	97,832296	-219,13787	-691,77175	-4,9393949	-8,1090965
15	1	1	1	2	2	3	-0,236	44,965	25,957	3161,667	99,999778	97,920303	45,08023	-633,83767	-4,3591759	-4,8875766
16	1	1	1	2	3	1	-0,386	36,445	25,653	2939,667	99,99977	85,208916	-24,950428	-687,04579	-5,018371	-6,1199645
17	1	1	1	2	3	2	3,644	43,075	25,937	2803,667	99,999909	96,786339	-81,094671	-637,22491	-4,4043866	-6,1831967
18	1	1	1	2	3	3	-3,776	43,255	26,267	3422,667	99,999499	96,916812	90,884017	-583,28203	-3,8636572	-3,9239852
19	1	1	1	3	1	1	-11,016	29,265	26,493	2924,667	99,997345	22,731941	-32,74197	-548,63443	-4,2590515	-4,8137906
20	1	1	1	3	1	2	-6,986	35,895	26,777	2788,667	99,99895	83,21196	-88,386989	-507,57515	-3,2436424	-4,9596318
21	1	1	1	3	1	3	-14,406	36,075	27,107	3407,667	99,994206	83,893544	88,714493	-463,11877	-2,7923102	-2,7441007
22	1	1	1	3	2	1	0,014	31,615	26,423	2796,667	99,999791	55,022015	-85,560515	-559,1739	-4,0415209	-5,4473462
23	1	1	1	3	2	2	4,044	38,245	26,707	2660,667	99,999917	90,227628	-152,10616	-517,44745	-3,272199	-5,6955369
24	1	1	1	3	2	3	-3,376	38,425	27,037	3279,667	99,999543	90,62438	70,320207	-472,26871	-2,8164479	-3,0194896
25	1	1	1	3	3	1	-3,526	29,905	26,733	3057,667	99,999527	33,319323	13,627133	-513,76201	-3,8044316	-4,0013535
26	1	1	1	3	3	2	0,504	36,535	27,017	2921,667	99,999813	85,512281	-31,811705	-474,91018	-2,8939809	-4,0672207
27	1	1	1	3	3	3	-6,916	36,715	27,347	3540,667	99,998967	86,100474	98,317576	-432,8439	-2,4674446	-2,3452736
28	1	1	2	1	1	1	-17,236	26,255	25,583	2920,667	99,988883	-54,525444	-36,844428	-699,83426	-6,5437082	-6,366898

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
29	1	1	2	1	1	2	-13,206	32,885	25,867	2784,667	99,995605	66,426239	-90,748841	-649,20385	-4,8278201	-6,3995709
30	1	1	2	1	1	3	-20,626	33,065	26,197	3403,667	99,975734	67,789312	87,54693	-594,38447	-4,2661943	-4,0686181
31	1	1	2	1	2	1	-6,206	28,605	25,513	2792,667	99,999123	10,050242	-88,759428	-712,83052	-6,0278115	-7,0159082
32	1	1	2	1	2	2	-2,176	35,235	25,797	2656,667	99,999653	80,456605	-154,52292	-661,37743	-4,8092117	-7,159007
33	1	1	2	1	2	3	-9,596	35,415	26,127	3275,667	99,998086	81,250055	69,193995	-605,66731	-4,2441917	-4,3647523
34	1	1	2	1	3	1	-9,746	26,895	25,823	3053,667	99,998018	-33,352143	9,9728243	-656,8329	-5,9018702	-5,4686205
35	1	1	2	1	3	2	-5,716	33,525	26,107	2917,667	99,999217	71,026564	-33,843377	-608,92452	-4,3789874	-5,4276868
36	1	1	2	1	3	3	-13,136	33,705	26,437	3536,667	99,995675	72,202867	97,503047	-557,05239	-3,8485385	-3,5955367
37	1	1	2	2	1	1	-24,886	29,275	27,903	4050,667	99,935286	22,909653	37,112445	-368,81338	-2,4596844	-2,3176565
38	1	1	2	2	1	2	-20,856	35,905	28,187	3914,667	99,974414	83,250571	70,741095	-339,13697	-1,5591198	-1,6842146
39	1	1	2	2	1	3	-28,276	36,085	28,517	4533,667	99,858746	83,930587	-150,09263	-307,00524	-1,2321591	-3,5723913
40	1	1	2	2	2	1	-13,856	31,625	27,833	3922,667	99,994895	55,125461	67,598757	-376,43099	-2,2131063	-2,0883734
41	1	1	2	2	2	2	-9,826	38,255	28,117	3786,667	99,997982	90,250104	89,511072	-346,27237	-1,5602429	-1,5676332
42	1	1	2	2	2	3	-17,246	38,435	28,447	4405,667	99,988857	90,645943	-85,970376	-313,61854	-1,2298374	-2,9960006
43	1	1	2	2	3	1	-17,396	29,915	28,143	4183,667	99,988465	33,472684	-1,760743	-343,60864	-2,1014749	-2,4538092
44	1	1	2	2	3	2	-13,366	36,545	28,427	4047,667	99,99544	85,545602	41,879742	-315,52772	-1,2998668	-1,7365254
45	1	1	2	2	3	3	-20,786	36,725	28,757	4666,667	99,974823	86,132442	-225,91635	-285,12348	-0,9901622	-4,1106501
46	1	1	2	3	1	1	-28,026	22,735	28,983	4168,667	99,866648	-247,53616	-15,78565	-265,59479	-4,1326431	-1,8151379
47	1	1	2	3	1	2	-23,996	29,365	29,267	4032,667	99,947277	24,490777	41,794203	-242,45223	-1,1801418	-1,0071075
48	1	1	2	3	1	3	-31,416	29,545	29,597	4651,667	99,708928	27,556404	-221,76875	-217,39494	-0,9012961	-3,3945476
49	1	1	2	3	2	1	-16,996	25,085	28,913	4040,667	99,98948	-102,30192	31,730515	-271,53523	-2,7384767	-1,3981523
50	1	1	2	3	2	2	-12,966	31,715	29,197	3904,667	99,995841	56,045838	70,900853	-248,01663	-0,9197495	-0,7711994
51	1	1	2	3	2	3	-20,386	31,895	29,527	4523,667	99,977039	57,83035	-146,8629	-222,55219	-0,6474481	-2,6943805
52	1	1	2	3	3	1	-20,536	23,375	29,223	4301,667	99,976232	-199,91625	-62,103967	-245,93938	-3,458794	-2,0806711
53	1	1	2	3	3	2	-16,506	30,005	29,507	4165,667	99,990603	34,837161	4,2749394	-224,04103	-0,8921326	-1,1977548
54	1	1	2	3	3	3	-23,926	30,185	29,837	4784,667	99,94812	37,482731	-306,13101	-200,33089	-0,6290004	-4,0651378
55	1	1	3	1	1	1	-2,316	30,695	24,543	2495,667	99,999642	44,409574	-249,42778	-916,24869	-7,7183948	-10,656768
56	1	1	3	1	1	2	1,714	37,325	24,827	2359,667	99,999858	87,921862	-339,35521	-851,91901	-6,6399729	-10,912744

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
57	1	1	3	1	1	3	-5,706	37,505	25,157	2978,667	99,999218	88,412226	-10,586591	-782,26693	-5,9385548	-6,928543
58	1	1	3	1	2	1	8,714	33,045	24,473	2367,667	99,999972	67,640634	-334,1532	-932,76141	-7,651208	-11,669146
59	1	1	3	1	2	2	12,744	39,675	24,757	2231,667	99,999989	92,969277	-434,53339	-867,38645	-6,7441718	-12,019199
60	1	1	3	1	2	3	5,324	39,855	25,087	2850,667	99,999938	93,25472	-60,475075	-796,60261	-6,0334795	-7,5707775
61	1	1	3	1	3	1	5,174	31,335	24,783	2628,667	99,999936	52,026655	-170,57706	-861,61228	-7,0958569	-9,321894
62	1	1	3	1	3	2	9,204	37,965	25,067	2492,667	99,999975	89,576826	-250,2269	-800,74114	-6,1116434	-9,5096807
63	1	1	3	1	3	3	1,784	38,145	25,397	3111,667	99,999861	90	31,560199	-734,83375	-5,4483389	-6,0327369
64	1	1	3	2	1	1	-9,966	33,715	26,863	3625,667	99,997916	72,266799	98,394205	-495,66214	-3,2339743	-2,9727002
65	1	1	3	2	1	2	-5,936	40,345	27,147	3489,667	99,999176	93,974404	96,240145	-457,95606	-2,6398248	-2,6171674
66	1	1	3	2	1	3	-13,356	40,525	27,477	4108,667	99,99545	94,21904	25,770958	-417,13032	-2,2291583	-2,9136391
67	1	1	3	2	2	1	1,064	36,065	26,793	3497,667	99,999836	83,856414	96,243054	-505,34087	-3,2148462	-3,0909799
68	1	1	3	2	2	2	5,094	42,695	27,077	3361,667	99,999935	96,492481	83,633391	-467,02212	-2,705297	-2,8338879
69	1	1	3	2	2	3	-2,326	42,875	27,407	3980,667	99,999641	96,634884	58,433536	-425,53301	-2,2889848	-2,6709983
70	1	1	3	2	3	1	-2,476	34,355	27,103	3758,667	99,999628	76,066842	91,499643	-463,63766	-2,8757118	-2,7213838
71	1	1	3	2	3	2	1,554	40,985	27,387	3622,667	99,999853	94,80004	99,587964	-427,95876	-2,3315887	-2,2837094
72	1	1	3	2	3	3	-5,866	41,165	27,717	4241,667	99,999189	95,011155	-17,865872	-389,32792	-1,9431758	-3,0719461
73	1	1	3	3	1	1	-13,106	27,175	27,943	3743,667	99,995705	-25,025903	87,294604	-364,51528	-2,8954547	-1,7722497
74	1	1	3	3	1	2	-9,076	33,805	28,227	3607,667	99,998302	72,835607	98,608291	-335,11094	-1,6227703	-1,3650434
75	1	1	3	3	1	3	-16,496	33,985	28,557	4226,667	99,990624	73,938465	-13,897347	-303,27379	-1,293447	-2,1718052
76	1	1	3	3	2	1	-2,076	29,525	27,873	3615,667	99,999661	27,22202	96,229916	-372,06304	-2,4484136	-1,7583346
77	1	1	3	3	2	2	1,954	36,155	28,157	3479,667	99,999866	84,18752	95,122579	-342,18092	-1,5799354	-1,4705848
78	1	1	3	3	2	3	-5,466	36,335	28,487	4098,667	99,99926	84,829496	28,03449	-309,82646	-1,2499771	-1,8179271
79	1	1	3	3	3	1	-5,616	27,815	28,183	3876,667	99,999234	-7,8946722	71,846953	-339,54162	-2,4743705	-1,6769543
80	1	1	3	3	3	2	-1,586	34,445	28,467	3740,667	99,999697	76,557712	93,076751	-311,71814	-1,3516073	-1,1864169
81	1	1	3	3	3	3	-9,006	34,625	28,797	4359,667	99,998329	77,509454	-66,375106	-281,59265	-1,0408487	-2,4796943
82	1	2	1	1	1	1	-20,116	31,875	25,843	2862,667	99,978423	57,635703	-56,520173	-653,35556	-4,9574144	-6,0989731
83	1	2	1	1	1	2	-16,086	38,505	26,127	2726,667	99,991469	90,795504	-117,95706	-605,66731	-4,1488034	-6,236329
84	1	2	1	1	1	3	-23,506	38,685	26,457	3345,667	99,952902	91,169201	81,153282	-554,03351	-3,6291141	-3,7292733

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
85	1	2	1	1	2	1	-9,086	34,225	25,773	2734,667	99,998298	75,339607	-114,43816	-665,59661	-4,902587	-6,8003647
86	1	2	1	1	2	2	-5,056	40,855	26,057	2598,667	99,999327	94,642033	-186,31964	-617,13348	-4,2249212	-7,0345379
87	1	2	1	1	2	3	-12,476	41,035	26,387	3217,667	99,996285	94,859563	58,071121	-564,6607	-3,6980485	-4,0659329
88	1	2	1	1	3	1	-12,626	32,515	26,083	2995,667	99,996154	63,440521	-5,5156089	-612,85303	-4,4941636	-5,1837248
89	1	2	1	1	3	2	-8,596	39,145	26,367	2859,667	99,998479	92,056718	-56,687931	-567,72863	-3,7567344	-5,2441809
90	1	2	1	1	3	3	-16,016	39,325	26,697	3478,667	99,991605	92,37921	95,439534	-518,87081	-3,265	-3,2343967
91	1	2	1	2	1	1	-27,766	34,895	28,163	3992,667	99,874397	78,86511	54,681976	-341,57045	-1,6283094	-1,8701407
92	1	2	1	2	1	2	-23,736	41,525	28,447	3856,667	99,950341	95,40802	80,931666	-313,61854	-1,1826018	-1,3273654
93	1	2	1	2	1	3	-31,156	41,705	28,777	4475,667	99,725843	95,594451	-119,19925	-283,354	-0,8803371	-3,028274
94	1	2	1	2	2	1	-16,736	37,245	28,093	3864,667	99,990092	87,697312	79,292316	-348,74539	-1,6105799	-1,6946298
95	1	2	1	2	2	2	-12,706	43,875	28,377	3728,667	99,996083	97,326994	95,130335	-320,3393	-1,2301623	-1,2521289
96	1	2	1	2	2	3	-20,126	44,055	28,707	4347,667	99,978373	97,435516	-59,738588	-289,583	-0,9216911	-2,4934322
97	1	2	1	2	3	1	-20,276	35,535	28,403	4125,667	99,977613	81,761043	19,924481	-317,83037	-1,3609171	-1,9792827
98	1	2	1	2	3	2	-16,246	42,165	28,687	3989,667	99,991149	96,03722	56,4168	-291,38124	-0,9535287	-1,3497329
99	1	2	1	2	3	3	-23,666	42,345	29,017	4608,667	99,951135	96,198106	-190,7004	-262,7438	-0,6659456	-3,5349306
100	1	2	1	3	1	1	-30,906	28,355	29,243	4110,667	99,741179	4,7203836	19,307473	-244,34993	-1,3988837	-1,2530128
101	1	2	1	3	1	2	-26,876	34,985	29,527	3974,667	99,897671	79,298587	58,662585	-222,55219	-0,4335594	-0,6399194
102	1	2	1	3	1	3	-34,296	35,165	29,857	4593,667	99,435063	80,139051	-183,44369	-198,95099	-0,1937688	-2,8295962
103	1	2	1	3	2	1	-19,876	30,705	29,173	3982,667	99,979583	44,537429	54,783984	-249,94517	-1,0542816	-0,951816
104	1	2	1	3	2	2	-15,846	37,335	29,457	3846,667	99,991928	87,949641	81,940463	-227,79325	-0,3985168	-0,4586085
105	1	2	1	3	2	3	-23,266	37,515	29,787	4465,667	99,955434	88,438878	-114,78258	-203,80856	-0,1541424	-2,186357
106	1	2	1	3	3	1	-23,416	28,995	29,483	4243,667	99,953868	17,775735	-24,009042	-225,8367	-1,081071	-1,4989187
107	1	2	1	3	3	2	-19,386	35,625	29,767	4107,667	99,981761	82,135124	25,268308	-205,21087	-0,2309399	-0,799608
108	1	2	1	3	3	3	-26,806	35,805	30,097	4726,667	99,899307	82,860427	-263,79199	-182,87854	-0,0011881	-3,4677122
109	1	2	2	1	1	1	-37,126	25,345	28,333	4106,667	98,916073	-90,546072	14,233025	-324,61956	-3,1624956	-2,1147047
110	1	2	2	1	1	2	-33,096	31,975	28,617	3970,667	99,571451	58,600033	58,246971	-297,74067	-1,3956919	-1,3992225
111	1	2	2	1	1	3	-40,516	32,155	28,947	4589,667	97,63408	60,280845	-182,80333	-268,63791	-1,1072299	-3,5380716
112	1	2	2	1	2	1	-26,096	27,695	28,263	3978,667	99,914493	-10,917482	52,246204	-331,51908	-2,4252207	-1,7935838

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
113	1	2	2	1	2	2	-22,066	34,325	28,547	3842,667	99,966194	75,900946	81,808678	-304,20344	-1,283363	-1,2242856
114	1	2	2	1	2	3	-29,486	34,505	28,877	4461,667	99,813362	76,879352	-113,70381	-274,6278	-0,9793508	-2,8851824
115	1	2	2	1	3	1	-29,636	25,985	28,573	4239,667	99,806803	-64,437172	-28,27992	-301,79081	-2,6642118	-2,3026393
116	1	2	2	1	3	2	-25,606	32,615	28,857	4103,667	99,923616	64,272716	25,255397	-276,357	-1,1216067	-1,5117799
117	1	2	2	1	3	3	-33,026	32,795	29,187	4722,667	99,578303	65,723221	-262,70789	-248,81889	-0,8351737	-4,1194848
118	1	2	2	2	1	1	-44,776	28,365	30,653	5236,667	93,690427	4,9395206	-674,67948	-148,88573	-0,5025578	-7,2987478
119	1	2	2	2	1	2	-40,746	34,995	30,937	5100,667	97,505405	79,346198	-544,8503	-133,13099	0,4372062	-5,8047588
120	1	2	2	2	1	3	-48,166	35,175	31,267	5719,667	86,227905	80,18473	-1184,8984	-116,07275	0,5033988	-12,147433
121	1	2	2	2	2	1	-33,746	30,715	30,583	5108,667	99,502263	44,664989	-555,24815	-152,9298	-0,0876255	-6,0867569
122	1	2	2	2	2	2	-29,716	37,345	30,867	4972,667	99,803211	87,977356	-438,94397	-136,91906	0,5086151	-4,7605981
123	1	2	2	2	2	3	-37,136	37,525	31,197	5591,667	98,913574	88,465467	-1033,5788	-119,58365	0,6779539	-10,542489
124	1	2	2	2	3	1	-37,286	29,005	30,893	5369,667	98,875395	17,964846	-803,04666	-135,50493	-0,1866469	-8,396762
125	1	2	2	2	3	2	-33,256	35,635	31,177	5233,667	99,555369	82,176212	-663,64021	-120,5972	0,6113438	-6,8468204
126	1	2	2	2	3	3	-40,676	35,815	31,507	5852,667	97,545291	82,899847	-1350,6314	-104,45607	0,7598907	-13,575422
127	1	2	2	3	1	1	-47,916	21,825	31,733	5354,667	86,998304	-328,54852	-826,5446	-94,088588	-3,356388	-8,3363488
128	1	2	2	3	1	2	-43,886	28,455	32,017	5218,667	94,859563	6,8892125	-657,67908	-81,802562	0,1994621	-6,4462208
129	1	2	2	3	1	3	-51,306	28,635	32,347	5837,667	71,62081	10,669452	-1340,968	-68,500037	0,1379022	-13,378472
130	1	2	2	3	2	1	-36,886	24,175	31,663	5226,667	98,974348	-149,45947	-681,72963	-97,242274	-1,477274	-6,7999755
131	1	2	2	3	2	2	-32,856	30,805	31,947	5090,667	99,594491	45,799911	-539,68514	-84,756616	0,6063779	-5,2484727
132	1	2	2	3	2	3	-40,276	30,985	32,277	5709,667	97,761279	48,0004	-1176,8987	-71,237942	0,7452374	-11,503753
133	1	2	2	3	3	1	-40,426	22,465	31,973	5487,667	97,682605	-269,82818	-960,3359	-83,653834	-2,5579941	-9,4630712
134	1	2	2	3	3	2	-36,396	29,095	32,257	5351,667	99,08378	19,647388	-784,70679	-72,028341	0,4670283	-7,5765135
135	1	2	2	3	3	3	-43,816	29,275	32,587	5970,667	94,941753	22,909653	-1514,7515	-59,440996	0,5841041	-14,792507
136	1	2	3	1	1	1	-22,206	29,785	27,293	3681,667	99,965086	31,451177	94,483	-439,51062	-3,0809436	-2,4506254
137	1	2	3	1	1	2	-18,176	36,415	27,577	3545,667	99,986196	85,106389	98,429271	-405,35899	-2,2026641	-2,0694353
138	1	2	3	1	1	3	-25,596	36,595	27,907	4164,667	99,923792	85,71106	8,0311648	-368,38179	-1,8274694	-2,6042683
139	1	2	3	1	2	1	-11,176	32,135	27,223	3553,667	99,997246	60,09751	97,427617	-448,27696	-2,8818221	-2,508521
140	1	2	3	1	2	2	-7,146	38,765	27,507	3417,667	99,998911	91,330381	90,117393	-413,57042	-2,2224113	-2,2345411

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
141	1	2	3	1	2	3	-14,566	38,945	27,837	4036,667	99,993988	91,682362	45,050067	-375,99238	-1,8431603	-2,3094832
142	1	2	3	1	3	1	-14,716	30,425	27,533	3814,667	99,993777	40,843837	83,499754	-410,505	-2,6966739	-2,2701147
143	1	2	3	1	3	2	-10,686	37,055	27,817	3678,667	99,99754	87,147133	97,557286	-378,18946	-1,9104479	-1,8063463
144	1	2	3	1	3	3	-18,106	37,235	28,147	4297,667	99,986417	87,668952	-39,809609	-343,20025	-1,5554488	-2,8302345
145	1	2	3	2	1	1	-29,856	32,805	29,613	4811,667	99,796764	65,802056	-322,11103	-216,22777	-0,5062895	-4,3854203
146	1	2	3	2	1	2	-25,826	39,435	29,897	4675,667	99,919647	92,569809	-230,87673	-196,21019	-0,0372074	-3,2716727
147	1	2	3	2	1	3	-33,246	39,615	30,227	5294,667	99,556391	92,87147	-720,46658	-174,53644	0,1789142	-7,9544663
148	1	2	3	2	2	1	-18,826	35,155	29,543	4683,667	99,983968	80,093267	-236,87376	-221,36605	-0,4128882	-3,5825585
149	1	2	3	2	2	2	-14,796	41,785	29,827	4547,667	99,993661	95,674862	-156,67353	-201,02322	-0,053547	-2,5770309
150	1	2	3	2	2	3	-22,216	41,965	30,157	5166,667	99,965005	95,85046	-600,97245	-178,9973	0,1681817	-6,8000475
151	1	2	3	2	3	1	-22,366	33,445	29,853	4944,667	99,963776	70,487908	-418,87784	-199,22646	-0,2877478	-5,1814053
152	1	2	3	2	3	2	-18,336	40,075	30,137	4808,667	99,985678	93,587904	-317,53615	-180,28509	0,1328849	-3,9783556
153	1	2	3	2	3	3	-25,756	40,255	30,467	5427,667	99,920932	93,848231	-854,10386	-159,77658	0,3399258	-9,1395951
154	1	2	3	3	1	1	-32,996	26,265	30,693	4929,667	99,581206	-54,170045	-419,19234	-146,60393	-1,0119277	-4,6621507
155	1	2	3	3	1	2	-28,966	32,895	30,977	4793,667	99,834423	66,503456	-309,66791	-130,99363	0,3534425	-3,4082712
156	1	2	3	3	1	3	-36,386	33,075	31,307	5412,667	99,085887	67,863395	-841,47529	-114,09178	0,528575	-8,5648118
157	1	2	3	3	2	1	-21,966	28,615	30,623	4801,667	99,966963	10,257121	-320,19048	-150,61093	-0,4038684	-3,7083444
158	1	2	3	3	2	2	-17,936	35,245	30,907	4665,667	99,986938	80,501554	-225,78393	-134,74697	0,4574152	-2,6054397
159	1	2	3	3	2	3	-25,356	35,425	31,237	5284,667	99,927889	81,293179	-712,07594	-117,5705	0,6365057	-7,2971854
160	1	2	3	3	3	1	-25,506	26,905	30,933	5062,667	99,925355	-33,045442	-523,88201	-133,34581	-0,6646589	-5,5730246
161	1	2	3	3	3	2	-21,476	33,535	31,217	4926,667	99,970488	71,093201	-405,07629	-118,57475	0,5248893	-4,2368056
162	1	2	3	3	3	3	-28,896	33,715	31,547	5545,667	99,837707	72,266799	-983,79912	-102,5816	0,6952227	-9,8654365
163	1	3	1	1	1	1	-33,726	33,415	26,603	3123,667	99,50455	70,28334	34,113126	-532,41185	-3,6262396	-3,9879418
164	1	3	1	1	1	2	-29,696	40,045	26,887	2987,667	99,804116	93,543458	-7,2419015	-492,37947	-2,990319	-3,9981726
165	1	3	1	1	1	3	-37,116	40,225	27,217	3606,667	98,918566	93,805589	99,673956	-449,03496	-2,5631081	-2,5044244
166	1	3	1	1	2	1	-22,696	35,765	26,533	2995,667	99,960916	82,701836	-4,8434049	-542,68772	-3,6002496	-4,4757021
167	1	3	1	1	2	2	-18,666	42,395	26,817	2859,667	99,984547	96,241626	-56,554842	-502,00486	-3,0577869	-4,5857516
168	1	3	1	1	2	3	-26,086	42,575	27,147	3478,667	99,91469	96,394214	95,628481	-457,95606	-2,6164716	-2,6241289

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
169	1	3	1	1	3	1	-26,236	34,055	26,843	3256,667	99,911692	74,35516	65,297956	-498,4116	-3,2414474	-3,3320195
170	1	3	1	1	3	2	-22,206	40,685	27,127	3120,667	99,965086	94,428143	34,211421	-460,53147	-2,6613824	-3,2635496
171	1	3	1	1	3	3	-29,626	40,865	27,457	3739,667	99,807248	94,654356	94,141665	-419,51728	-2,2505568	-2,2556837
172	1	3	1	2	1	1	-41,376	36,435	28,923	4253,667	97,115968	85,174819	-22,996513	-270,68072	-0,8838993	-1,9656127
173	1	3	1	2	1	2	-37,346	43,065	29,207	4117,667	98,85975	96,778931	23,301682	-247,21622	-0,5157753	-1,2505478
174	1	3	1	2	1	3	-44,766	43,245	29,537	4736,667	93,704938	96,909705	-269,03242	-221,81034	-0,311957	-3,9713783
175	1	3	1	2	2	1	-30,346	38,785	28,853	4125,667	99,77249	91,370215	20,560547	-276,7038	-0,8556109	-1,5637076
176	1	3	1	2	2	2	-26,316	45,415	29,137	3989,667	99,91005	98,125005	56,546037	-252,85803	-0,5482297	-0,9640194
177	1	3	1	2	2	3	-33,736	45,595	29,467	4608,667	99,503408	98,201129	-190,53495	-227,03934	-0,293348	-3,1807088
178	1	3	1	2	3	1	-33,886	37,075	29,163	4386,667	99,485956	87,206187	-77,586589	-250,75187	-0,6405973	-2,2885251
179	1	3	1	2	3	2	-29,856	43,705	29,447	4250,667	99,796764	97,220287	-21,031822	-228,54889	-0,3153184	-1,4978394
180	1	3	1	2	3	3	-37,276	43,885	29,777	4869,667	98,877982	97,333141	-360,35443	-204,50891	-0,0829778	-4,6598536
181	1	3	1	3	1	1	-44,516	29,895	30,003	4371,667	94,057078	33,165608	-74,924864	-189,06799	-0,618453	-1,6993577
182	1	3	1	3	1	2	-40,486	36,525	30,287	4235,667	97,650367	85,478884	-16,342515	-170,76966	0,1235959	-0,8946181
183	1	3	1	3	1	3	-47,906	36,705	30,617	4854,667	87,028207	86,068432	-350,57803	-150,9574	0,2213924	-4,1450722
184	1	3	1	3	2	1	-33,486	32,245	29,933	4243,667	99,531187	61,095486	-20,975174	-193,76497	-0,3313829	-1,1520895
185	1	3	1	3	2	2	-29,456	38,875	30,217	4107,667	99,814647	91,547212	25,885904	-175,16931	0,1619255	-0,4946876
186	1	3	1	3	2	3	-36,876	39,055	30,547	4726,667	98,976707	91,890389	-263,00743	-155,03513	0,3583197	-3,1906585
187	1	3	1	3	3	1	-37,026	30,535	30,243	4504,667	98,940746	42,323354	-138,14355	-173,52687	-0,3226277	-2,1272968
188	1	3	1	3	3	2	-32,996	37,165	30,527	4368,667	99,581206	87,468588	-69,568721	-156,21231	0,3083748	-1,2619983
189	1	3	1	3	3	3	-40,416	37,345	30,857	4987,667	97,687935	87,977356	-450,76867	-137,46521	0,4820008	-4,9054594
190	1	3	2	1	1	1	-50,736	26,885	29,093	4367,667	75,111427	-33,659552	-78,115917	-256,45113	-2,1499926	-2,5945562
191	1	3	2	1	1	2	-46,706	33,515	29,377	4231,667	90,159889	70,959773	-15,904819	-233,88738	-0,7276771	-1,5963231
192	1	3	2	1	1	3	-54,126	33,695	29,707	4850,667	45,674967	72,138788	-348,99025	-209,45678	-0,9164302	-5,1277207
193	1	3	2	1	2	1	-39,706	29,235	29,023	4239,667	98,03664	22,196345	-22,224036	-262,243	-1,4201001	-1,864304
194	1	3	2	1	2	2	-35,676	35,865	29,307	4103,667	99,223753	83,095591	26,4881	-239,31261	-0,5699327	-1,1360076
195	1	3	2	1	2	3	-43,096	36,045	29,637	4722,667	95,714515	83,781899	-261,14155	-214,48505	-0,3498863	-3,7991208
196	1	3	2	1	3	1	-43,246	27,525	29,333	4500,667	95,563914	-15,345326	-140,61716	-237,28731	-1,5706872	-2,8234055

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
197	1	3	2	1	3	2	-39,216	34,155	29,617	4364,667	98,246119	74,938907	-68,744718	-215,93664	-0,4275162	-1,8643524
198	1	3	2	1	3	3	-46,636	34,335	29,947	4983,667	90,317221	75,956372	-448,76394	-192,8195	-0,2654591	-5,5126622
199	1	3	2	2	1	1	-58,386	29,905	31,413	5497,667	-44,877185	33,319323	-935,666	-108,92961	-1,2048748	-10,894728
200	1	3	2	2	1	2	-54,356	36,535	31,697	5361,667	42,720397	85,512281	-787,40448	-95,704134	0,3252854	-8,4038822
201	1	3	2	2	1	3	-61,776	36,715	32,027	5980,667	-216,22777	86,100474	-1519,5586	-81,384428	-2,1151172	-18,171708
202	1	3	2	2	2	1	-47,356	32,255	31,343	5369,667	88,571217	61,184963	-798,20038	-112,32445	0,3743173	-8,2195361
203	1	3	2	2	2	2	-43,326	38,885	31,627	5233,667	95,481441	91,566652	-662,63992	-98,884071	0,8816402	-6,6604255
204	1	3	2	2	2	3	-50,746	39,065	31,957	5852,667	75,054053	91,909041	-1349,4313	-84,331688	0,8263141	-13,58709
205	1	3	2	2	3	1	-50,896	30,545	31,653	5630,667	74,177398	42,456006	-1084,0449	-97,696964	0,1893644	-11,075645
206	1	3	2	2	3	2	-46,866	37,175	31,937	5494,667	89,790605	87,49741	-926,04912	-85,182524	0,9210549	-9,2144104
207	1	3	2	2	3	3	-54,286	37,355	32,267	6113,667	43,636234	88,005007	-1705,1602	-71,632686	0,6000856	-17,331566
208	1	3	2	3	1	1	-61,526	23,365	32,493	5615,667	-198,53826	-200,60763	-1096,493	-62,929603	-4,620755	-13,579608
209	1	3	2	3	1	2	-57,496	29,995	32,777	5479,667	-18,032064	34,686945	-916,04895	-52,615977	-0,359611	-9,8669699
210	1	3	2	3	1	3	-64,916	30,175	33,107	6098,667	-551,62839	37,338614	-1691,0211	-41,449039	-5,5573882	-22,840985
211	1	3	2	3	2	1	-50,496	25,715	32,423	5487,667	76,449507	-74,984669	-937,51727	-65,576996	-0,6411216	-9,2664476
212	1	3	2	3	2	2	-46,466	32,345	32,707	5351,667	90,688921	61,98106	-779,99168	-55,095787	0,9757419	-7,4439854
213	1	3	2	3	2	3	-53,886	32,525	33,037	5970,667	48,595635	63,524605	-1509,1208	-43,747401	0,6837284	-15,042726
214	1	3	2	3	3	1	-54,036	24,005	32,733	5748,667	46,789174	-159,41794	-1251,0466	-54,170045	-1,6679881	-12,584275
215	1	3	2	3	3	2	-50,006	30,635	33,017	5612,667	78,962216	43,636234	-1063,0824	-44,410908	0,7818754	-10,28531
216	1	3	2	3	3	3	-57,426	30,815	33,347	6231,667	-16,144861	45,924568	-1884,8742	-33,844337	-0,0406463	-19,348634
217	1	3	3	1	1	1	-35,816	31,325	28,053	3942,667	99,198322	51,916065	63,579332	-352,89758	-2,0178319	-1,9011993
218	1	3	3	1	1	2	-31,786	37,955	28,337	3806,667	99,683043	89,552798	87,22073	-324,22865	-1,3499281	-1,3732488
219	1	3	3	1	1	3	-39,206	38,135	28,667	4425,667	98,250153	89,976948	-95,339984	-293,18777	-1,0496067	-2,902776
220	1	3	3	1	2	1	-24,786	33,675	27,983	3814,667	99,936759	72,010187	85,263464	-360,25657	-1,8830963	-1,7505635
221	1	3	3	1	2	2	-20,756	40,305	28,267	3678,667	99,974997	93,91865	97,913651	-331,12182	-1,3722817	-1,3323317
222	1	3	3	1	2	3	-28,176	40,485	28,597	4297,667	99,861962	94,165549	-39,342972	-299,57656	-1,0554905	-2,3905757
223	1	3	3	1	3	1	-28,326	31,965	28,293	4075,667	99,857111	58,504596	32,741137	-328,54852	-1,7018681	-1,9595027
224	1	3	3	1	3	2	-24,296	38,595	28,577	3939,667	99,943506	90,984289	66,52615	-301,42092	-1,1049312	-1,3495126

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
225	1	3	3	1	3	3	-31,716	38,775	28,907	4558,667	99,688111	91,350321	-163,00983	-272,04888	-0,8101045	-3,3537059
226	1	3	3	2	1	1	-43,466	34,345	30,373	5072,667	95,333406	76,011671	-521,39914	-165,46056	0,0588452	-5,9152629
227	1	3	3	2	1	2	-39,436	40,975	30,657	4936,667	98,154985	94,788053	-410,44331	-148,65661	0,4428643	-4,6094493
228	1	3	3	2	1	3	-46,856	41,155	30,987	5555,667	89,814086	94,999655	-992,21749	-130,46236	0,5435138	-10,328658
229	1	3	3	2	2	1	-32,436	36,695	30,303	4944,667	99,631871	86,036316	-417,39945	-169,77394	0,1589424	-4,8754152
230	1	3	3	2	2	2	-28,406	43,325	30,587	4808,667	99,854454	96,966109	-317,23236	-152,69695	0,4412361	-3,7007486
231	1	3	3	2	2	3	-35,826	43,505	30,917	5427,667	99,196474	97,089283	-853,73255	-134,20707	0,6207869	-8,8874315
232	1	3	3	2	3	1	-35,976	34,985	30,613	5205,667	99,168236	79,298587	-638,03545	-151,18864	0,2727818	-6,9005586
233	1	3	3	2	3	2	-31,946	41,615	30,897	5069,667	99,671148	95,502201	-516,92882	-135,28812	0,5988523	-5,525458
234	1	3	3	2	3	3	-39,366	41,795	31,227	5688,667	98,184484	95,684809	-1145,6854	-118,07205	0,7579725	-11,65573
235	1	3	3	3	1	1	-46,606	27,805	31,453	5190,667	90,383877	-8,1433951	-633,50064	-107,01413	-0,2477365	-6,501309
236	1	3	3	3	1	2	-42,576	34,435	31,737	5054,667	96,198106	76,503672	-506,29403	-93,909908	0,7879187	-5,0400583
237	1	3	3	3	1	3	-49,996	34,615	32,067	5673,667	79,010601	77,457608	-1130,1443	-79,721486	0,7674672	-11,308552
238	1	3	3	3	2	1	-35,576	30,155	31,383	5062,667	99,241422	37,049382	-516,8953	-110,37784	0,2591296	-5,2803172
239	1	3	3	3	2	2	-31,546	36,785	31,667	4926,667	99,700084	86,322712	-403,63875	-97,06069	0,8896211	-4,0099936
240	1	3	3	3	2	3	-38,966	36,965	31,997	5545,667	98,34423	86,878001	-982,0516	-82,641725	1,0258051	-9,663491
241	1	3	3	3	3	1	-39,116	28,445	31,693	5323,667	98,286043	6,6745699	-758,26942	-95,884467	0,0907615	-7,5586785
242	1	3	3	3	3	2	-35,086	35,075	31,977	5187,667	99,322358	79,723173	-621,57016	-83,484761	0,9556077	-6,0573256
243	1	3	3	3	3	3	-42,506	35,255	32,307	5806,667	96,258894	80,546399	-1292,3569	-70,059148	1,0674614	-12,661571
244	2	1	1	1	1	1	-26,096	32,575	28,463	584,667	99,914493	63,942136	-2495,1303	-312,09752	-1,4824089	-27,073133
245	2	1	1	1	1	2	-22,066	39,205	28,747	448,667	99,966194	92,165704	-2734,4586	-286,01128	-0,9387939	-29,205037
246	2	1	1	1	1	3	-29,486	39,385	29,077	1067,667	99,813362	92,483771	-1730,3331	-257,76677	-0,6546964	-18,882865
247	2	1	1	1	2	1	-15,066	34,925	28,393	456,667	99,993255	79,010601	-2720,0967	-318,79357	-1,3978971	-29,38897
248	2	1	1	1	2	2	-11,036	41,555	28,677	320,667	99,997333	95,439631	-2969,3887	-292,28346	-0,968465	-31,616748
249	2	1	1	1	2	3	-18,456	41,735	29,007	939,667	99,985277	95,624779	-1920,0207	-263,58001	-0,6796996	-20,836154
250	2	1	1	1	3	1	-18,606	33,215	28,703	717,667	99,984759	68,882837	-2271,2662	-289,94199	-1,2107439	-24,612234
251	2	1	1	1	3	2	-14,576	39,845	28,987	581,667	99,993974	93,23917	-2500,2576	-265,25822	-0,7202508	-26,655219
252	2	1	1	1	3	3	-21,996	40,025	29,317	1200,667	99,966734	93,513656	-1543,1275	-238,53221	-0,4505182	-16,816929

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
253	2	1	1	2	1	1	-33,746	35,595	30,783	1714,667	99,502263	82,011291	-914,7166	-141,54608	0,3996747	-9,5676042
254	2	1	1	2	1	2	-29,716	42,225	31,067	1578,667	99,803211	96,091591	-1066,193	-126,25595	0,6963886	-10,926457
255	2	1	1	2	1	3	-37,136	42,405	31,397	2197,667	98,913574	96,25027	-461,35473	-109,70076	0,8546309	-4,7214192
256	2	1	1	2	2	1	-22,716	37,945	30,713	1586,667	99,960736	89,528715	-1057,0451	-145,47089	0,4401856	-11,025553
257	2	1	1	2	2	2	-18,686	44,575	30,997	1450,667	99,984476	97,724903	-1218,5425	-129,93231	0,6777707	-12,484903
258	2	1	1	2	2	3	-26,106	44,755	31,327	2069,667	99,914296	97,81727	-568,46104	-113,10812	0,8462345	-5,8165486
259	2	1	1	2	3	1	-26,256	36,235	31,023	1847,667	99,911284	84,47613	-776,6293	-128,55988	0,5582753	-8,052779
260	2	1	1	2	3	2	-22,226	42,865	31,307	1711,667	99,964925	96,627127	-917,78056	-114,09178	0,8250027	-9,3190742
261	2	1	1	2	3	3	-29,646	43,045	31,637	2330,667	99,806358	96,764063	-359,93481	-98,42665	0,9814377	-3,585551
262	2	1	1	3	1	1	-36,886	29,055	31,863	1832,667	98,974348	18,903894	-792,55106	-88,364909	0,2951333	-7,8194162
263	2	1	1	3	1	2	-32,856	35,685	32,147	1696,667	99,594491	82,38024	-934,1725	-76,441199	1,0553353	-9,1101921
264	2	1	1	3	1	3	-40,276	35,865	32,477	2315,667	97,761279	83,095591	-371,15189	-63,530965	1,173259	-3,3692157
265	2	1	1	3	2	1	-25,856	31,405	31,793	1704,667	99,91909	52,793696	-925,83507	-91,425593	0,6128719	-9,1734157
266	2	1	1	3	2	2	-21,826	38,035	32,077	1568,667	99,968011	89,743481	-1077,8203	-79,308138	1,1040335	-10,571604
267	2	1	1	3	2	3	-29,246	38,215	32,407	2187,667	99,823396	90,159889	-469,501	-66,18813	1,2379516	-4,3586573
268	2	1	1	3	3	1	-29,396	29,695	32,103	1965,667	99,81719	30,0158	-663,41438	-78,237877	0,5159511	-6,4183507
269	2	1	1	3	3	2	-25,366	36,325	32,387	1829,667	99,927723	84,794525	-794,71891	-66,955219	1,1776703	-7,6174641
270	2	1	1	3	3	3	-32,786	36,505	32,717	2448,667	99,600975	85,411857	-278,68037	-54,739076	1,3027376	-2,3381847
271	2	1	2	1	1	1	-43,106	26,045	30,953	1828,667	95,704636	-62,18101	-797,64091	-132,27368	-0,9875005	-8,3420995
272	2	1	2	1	1	2	-39,076	32,675	31,237	1692,667	98,301756	64,762913	-938,71839	-117,5705	0,4549417	-9,5798713
273	2	1	2	1	1	3	-46,496	32,855	31,567	2311,667	90,62438	66,193516	-374,43906	-101,65082	0,5516707	-3,854655
274	2	1	2	1	2	1	-32,076	28,395	30,883	1700,667	99,661156	5,5939124	-930,69572	-136,04782	-0,3079276	-9,6708239
275	2	1	2	1	2	2	-28,046	35,025	31,167	1564,667	99,866032	79,488378	-1082,5602	-121,10573	0,5824868	-11,037999
276	2	1	2	1	2	3	-35,466	35,205	31,497	2183,667	99,260395	80,321137	-472,91218	-104,92739	0,7465415	-4,7857917
277	2	1	2	1	3	1	-35,616	26,685	31,193	1961,667	99,234403	-39,958732	-668,19358	-119,78599	-0,6051032	-6,8874517
278	2	1	2	1	3	2	-31,586	33,315	31,477	1825,667	99,697309	69,59115	-798,96195	-105,87329	0,6341517	-8,0513793
279	2	1	2	1	3	3	-39,006	33,495	31,807	2444,667	98,328909	70,82573	-281,65171	-90,809503	0,7834514	-2,7413231
280	2	1	2	2	1	1	-50,756	29,065	33,273	2958,667	74,996546	19,09041	-20,148861	-36,144468	0,5794249	0,1870322

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
281	2	1	2	2	1	2	-46,726	35,695	33,557	2822,667	90,114469	82,420764	-73,007236	-27,526371	1,4500886	-0,1041914
282	2	1	2	2	1	3	-54,146	35,875	33,887	3441,667	45,424214	83,13447	92,067871	-18,195244	1,1036344	1,1929684
283	2	1	2	2	2	1	-39,726	31,415	33,203	2830,667	98,027577	52,902267	-70,398577	-38,356638	1,1257321	-0,1072764
284	2	1	2	2	2	2	-35,696	38,045	33,487	2694,667	99,22017	89,76707	-134,22508	-29,598507	1,5938873	-0,6460342
285	2	1	2	2	2	3	-43,116	38,225	33,817	3313,667	95,694734	90,182521	76,18037	-20,115762	1,6576149	1,5175934
286	2	1	2	2	3	1	-43,266	29,705	33,513	3091,667	95,543438	30,17676	23,651969	-28,824955	0,9689524	0,9037045
287	2	1	2	2	3	2	-39,236	36,335	33,797	2955,667	98,238024	84,829496	-19,010752	-20,670191	1,6239733	0,5855708
288	2	1	2	2	3	3	-46,656	36,515	34,127	3574,667	90,272528	85,445409	99,093562	-11,840732	1,6387721	1,7752536
289	2	1	2	3	1	1	-53,896	22,525	34,353	3076,667	48,477136	-264,75395	8,4032794	-6,1695557	-2,2244637	0,5071086
290	2	1	2	3	1	2	-49,866	29,155	34,637	2940,667	79,629579	20,749867	-26,741833	0,5510963	1,0093054	0,5343884
291	2	1	2	3	1	3	-57,286	29,335	34,967	3559,667	-12,460497	23,967372	95,789015	7,8277901	0,1933467	0,9115631
292	2	1	2	3	2	1	-42,866	24,875	34,283	2948,667	95,935567	-112,32445	-28,263256	-7,8946722	-0,2428355	0,5977764
293	2	1	2	3	2	2	-38,836	31,505	34,567	2812,667	98,393059	53,868243	-78,347648	-1,0648184	1,5119648	0,1898059
294	2	1	2	3	2	3	-46,256	31,685	34,897	3431,667	91,12844	55,741163	89,885482	6,3301122	1,5319971	1,8734403
295	2	1	2	3	3	1	-46,406	23,165	34,593	3209,667	90,816674	-214,77483	43,902877	-0,461579	-1,2441974	1,3425797
296	2	1	2	3	3	2	-42,376	29,795	34,877	3073,667	96,369219	31,608835	18,419105	5,8977516	1,3387581	1,2068608
297	2	1	2	3	3	3	-49,796	29,975	35,207	3692,667	79,95528	34,385473	94,069639	12,78323	1,2712398	1,8680815
298	2	1	3	1	1	1	-28,186	30,485	29,913	1403,667	99,861643	41,65549	-1277,2664	-195,12092	-0,5360379	-13,725257
299	2	1	3	1	1	2	-24,156	37,115	30,197	1267,667	99,945298	87,323481	-1452,6868	-176,43944	0,1082934	-15,291809
300	2	1	3	1	1	3	-31,576	37,295	30,527	1886,667	99,698005	87,83814	-738,01425	-156,21231	0,3132383	-7,9452856
301	2	1	3	1	2	1	-17,156	32,835	29,843	1275,667	99,989086	66,037473	-1442,1898	-199,91625	-0,3388969	-15,421169
302	2	1	3	1	2	2	-13,126	39,465	30,127	1139,667	99,995685	92,620958	-1627,7374	-180,93122	0,1168543	-17,08673
303	2	1	3	1	2	3	-20,546	39,645	30,457	1758,667	99,976177	92,920542	-867,79523	-160,37543	0,3252129	-9,2819448
304	2	1	3	1	3	1	-20,696	31,125	30,153	1536,667	99,97534	49,649939	-1115,5826	-179,25438	-0,2962911	-11,948616
305	2	1	3	1	3	2	-16,666	37,755	30,437	1400,667	99,99025	89,060436	-1280,6666	-161,57727	0,2747342	-13,422536
306	2	1	3	1	3	3	-24,086	37,935	30,767	2019,667	99,946173	89,504576	-612,98309	-142,43761	0,4701314	-6,5547453
307	2	1	3	2	1	1	-35,836	33,505	32,233	2533,667	99,194622	70,892829	-225,2652	-72,981636	0,9710581	-1,9905221
308	2	1	3	2	1	2	-31,806	40,135	32,517	2397,667	99,68158	93,675881	-312,74224	-62,031704	1,3132576	-2,7509236

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
309	2	1	3	2	1	3	-39,226	40,315	32,847	3016,667	98,242076	93,932637	2,6641553	-50,175816	1,419989	0,5073042
310	2	1	3	2	2	1	-24,806	35,855	32,163	2405,667	99,936467	83,056622	-307,50978	-75,792361	1,0720073	-2,8336567
311	2	1	3	2	2	2	-20,776	42,485	32,447	2269,667	99,974881	96,31871	-405,2016	-64,664508	1,3162908	-3,6989123
312	2	1	3	2	2	3	-28,196	42,665	32,777	2888,667	99,861324	96,468168	-44,534331	-52,615977	1,4371352	0,0271102
313	2	1	3	2	3	1	-28,346	34,145	32,473	2666,667	99,856451	74,881136	-149,32482	-63,681652	1,1105593	-1,1315002
314	2	1	3	2	3	2	-24,316	40,775	32,757	2530,667	99,943246	94,542421	-226,50314	-53,32042	1,4116525	-1,7988032
315	2	1	3	2	3	3	-31,736	40,955	33,087	3149,667	99,686671	94,763996	41,915383	-42,101938	1,5234873	0,9950012
316	2	1	3	3	1	1	-38,976	26,965	33,313	2651,667	98,340413	-31,21999	-160,27419	-34,896288	0,3222413	-0,9683007
317	2	1	3	3	1	2	-34,946	33,595	33,597	2515,667	99,343855	71,489817	-236,2893	-26,357202	1,4447647	-1,6330265
318	2	1	3	3	1	3	-42,366	33,775	33,927	3134,667	96,37757	72,647313	37,151952	-17,111623	1,5191326	1,164179
319	2	1	3	3	2	1	-27,946	29,315	33,243	2523,667	99,869082	23,616422	-232,54596	-37,088177	0,8639733	-1,6976506
320	2	1	3	3	2	2	-23,916	35,945	33,527	2387,667	99,948239	83,404131	-319,86067	-28,410341	1,5494203	-2,4832277
321	2	1	3	3	2	3	-31,336	36,125	33,857	3006,667	99,714241	84,077913	-1,0392862	-19,014534	1,6477762	0,7966042
322	2	1	3	3	3	1	-31,486	27,605	33,553	2784,667	99,704199	-13,240036	-93,151262	-27,643881	0,5882028	-0,2109094
323	2	1	3	3	3	2	-27,456	34,235	33,837	2648,667	99,88305	75,396324	-158,98392	-19,56388	1,5571549	-0,7866475
324	2	1	3	3	3	3	-34,876	34,415	34,167	3267,667	99,354346	76,395218	67,496826	-10,81537	1,6493419	1,560358
325	2	2	1	1	1	1	-45,986	31,665	31,213	1770,667	91,663188	55,536873	-855,68013	-118,77616	0,284239	-8,8279311
326	2	2	1	1	1	2	-41,956	38,295	31,497	1634,667	96,703903	90,339491	-1002,5351	-104,92739	0,8211601	-10,107586
327	2	2	1	1	1	3	-49,376	38,475	31,827	2253,667	81,802991	90,731702	-417,5344	-89,932813	0,8260188	-4,2566422
328	2	2	1	1	2	1	-34,956	34,015	31,143	1642,667	99,342342	74,117871	-993,74954	-122,33099	0,5112922	-10,167382
329	2	2	1	1	2	2	-30,926	40,645	31,427	1506,667	99,739984	94,376587	-1150,7614	-108,25719	0,8585938	-11,592786
330	2	2	1	1	2	3	-38,346	40,825	31,757	2125,667	98,564511	94,604894	-520,49476	-93,018973	1,0015043	-5,1494923
331	2	2	1	1	3	1	-38,496	32,305	31,453	1903,667	98,514064	61,629275	-721,84263	-107,01413	0,531292	-7,303427
332	2	2	1	1	3	2	-34,466	38,935	31,737	1767,667	99,412511	91,663188	-858,37462	-93,909908	0,9716579	-8,5287202
333	2	2	1	1	3	3	-41,886	39,115	32,067	2386,667	96,756604	92,001657	-320,36224	-79,721486	1,0903678	-3,0332712
334	2	2	1	2	1	1	-53,636	34,685	33,533	2900,667	51,471115	77,818036	-40,313988	-28,233058	1,0105613	-0,170759
335	2	2	1	2	1	2	-49,606	41,315	33,817	2764,667	80,813313	95,180522	-99,302224	-20,115762	1,5587807	-0,3860467
336	2	2	1	2	1	3	-57,026	41,495	34,147	3383,667	-5,9253725	95,37619	86,436596	-11,32687	0,7812395	0,6918435

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
337	2	2	1	2	2	1	-42,606	37,035	33,463	2772,667	96,171753	87,087807	-95,748568	-30,316678	1,5294288	-0,2989349
338	2	2	1	2	2	2	-38,576	43,665	33,747	2636,667	98,486439	97,194566	-164,94627	-22,067486	1,7361352	-0,8852732
339	2	2	1	2	2	3	-45,996	43,845	34,077	3255,667	91,64397	97,308465	66,048468	-13,135786	1,7581665	1,4455665
340	2	2	1	2	3	1	-46,146	35,325	33,773	3033,667	91,350321	80,857441	7,7720562	-21,338885	1,5086888	0,7778349
341	2	2	1	2	3	2	-42,116	41,955	34,057	2897,667	96,580206	95,840894	-40,924164	-13,657997	1,787631	0,4199804
342	2	2	1	2	3	3	-49,536	42,135	34,387	3516,667	81,120087	96,009751	97,826043	-5,3416217	1,7178822	1,7360451
343	2	2	1	3	1	1	-56,776	28,145	34,613	3018,667	0	0	0	0	0	0
344	2	2	1	3	1	2	-52,746	34,775	34,897	2882,667	60,463338	78,272988	-47,568448	6,3301122	1,4506644	0,19225
345	2	2	1	3	1	3	-60,166	34,955	35,227	3501,667	-118,27299	79,155091	96,24621	13,183954	-0,2593395	-0,0884283
346	2	2	1	3	2	1	-45,746	30,495	34,543	2890,667	92,111399	41,789678	-45,500333	-1,6248693	1,3227621	0,449862
347	2	2	1	3	2	2	-41,716	37,125	34,827	2754,667	96,88111	87,352637	-104,3291	4,808099	1,8904185	-0,0263989
348	2	2	1	3	2	3	-49,136	37,305	35,157	3373,667	82,781314	87,866111	84,841953	11,773307	1,8242073	1,7939657
349	2	2	1	3	3	1	-49,286	28,785	34,853	3151,667	82,176212	13,702145	39,296813	5,3762839	1,0125464	1,2684931
350	2	2	1	3	3	2	-45,256	35,415	35,137	3015,667	92,953069	81,250055	1,882484	11,366071	1,855692	1,0620162
351	2	2	1	3	3	3	-52,676	35,595	35,467	3634,667	61,095486	82,011291	98,732803	17,851431	1,6095821	1,7767972
352	2	2	2	1	1	1	-62,996	25,135	33,703	3014,667	-318,79357	-99,986187	-4,8564014	-23,310483	-4,4209024	-3,4696045
353	2	2	2	1	1	2	-58,966	31,765	33,987	2878,667	-65,576996	56,548978	-49,909068	-15,504791	-0,2453281	-1,3099086
354	2	2	2	1	1	3	-66,386	31,945	34,317	3497,667	-814,11324	58,313062	95,027811	-7,0532854	-7,6285347	-7,2613872
355	2	2	2	1	2	1	-51,966	27,485	33,633	2886,667	66,963046	-16,412603	-49,005403	-25,314117	0,2523633	-0,0735647
356	2	2	2	1	2	2	-47,936	34,115	33,917	2750,667	86,938291	74,70702	-106,63486	-17,381593	1,4426372	-0,3707816
357	2	2	2	1	2	3	-55,356	34,295	34,247	3369,667	27,889252	75,733899	83,786138	-8,7927613	0,9483039	1,0288263
358	2	2	2	1	3	1	-55,506	25,775	33,943	3147,667	25,355124	-72,583789	34,952358	-16,680962	-0,6390963	0,4362652
359	2	2	2	1	3	2	-51,476	32,405	34,227	3011,667	70,487908	62,5027	-0,1158304	-9,2949259	1,2369568	0,6107715
360	2	2	2	1	3	3	-58,896	32,585	34,557	3630,667	-62,929603	64,025066	97,887405	-1,2977969	-0,0020233	0,3366
361	2	2	2	2	1	1	-70,646	28,155	36,023	4144,667	-2337,8108	0,2299936	8,6623247	27,72302	-23,098578	-23,014255
362	2	2	2	2	1	2	-66,616	34,785	36,307	4008,667	-863,82902	78,322959	50,978138	32,298234	-7,5320783	-7,8055265
363	2	2	2	2	1	3	-74,036	34,965	36,637	4627,667	-5221,0826	79,203033	-203,16128	37,251984	-51,046276	-53,869919
364	2	2	2	2	2	1	-59,616	30,505	35,953	4016,667	-92,309173	41,923558	46,804429	26,548613	-0,23837	-0,1895613

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
365	2	2	2	2	2	2	-55,586	37,135	36,237	3880,667	23,967372	87,381725	76,777539	31,198168	1,4254727	1,3194308
366	2	2	2	2	2	3	-63,006	37,315	36,567	4499,667	-319,75898	87,894019	-131,97033	36,232411	-1,9563255	-4,1549691
367	2	2	2	2	3	1	-63,156	28,795	36,263	4277,667	-334,51022	13,900625	-37,199924	31,608835	-2,8900076	-3,4010131
368	2	2	2	2	3	2	-59,126	35,425	36,547	4141,667	-71,790839	81,293179	15,009715	35,938073	0,4544041	-0,2084305
369	2	2	2	2	3	3	-66,546	35,605	36,877	4760,667	-848,41846	82,052664	-286,08142	40,625495	-7,257403	-10,938744
370	2	2	2	3	1	1	-73,786	21,615	37,103	4262,667	-4923,4259	-349,77985	-57,117392	43,636234	-52,295695	-49,369071
371	2	2	2	3	1	2	-69,756	28,245	37,387	4126,667	-1886,0949	2,2762779	14,359602	47,204124	-18,366145	-18,245312
372	2	2	2	3	1	3	-77,176	28,425	37,717	4745,667	-10864,782	6,2437993	-282,83705	51,067208	-108,07471	-110,96552
373	2	2	2	3	2	1	-62,756	23,965	37,033	4134,667	-296,27803	-161,8183	1,0016359	42,720397	-4,1537594	-2,52556
374	2	2	2	3	2	2	-58,726	30,595	37,317	3998,667	-56,675107	43,114707	51,099872	46,34626	0,3278586	0,4077102
375	2	2	2	3	2	3	-66,146	30,775	37,647	4617,667	-764,96792	45,424214	-200,11709	50,272114	-6,6927159	-9,148129
376	2	2	2	3	3	1	-66,296	22,255	37,343	4395,667	-795,36477	-288,15037	-109,85986	46,66651	-10,368486	-8,5855812
377	2	2	2	3	3	2	-62,266	28,885	37,627	4259,667	-253,99734	15,666524	-30,153289	50,04258	-1,8828824	-2,3410805
378	2	2	2	3	3	3	-69,686	29,065	37,957	4878,667	-1854,3395	19,09041	-374,14366	53,697973	-17,815511	-21,747851
379	2	2	3	1	1	1	-48,076	29,575	32,663	2589,667	86,510371	28,055102	-193,22277	-56,675107	0,5789037	-1,633875
380	2	2	3	1	1	2	-44,046	36,205	32,947	2453,667	94,666651	84,368524	-275,42722	-46,757397	1,3227778	-2,2751796
381	2	2	3	1	1	3	-51,466	36,385	33,277	3072,667	70,555784	85,003152	20,080448	-36,019132	1,195398	0,546171
382	2	2	3	1	2	1	-37,046	31,925	32,593	2461,667	98,935857	58,120643	-270,8315	-59,220873	0,9783563	-2,3111651
383	2	2	3	1	2	2	-33,016	38,555	32,877	2325,667	99,579273	90,900867	-363,68788	-49,142013	1,4133813	-3,1325062
384	2	2	3	1	2	3	-40,436	38,735	33,207	2944,667	97,677263	91,270286	-22,870154	-38,229265	1,5071828	0,3657784
385	2	2	3	1	3	1	-40,586	30,215	32,903	2722,667	97,595637	37,913097	-121,47946	-48,251809	0,8725693	-0,7213563
386	2	2	3	1	3	2	-36,556	36,845	33,187	2586,667	99,049395	86,510371	-193,43018	-38,867303	1,4669246	-1,3324808
387	2	2	3	1	3	3	-43,976	37,025	33,517	3205,667	94,751925	87,058042	55,100796	-28,706358	1,5310361	1,2114636
388	2	2	3	2	1	1	-55,726	32,595	34,983	3719,667	21,476437	64,107807	93,981527	8,1667404	0,9375098	1,236247
389	2	2	3	2	1	2	-51,696	39,225	35,267	3583,667	68,954404	92,201699	99,534382	13,979889	1,7513599	1,8246867
390	2	2	3	2	1	3	-59,116	39,405	35,597	4202,667	-71,395731	92,518305	-4,1796774	20,273995	0,4139657	-0,5530141
391	2	2	3	2	2	1	-44,696	34,945	34,913	3591,667	93,805589	79,107039	98,932039	6,6745699	1,795872	1,994122
392	2	2	3	2	2	2	-40,666	41,575	35,197	3455,667	97,550937	95,460584	93,843368	12,582174	2,0559369	2,0397648

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
393	2	2	3	2	2	3	-48,086	41,755	35,527	4074,667	86,479274	95,644881	35,41174	18,978552	2,0110271	1,4086957
394	2	2	3	2	3	1	-48,236	33,235	35,223	3852,667	86,004127	69,025807	79,99084	13,103957	1,6813389	1,7909892
395	2	2	3	2	3	2	-44,206	39,865	35,507	3716,667	94,466499	93,270233	95,753606	18,604574	2,0634131	2,0882468
396	2	2	3	2	3	3	-51,626	40,045	35,837	4335,667	69,450789	93,543458	-54,941639	24,560292	1,8755454	0,3906944
397	2	2	3	3	1	1	-58,866	26,055	36,063	3837,667	-61,808004	-61,808004	74,61052	28,385659	-0,9523035	0,4118817
398	2	2	3	3	1	2	-54,836	32,685	36,347	3701,667	36,026516	64,843956	95,176507	32,918927	1,337894	1,6412195
399	2	2	3	3	1	3	-62,256	32,865	36,677	4320,667	-253,18317	66,271269	-50,68336	37,827261	-1,4908464	-2,6603927
400	2	2	3	3	2	1	-47,836	28,405	35,993	3709,667	87,235612	5,8110403	91,526544	27,22202	1,2026867	2,0598418
401	2	2	3	3	2	2	-43,806	35,035	36,277	3573,667	94,953387	79,535554	98,785704	31,828947	2,0631789	2,2556804
402	2	2	3	3	2	3	-51,226	35,215	36,607	4192,667	72,138788	80,366397	-1,5962597	36,817035	1,8932222	1,0735956
403	2	2	3	3	3	1	-51,376	26,695	36,303	3970,667	71,159685	-39,636836	52,22374	32,235849	0,637587	1,5561927
404	2	2	3	3	3	2	-47,346	33,325	36,587	3834,667	88,597502	69,661088	82,547522	36,525396	1,9478399	2,0767042
405	2	2	3	3	3	3	-54,766	33,505	36,917	4453,667	37,049382	70,892829	-110,24249	41,169844	1,4911205	-0,3202326
406	2	3	1	1	1	1	-59,596	33,205	31,973	2031,667	-91,425593	68,811104	-602,53304	-83,653834	-1,0626832	-7,7761247
407	2	3	1	1	1	2	-55,566	39,835	32,257	1895,667	24,31671	93,223585	-729,16144	-72,028341	0,4551195	-7,7687307
408	2	3	1	1	1	3	-62,986	40,015	32,587	2514,667	-317,83037	93,498703	-236,36676	-59,440996	-2,8377266	-6,1363813
409	2	3	1	1	2	1	-48,566	35,555	31,903	1903,667	84,899198	81,844843	-721,55773	-86,637969	0,8010607	-7,232965
410	2	3	1	1	2	2	-44,536	42,185	32,187	1767,667	94,029647	96,055427	-858,32125	-74,823576	1,152615	-8,3911518
411	2	3	1	1	2	3	-51,956	42,365	32,517	2386,667	67,039029	96,215574	-320,26889	-62,031704	1,012229	-3,1526157
412	2	3	1	1	3	1	-52,106	33,845	32,213	2164,667	65,880709	73,084652	-488,50211	-73,780083	0,6518528	-4,9640149
413	2	3	1	1	3	2	-48,076	40,475	32,497	2028,667	86,510371	94,152099	-604,81433	-62,779609	1,1788286	-5,8108357
414	2	3	1	1	3	3	-55,496	40,655	32,827	2647,667	25,526803	94,38952	-159,00896	-50,868996	0,6904733	-1,8435116
415	2	3	1	2	1	1	-67,246	36,225	34,293	3161,667	-1014,2945	84,440344	44,556208	-7,6465214	-9,3750071	-9,7738485
416	2	3	1	2	1	2	-63,216	42,855	34,577	3025,667	-340,55486	96,619352	5,7322868	-0,8323758	-2,4476789	-3,3565495
417	2	3	1	2	1	3	-70,636	43,035	34,907	3644,667	-2332,204	96,756604	99,263002	6,545547	-22,289019	-22,263955
418	2	3	1	2	2	1	-56,216	38,575	34,223	3033,667	12,097748	90,942674	8,1330085	-9,3956366	0,9364479	0,1083512
419	2	3	1	2	2	2	-52,186	45,205	34,507	2897,667	65,246384	98,032114	-40,852614	-2,4707701	1,6080773	0,21923
420	2	3	1	2	2	3	-59,606	45,385	34,837	3516,667	-91,866874	98,112009	97,927149	5,0270343	0,1127217	0,1108731

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
421	2	3	1	2	3	1	-59,756	36,865	34,533	3294,667	-98,609492	86,57235	72,824201	-1,8591388	-0,1389628	-0,2764443
422	2	3	1	2	3	2	-55,726	43,495	34,817	3158,667	21,476437	97,082573	44,294663	4,588659	1,2314767	0,7035976
423	2	3	1	2	3	3	-63,146	43,675	35,147	3777,667	-333,51088	97,201019	90,835299	11,569924	-2,2473994	-2,3110566
424	2	3	1	3	1	1	-70,386	29,685	35,373	3279,667	-2196,1486	29,85447	67,778203	16,054001	-21,502402	-21,123164
425	2	3	1	3	1	2	-66,356	36,315	35,657	3143,667	-807,82053	84,759472	39,978981	21,367877	-7,0169318	-7,4647367
426	2	3	1	3	1	3	-73,776	36,495	35,987	3762,667	-4911,8723	85,378228	91,642651	27,121404	-47,993727	-47,931083
427	2	3	1	3	2	1	-59,356	32,035	35,303	3151,667	-81,134009	59,168061	41,053096	14,689989	-0,0727596	-0,2539092
428	2	3	1	3	2	2	-55,326	38,665	35,587	3015,667	28,385659	91,12844	2,2318501	20,090208	1,3960431	0,5070772
429	2	3	1	3	2	3	-62,746	38,845	35,917	3634,667	-295,36662	91,48862	99,219707	25,937222	-1,7794078	-1,7020969
430	2	3	1	3	3	1	-62,896	30,325	35,613	3412,667	-309,26066	39,465913	87,241983	20,567177	-2,4922757	-2,014515
431	2	3	1	3	3	2	-58,866	36,955	35,897	3276,667	-61,808004	86,847752	69,612096	25,595363	0,5063511	0,3339946
432	2	3	1	3	3	3	-66,286	37,135	36,227	3895,667	-793,30548	87,381725	74,304377	31,039564	-6,748842	-6,8796154
433	2	3	2	1	1	1	-76,606	26,675	34,463	3275,667	-9516,1228	-40,28137	64,122732	-3,5142167	-95,599184	-94,555143
434	2	3	2	1	1	2	-72,576	33,305	34,747	3139,667	-3701,894	69,52105	38,349776	3,0383494	-36,293346	-36,605058
435	2	3	2	1	1	3	-79,996	33,485	35,077	3758,667	-20889,399	70,758476	91,207997	10,13305	-208,08507	-207,88058
436	2	3	2	1	2	1	-65,576	29,025	34,393	3147,667	-658,57758	18,341763	38,455773	-5,1961874	-6,45432	-6,2531799
437	2	3	2	1	2	2	-61,546	35,655	34,677	3011,667	-199,91625	82,258105	0,5810013	1,4628493	-1,161953	-1,978724
438	2	3	2	1	2	3	-68,966	35,835	35,007	3630,667	-1555,77	82,978415	98,859004	8,67283	-14,641187	-14,482381
439	2	3	2	1	3	1	-69,116	27,315	34,703	3408,667	-1613,9573	-21,059813	84,081221	2,0510015	-16,329661	-15,278251
440	2	3	2	1	3	2	-65,086	33,945	34,987	3272,667	-577,64151	73,69732	68,322854	8,251283	-4,956929	-5,0106737
441	2	3	2	1	3	3	-72,506	34,125	35,317	3891,667	-3641,1059	74,765192	74,233361	14,964553	-35,513761	-35,51908
442	2	3	2	2	1	1	-84,256	29,695	36,783	4405,667	-55875,76	30,0158	-90,546945	39,326367	-558,06418	-559,26981
443	2	3	2	2	1	2	-80,226	36,325	37,067	4269,667	-22030,947	84,794525	-29,074579	43,167076	-219,02985	-220,16855
444	2	3	2	2	1	3	-87,646	36,505	37,397	4888,667	-122079,97	85,411857	-375,33801	47,325551	-1219,4723	-1224,0798
445	2	3	2	2	2	1	-73,226	32,045	36,713	4277,667	-4315,7045	59,261972	-33,971966	38,3405	-42,18102	-43,113359
446	2	3	2	2	2	2	-69,196	38,675	36,997	4141,667	-1645,8222	91,148844	15,667168	42,243615	-15,124297	-15,879114
447	2	3	2	2	2	3	-76,616	38,855	37,327	4760,667	-9538,2902	91,508195	-285,24802	46,46966	-94,003124	-97,770686
448	2	3	2	2	3	1	-76,766	30,335	37,023	4538,667	-9877,0006	39,605137	-156,31835	42,588354	-97,948071	-99,907306

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
449	2	3	2	2	3	2	-72,736	36,965	37,307	4402,667	-3844,573	86,878001	-84,876304	46,222575	-37,114724	-38,832267
450	2	3	2	2	3	3	-80,156	37,145	37,637	5021,667	-21677,098	87,410746	-478,10247	50,157479	-215,39529	-221,05043
451	2	3	2	3	1	1	-87,396	23,155	37,863	4523,667	-115245,33	-215,50046	-168,61483	52,684874	-1154,0814	-1153,6126
452	2	3	2	3	1	2	-83,366	29,785	38,147	4387,667	-45503,692	31,451177	-82,210626	55,679975	-454,1656	-455,30222
453	2	3	2	3	1	3	-90,786	29,965	38,477	5006,667	-251667,69	34,234216	-471,17003	58,922879	-2515,7454	-2520,7994
454	2	3	2	3	2	1	-76,366	25,505	37,793	4395,667	-8999,1327	-83,653834	-94,493766	51,916065	-90,308705	-90,417104
455	2	3	2	3	2	2	-72,336	32,135	38,077	4259,667	-3497,4934	60,09751	-27,018088	54,959832	-33,82436	-34,695516
456	2	3	2	3	2	3	-79,756	32,315	38,407	4878,667	-19760,949	61,717526	-370,19803	58,255429	-196,40976	-200,72892
457	2	3	2	3	3	1	-79,906	23,795	38,103	4656,667	-20458,906	-172,27013	-241,64186	55,22867	-205,75947	-206,45319
458	2	3	2	3	3	2	-75,876	30,425	38,387	4520,667	-8028,3052	40,843837	-146,62924	58,062745	-79,293986	-81,168717
459	2	3	2	3	3	3	-83,296	30,605	38,717	5139,667	-44774,539	43,245539	-582,43382	61,131301	-446,70162	-452,95842
460	2	3	3	1	1	1	-61,686	31,115	33,423	2850,667	-209,74193	49,53387	-61,856762	-31,522483	-1,9173054	-3,0312117
461	2	3	3	1	1	2	-57,656	37,745	33,707	2714,667	-22,46162	89,035218	-124,02862	-23,196962	0,4337664	-1,696872
462	2	3	3	1	1	3	-65,076	37,925	34,037	3333,667	-576,08298	89,480381	79,29976	-14,182619	-5,0078521	-5,1096583
463	2	3	3	1	2	1	-50,656	33,465	33,353	2722,667	75,565694	70,623503	-120,53648	-33,659552	1,1252965	-0,7863034
464	2	3	3	1	2	2	-46,626	40,095	33,637	2586,667	90,339491	93,617365	-193,24525	-25,198752	1,587581	-1,2810451
465	2	3	3	1	2	3	-54,046	40,275	33,967	3205,667	46,66651	93,876496	55,373286	-16,037937	1,2450507	0,8600186
466	2	3	3	1	3	1	-54,196	31,755	33,663	2983,667	44,792256	56,448813	-9,9282545	-24,451461	0,7678961	0,1041254
467	2	3	3	1	3	2	-50,166	38,385	33,947	2847,667	78,172701	90,537628	-61,846118	-16,573544	1,5213679	-0,0024696
468	2	3	3	1	3	3	-57,586	38,565	34,277	3466,667	-20,503594	90,921795	94,501657	-8,0438372	0,6237436	0,6595423
469	2	3	3	2	1	1	-69,336	34,135	35,743	3980,667	-1703,0177	74,823231	57,089446	22,909653	-16,052849	-16,230186
470	2	3	3	2	1	2	-65,306	40,765	36,027	3844,667	-612,85303	94,52984	82,599909	27,789559	-4,9053363	-5,0246356
471	2	3	3	2	1	3	-72,726	40,945	36,357	4463,667	-3835,5008	94,751925	-113,30545	33,073209	-37,076756	-39,15733
472	2	3	3	2	2	1	-58,306	36,485	35,673	3852,667	-42,232879	85,344522	80,93281	21,657036	0,6476868	0,6035697
473	2	3	3	2	2	2	-54,276	43,115	35,957	3716,667	43,765867	96,815802	95,944074	26,616233	1,671979	1,6632617
474	2	3	3	2	2	3	-61,696	43,295	36,287	4335,667	-210,45596	96,945079	-54,692968	31,985736	-0,8152514	-2,3316319
475	2	3	3	2	3	1	-61,846	34,775	35,983	4113,667	-221,36605	78,272988	23,261677	27,054249	-1,1603882	-1,7105013
476	2	3	3	2	3	2	-57,816	41,405	36,267	3977,667	-27,057411	95,27937	58,999769	31,671797	0,9989376	0,6361416

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
477	2	3	3	2	3	3	-65,236	41,585	36,597	4596,667	-601,4553	95,471024	-183,89022	36,671384	-4,6931289	-7,4867413
478	2	3	3	3	1	1	-72,476	27,595	36,823	4098,667	-3615,3523	-13,501082	21,610544	39,882626	-35,889707	-35,538591
479	2	3	3	3	1	2	-68,446	34,225	37,107	3962,667	-1368,9263	75,339607	60,953868	43,688123	-12,498985	-12,642843
480	2	3	3	3	1	3	-75,866	34,405	37,437	4581,667	-8009,6106	76,340803	-176,97972	47,808473	-78,854613	-81,387818
481	2	3	3	3	2	1	-61,446	29,945	36,753	3970,667	-193,08932	33,930655	56,734409	38,905798	-1,2025287	-0,9744912
482	2	3	3	3	2	2	-57,416	36,575	37,037	3834,667	-15,877736	85,645106	83,461571	42,773129	1,125405	1,1035696
483	2	3	3	3	2	3	-64,836	36,755	37,367	4453,667	-539,73484	86,227905	-109,05958	46,960429	-4,065465	-6,0183399
484	2	3	3	3	3	1	-64,986	28,235	37,063	4231,667	-562,2165	2,0510015	-20,70354	43,114707	-5,170508	-5,3980534
485	2	3	3	3	3	2	-60,956	34,865	37,347	4095,667	-161,8183	78,71861	28,488701	46,71561	-0,3638408	-0,8661399
486	2	3	3	3	3	3	-68,376	35,045	37,677	4714,667	-1345,4398	79,582621	-256,39119	50,614438	-12,152427	-15,512165
487	3	1	1	1	1	1	-37,696	22,185	33,793	1295,667	98,764053	-294,4573	-1418,128	-20,781384	-2,1647463	-13,401453
488	3	1	1	1	1	2	-33,666	28,815	34,077	1159,667	99,511348	14,296215	-1600,1737	-13,135786	1,0067178	-15,137981
489	3	1	1	1	1	3	-41,086	28,995	34,407	1778,667	97,302261	17,775735	-847,81391	-4,8576209	1,1022037	-7,5536927
490	3	1	1	1	2	1	-26,666	24,535	33,723	1167,667	99,902501	-129,61486	-1589,817	-22,743923	-0,5245629	-15,126584
491	3	1	1	1	2	2	-22,636	31,165	34,007	1031,667	99,961452	50,111551	-1782,9157	-14,974095	1,3509891	-16,979284
492	3	1	1	1	2	3	-30,056	31,345	34,337	1650,667	99,787186	52,136991	-985,06485	-6,5614202	1,4536276	-8,9183909
493	3	1	1	1	3	1	-30,206	22,825	34,033	1428,667	99,779707	-240,40819	-1248,3562	-14,287833	-1,5491632	-11,628643
494	3	1	1	1	3	2	-26,176	29,455	34,317	1292,667	99,912904	26,039472	-1419,9822	-7,0532854	1,1889909	-13,271225
495	3	1	1	1	3	3	-33,596	29,635	34,647	1911,667	99,519161	29,042223	-714,58197	0,7798224	1,2934121	-6,1428299
496	3	1	1	2	1	1	-45,346	25,205	36,113	2425,667	92,80551	-96,788629	-298,11016	29,205422	0,252223	-1,7609923
497	3	1	1	2	1	2	-41,316	31,835	36,397	2289,667	97,155539	57,243711	-390,92572	33,686798	1,8808605	-2,6008338
498	3	1	1	2	1	3	-48,736	32,015	36,727	2908,667	84,296372	58,97959	-37,762447	38,538947	1,8181491	0,8507287
499	3	1	1	2	2	1	-34,316	27,555	36,043	2297,667	99,432455	-14,551294	-386,44021	28,055102	1,1293626	-2,5895266
500	3	1	1	2	2	2	-30,286	34,185	36,327	2161,667	99,775612	75,111427	-490,92451	32,609295	2,0749633	-3,585396
501	3	1	1	2	2	3	-37,706	34,365	36,657	2780,667	98,761203	76,121887	-92,32064	37,540285	2,1242338	0,4398085
502	3	1	1	2	3	1	-37,856	25,845	36,353	2558,667	98,717669	-69,824365	-213,82313	33,011539	0,6190484	-0,8209392
503	3	1	1	2	3	2	-33,826	32,475	36,637	2422,667	99,493009	63,10224	-296,4631	37,251984	1,9984723	-1,597181
504	3	1	1	2	3	3	-41,246	32,655	36,967	3041,667	97,201019	64,600266	9,7515128	41,843267	2,0364455	1,487958

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
505	3	1	1	3	1	1	-48,486	18,665	37,193	2543,667	85,174819	-787,15601	-240,80288	44,792256	-6,5718894	-1,1083581
506	3	1	1	3	1	2	-44,456	25,295	37,477	2407,667	94,138618	-92,752491	-310,11137	48,286968	0,496731	-1,6768578
507	3	1	1	3	1	3	-51,876	25,475	37,807	3026,667	67,640634	-84,926862	-0,4078495	52,07082	0,3478459	1,193036
508	3	1	1	3	2	1	-37,456	21,015	37,123	2415,667	98,830501	-416,41637	-312,05864	43,895202	-2,7369067	-1,6933293
509	3	1	1	3	2	2	-33,426	27,645	37,407	2279,667	99,537619	-12,201845	-399,83001	47,446699	1,3478247	-2,5284569
510	3	1	1	3	2	3	-40,846	27,825	37,737	2898,667	97,447299	-7,6465214	-43,905149	51,292033	1,4109281	1,0483418
511	3	1	1	3	3	1	-40,996	19,305	37,433	2676,667	97,357591	-665,59661	-164,6622	47,760381	-5,2047863	-0,1954422
512	3	1	1	3	3	2	-36,966	25,935	37,717	2540,667	98,95528	-66,341265	-224,46728	51,067208	0,8368122	-0,7444479
513	3	1	1	3	3	3	-44,386	26,115	38,047	3159,667	94,232335	-59,587915	38,463513	54,647629	0,8929205	1,8734348
514	3	1	2	1	1	1	-54,706	15,655	36,283	2539,667	37,913097	-1674,1895	-265,39884	31,923064	-16,043533	-1,9556267
515	3	1	2	1	1	2	-50,676	22,285	36,567	2403,667	75,452911	-285,47836	-317,1543	36,232411	-1,7379304	-2,0546898
516	3	1	2	1	1	3	-58,096	22,465	36,897	3022,667	-35,518941	-269,82818	-8,273876	40,898296	-2,6444882	-0,0289452
517	3	1	2	1	2	1	-43,676	18,005	36,213	2411,667	95,102212	-932,76141	-326,40758	30,816903	-8,0684229	-2,0048847
518	3	1	2	1	2	2	-39,646	24,635	36,497	2275,667	98,063578	-124,38819	-405,10076	35,196271	0,0887166	-2,7184091
519	3	1	2	1	2	3	-47,066	24,815	36,827	2894,667	89,309451	-115,27817	-49,008635	39,937971	0,1396925	0,8023879
520	3	1	2	1	3	1	-47,216	16,295	36,523	2672,667	88,933762	-1431,0875	-187,97597	35,583073	-13,065706	-0,6345913
521	3	1	2	1	3	2	-43,186	22,925	36,807	2536,667	95,624779	-232,65955	-231,03945	39,660737	-0,9737404	-0,9575394
522	3	1	2	1	3	3	-50,606	23,105	37,137	3155,667	75,845392	-219,15379	31,289736	44,075772	-0,9923262	1,512109
523	3	1	2	2	1	1	-62,356	18,675	38,603	3669,667	-261,40986	-785,11561	52,261352	60,09751	-9,8642796	-1,49051
524	3	1	2	2	1	2	-58,326	25,305	38,887	3533,667	-42,889396	-92,309173	89,405597	62,623382	-0,7257519	1,0913958
525	3	1	2	2	1	3	-65,746	25,485	39,217	4152,667	-688,86012	-84,501542	0,4486416	65,358236	-7,0800342	-6,2305324
526	3	1	2	2	2	1	-51,326	21,025	38,533	3541,667	71,489817	-415,22864	73,895846	59,449146	-2,8428968	2,0483481
527	3	1	2	2	2	2	-47,296	27,655	38,817	3405,667	88,728025	-11,943788	84,171804	62,016061	1,388003	2,3491589
528	3	1	2	2	2	3	-54,716	27,835	39,147	4024,667	37,769971	-7,3989412	41,761907	64,795353	0,9516638	1,4432723
529	3	1	2	2	3	1	-54,866	19,315	38,843	3802,667	35,583073	-663,83578	45,322683	62,242781	-5,6600993	1,4314854
530	3	1	2	2	3	2	-50,836	25,945	39,127	3666,667	74,531697	-65,958691	90,054437	64,632855	0,7320586	2,2921899
531	3	1	2	2	3	3	-58,256	26,125	39,457	4285,667	-40,604752	-59,220873	-45,558697	67,220675	-0,3260495	-0,1894277
532	3	1	2	3	1	1	-65,496	12,135	39,683	3787,667	-644,73197	-3890,249	-132,67592	68,882837	-44,660982	-7,0852506

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
533	3	1	2	3	1	2	-61,466	18,765	39,967	3651,667	-194,44216	-766,96188	54,27973	70,852588	-8,9055145	-0,6930985
534	3	1	2	3	1	3	-68,886	18,945	40,297	4270,667	-1525,5488	-731,76377	-87,374722	72,985309	-21,843272	-15,399382
535	3	1	2	3	2	1	-54,466	14,485	39,613	3659,667	41,251065	-2222,7368	-21,995468	68,377223	-21,131085	0,8763282
536	3	1	2	3	2	2	-50,436	21,115	39,897	3523,667	76,772632	-404,6613	73,969068	70,378981	-2,5750968	2,2112068
537	3	1	2	3	2	3	-57,856	21,295	40,227	4142,667	-28,233058	-384,17237	-16,365683	72,546356	-3,3985907	0,2794761
538	3	1	2	3	3	1	-58,006	12,775	39,923	3920,667	-32,739446	-3343,4993	-135,19735	70,555784	-33,05683	-0,9738101
539	3	1	2	3	3	2	-53,976	19,405	40,207	3784,667	47,519254	-648,1695	48,590972	72,419636	-5,2823061	1,6852986
540	3	1	2	3	3	3	-61,396	19,585	40,537	4403,667	-189,73436	-617,79429	-138,478	74,437696	-7,3309095	-2,5377466
541	3	1	3	1	1	1	-39,786	20,095	35,243	2114,667	98,000138	-538,26349	-540,79183	13,503208	-4,2676014	-4,2928848
542	3	1	3	1	1	2	-35,756	26,725	35,527	1978,667	99,209321	-38,675583	-652,39429	18,978552	0,7951229	-5,3420641
543	3	1	3	1	1	3	-43,176	26,905	35,857	2597,667	95,634842	-33,045442	-190,24217	24,906906	0,8749631	-0,6970042
544	3	1	3	1	2	1	-28,756	22,445	35,173	1986,667	99,842239	-271,53523	-648,5997	12,097748	-1,5959524	-5,3665971
545	3	1	3	1	2	2	-24,726	29,075	35,457	1850,667	99,937627	19,276497	-774,50008	17,662059	1,3687618	-6,569004
546	3	1	3	1	2	3	-32,146	29,255	35,787	2469,667	99,65565	22,55382	-266,50141	23,686741	1,4589621	-1,4315902
547	3	1	3	1	3	1	-32,296	20,735	35,483	2247,667	99,643549	-450,8077	-432,79442	18,153521	-3,3301063	-3,1499735
548	3	1	3	1	3	2	-28,266	27,365	35,767	2111,667	99,859071	-19,674053	-534,31361	23,334495	1,0351951	-4,1112004
549	3	1	3	1	3	3	-35,686	27,545	36,097	2730,667	99,221963	-14,815362	-119,03078	28,944124	1,1335072	0,0913531
550	3	1	3	2	1	1	-47,436	23,115	37,563	3244,667	88,35874	-218,41975	50,926028	49,300929	-0,8076008	1,885857
551	3	1	3	2	1	2	-43,406	29,745	37,847	3108,667	95,397434	30,816903	28,497882	52,510237	1,7872457	1,7640555
552	3	1	3	2	1	3	-50,826	29,925	38,177	3727,667	74,590273	33,625693	91,76126	55,985072	1,6420104	2,223366
553	3	1	3	2	2	1	-36,406	25,465	37,493	3116,667	99,081667	-85,353162	26,321607	48,477136	0,6220564	1,7388041
554	3	1	3	2	2	2	-32,376	32,095	37,777	2980,667	99,636922	59,728297	-10,869958	51,738591	2,1110381	1,4050555
555	3	1	3	2	2	3	-39,796	32,275	38,107	3599,667	97,995528	61,363302	98,053028	55,269887	2,1462872	2,5131844
556	3	1	3	2	3	1	-39,946	23,755	37,803	3377,667	97,925086	-174,78942	73,699624	52,026655	-0,2483767	2,2365137
557	3	1	3	2	3	2	-35,916	30,385	38,087	3241,667	99,179648	40,296471	60,911809	55,063422	1,9453954	2,1515488
558	3	1	3	2	3	3	-43,336	30,565	38,417	3860,667	95,471024	42,720397	77,286544	58,351439	1,9654286	2,3110901
559	3	1	3	3	1	1	-50,576	16,575	38,643	3362,667	76,011671	-1335,4894	20,799116	60,463338	-11,990144	1,5727413
560	3	1	3	3	1	2	-46,546	23,205	38,927	3226,667	90,515815	-211,88896	47,591163	62,966053	-0,5840709	2,0107303

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
561	3	1	3	3	1	3	-53,966	23,385	39,257	3845,667	47,639956	-199,22646	65,56478	65,675833	-0,8591067	1,7888057
562	3	1	3	3	2	1	-39,546	18,925	38,573	3234,667	98,107656	-735,60302	27,90519	59,820919	-5,7767444	1,8583377
563	3	1	3	3	2	2	-35,516	25,555	38,857	3098,667	99,25183	-81,551566	21,485467	62,3643	0,8006456	1,831016
564	3	1	3	3	2	3	-42,936	25,735	39,187	3717,667	95,869525	-74,180687	86,686237	65,118111	0,8680695	2,4767387
565	3	1	3	3	3	1	-43,086	17,215	38,883	3495,667	95,724371	-1138,7966	38,023918	62,588941	-9,8048327	1,9633723
566	3	1	3	3	3	2	-39,056	23,845	39,167	3359,667	98,309559	-169,15348	71,699658	64,957103	-0,0588682	2,3496632
567	3	1	3	3	3	3	-46,476	24,025	39,497	3978,667	90,667457	-158,22602	43,177794	67,521198	-0,0003736	2,0136645
568	3	2	1	1	1	1	-57,586	21,275	36,543	2481,667	-20,503594	-386,40721	-268,61243	35,879042	-3,7103176	-2,5323699
569	3	2	1	1	1	2	-53,556	27,905	36,827	2345,667	52,356901	-5,6817509	-351,32329	39,937971	0,8661312	-2,5902842
570	3	2	1	1	1	3	-60,976	28,085	37,157	2964,667	-163,0268	-1,3911386	-18,673818	44,33272	-1,2008522	-1,373679
571	3	2	1	1	2	1	-46,556	23,625	36,473	2353,667	90,493952	-183,1392	-349,45194	34,837161	-0,5780809	-2,2412083
572	3	2	1	1	2	2	-42,526	30,255	36,757	2217,667	96,241626	38,482313	-446,56503	38,962041	1,7368598	-3,1136137
573	3	2	1	1	2	3	-49,946	30,435	37,087	2836,667	79,250865	40,979892	-68,153192	43,4282	1,6365896	0,5452587
574	3	2	1	1	3	1	-50,096	21,915	36,783	2614,667	78,521695	-319,75898	-188,26637	39,326367	-2,0191092	-0,7041831
575	3	2	1	1	3	2	-46,066	28,545	37,067	2478,667	91,508195	8,7989161	-261,05948	43,167076	1,4347419	-1,2638421
576	3	2	1	1	3	3	-53,486	28,725	37,397	3097,667	53,118662	12,501622	24,713086	47,325551	1,1294584	1,251573
577	3	2	1	2	1	1	-65,236	24,295	38,863	3611,667	-601,4553	-142,66101	87,651563	62,41626	-6,8170005	-4,5138748
578	3	2	1	2	1	2	-61,206	30,925	39,147	3475,667	-177,33201	47,277014	93,110941	64,795353	-0,6525964	-0,1942572
579	3	2	1	2	1	3	-68,626	31,105	39,477	4094,667	-1431,0875	49,417534	26,86153	67,371283	-13,142986	-13,368546
580	3	2	1	2	2	1	-54,206	26,645	38,793	3483,667	44,664989	-41,253754	89,470787	61,805573	0,6521681	1,9594135
581	3	2	1	2	2	2	-50,176	33,275	39,077	3347,667	78,122384	69,30978	80,489356	64,223323	2,1165549	2,2283506
582	3	2	1	2	2	3	-57,596	33,455	39,407	3966,667	-20,781384	70,555784	59,825446	66,841109	1,1661551	1,0588517
583	3	2	1	2	3	1	-57,746	24,935	39,103	3744,667	-25,025903	-109,41125	82,606934	64,436868	-0,7000028	1,220179
584	3	2	1	2	3	2	-53,716	31,565	39,387	3608,667	50,568931	54,501194	97,674352	66,688054	1,7175818	2,1493134
585	3	2	1	2	3	3	-61,136	31,745	39,717	4227,667	-172,89778	56,348417	-15,478847	69,125495	-0,4742387	-1,1925113
586	3	2	1	3	1	1	-68,376	17,755	39,943	3729,667	-1345,4398	-993,95637	36,022048	70,691068	-22,687051	-12,387267
587	3	2	1	3	1	2	-64,346	24,385	40,227	3593,667	-471,47864	-137,68403	88,051318	72,546356	-5,3661631	-3,1088096
588	3	2	1	3	1	3	-71,766	24,565	40,557	4212,667	-3055,0046	-128,03421	-22,872293	74,555144	-31,084837	-30,033218

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
589	3	2	1	3	2	1	-57,346	20,105	39,873	3601,667	-14,024979	-536,79552	67,874795	70,214836	-4,8060566	1,2406465
590	3	2	1	3	2	2	-53,316	26,735	40,157	3465,667	54,91833	-38,356638	88,387023	72,10027	0,8866196	2,1540562
591	3	2	1	3	2	3	-60,736	26,915	40,487	4084,667	-148,88573	-32,739446	24,34209	74,141698	-1,0748348	-0,5040194
592	3	2	1	3	3	1	-60,886	18,395	40,183	3862,667	-157,63212	-844,06088	25,530369	72,266799	-9,2942619	-0,5983495
593	3	2	1	3	3	2	-56,856	25,025	40,467	3726,667	-1,8591388	-105,11622	84,34241	74,022342	-0,3295301	1,5650561
594	3	2	1	3	3	3	-64,276	25,205	40,797	4345,667	-462,34133	-96,788629	-73,150061	75,923132	-4,8320682	-4,5956825
595	3	2	2	1	1	1	-74,596	14,745	39,033	3725,667	-5953,4087	-2087,7616	-22,603627	63,859014	-79,773114	-59,121534
596	3	2	2	1	1	2	-70,566	21,375	39,317	3589,667	-2293,3158	-375,33523	76,14982	66,146779	-26,025042	-21,510192
597	3	2	2	1	1	3	-77,986	21,555	39,647	4208,667	-13112,956	-356,03692	-37,153756	68,623825	-134,00369	-130,81486
598	3	2	2	1	2	1	-63,566	17,095	38,963	3597,667	-377,52927	-1173,5031	35,896681	63,27177	-14,877606	-2,7836082
599	3	2	2	1	2	2	-59,536	23,725	39,247	3461,667	-88,799135	-176,69416	81,64392	65,596708	-1,9989659	0,5844149
600	3	2	2	1	2	3	-66,956	23,905	39,577	4080,667	-942,31743	-165,46056	16,86635	68,114003	-10,39664	-8,5733708
601	3	2	2	1	3	1	-67,106	15,385	39,273	3858,667	-978,94672	-1787,9913	-28,417656	65,802056	-27,01136	-9,4156232
602	3	2	2	1	3	2	-63,076	22,015	39,557	3722,667	-326,57952	-310,2041	73,59793	67,966824	-5,688168	-1,8501476
603	3	2	2	1	3	3	-70,496	22,195	39,887	4341,667	-2255,0493	-293,55008	-85,849269	70,310697	-24,782887	-22,705879
604	3	2	2	2	1	1	-82,246	17,765	41,353	4855,667	-35137,087	-991,44034	-450,09271	78,816389	-360,49711	-355,08363
605	3	2	2	2	1	2	-78,216	24,395	41,637	4719,667	-13831,568	-137,13737	-278,35722	80,157335	-138,88548	-140,29768
606	3	2	2	2	1	3	-85,636	24,575	41,967	5338,667	-76813,044	-127,50974	-788,02352	81,609226	-768,58945	-775,19458
607	3	2	2	2	2	1	-71,216	20,115	41,283	4727,667	-2679,7133	-535,33093	-318,1695	78,472183	-31,36572	-29,194106
608	3	2	2	2	2	2	-67,186	26,745	41,567	4591,667	-999,00584	-38,038426	-191,99852	79,834918	-9,5720935	-11,111694
609	3	2	2	2	2	3	-74,606	26,925	41,897	5210,667	-5967,3633	-32,434154	-654,42728	81,3104	-59,18487	-65,404802
610	3	2	2	2	3	1	-74,756	18,405	41,593	4988,667	-6180,5836	-841,8896	-541,55645	79,95528	-69,425179	-66,421848
611	3	2	2	2	3	2	-70,726	25,035	41,877	4852,667	-2383,1331	-104,64446	-366,61073	81,224133	-24,065534	-26,685197
612	3	2	2	2	3	3	-78,146	25,215	42,207	5471,667	-13608,818	-96,336028	-922,71622	82,597967	-136,22556	-144,48936
613	3	2	2	3	1	1	-85,386	11,225	42,433	4973,667	-72510,596	-4820,3954	-911,9207	83,480382	-772,47511	-733,39036
614	3	2	2	3	1	2	-81,356	17,855	42,717	4837,667	-28607,806	-969,05488	-434,50524	84,526092	-294,92335	-289,57785
615	3	2	2	3	1	3	-88,776	18,035	43,047	5456,667	-158389,32	-925,65193	-1002,6582	85,658321	-1592,2931	-1593,0632
616	3	2	2	3	2	1	-74,356	13,575	42,363	4845,667	-5627,9603	-2764,178	-604,41665	83,21196	-83,089263	-61,49165

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
617	3	2	2	3	2	2	-70,326	20,205	42,647	4709,667	-2164,6443	-522,30029	-305,13143	84,274662	-26,026699	-23,855011
618	3	2	2	3	2	3	-77,746	20,385	42,977	5328,667	-12402,59	-497,03529	-818,83742	85,425287	-128,142	-131,36002
619	3	2	2	3	3	1	-77,896	11,865	42,673	5106,667	-12841,958	-4146,1956	-978,53956	84,368524	-169,03786	-137,36129
620	3	2	2	3	3	2	-73,866	18,495	42,957	4970,667	-5016,8184	-822,57143	-524,86749	85,358014	-57,540318	-54,563278
621	3	2	2	3	3	3	-81,286	18,675	43,287	5589,667	-28148,8	-785,11561	-1137,451	86,42937	-288,47486	-291,99821
622	3	2	3	1	1	1	-59,676	19,185	37,993	3300,667	-94,98446	-687,04579	41,081464	54,080199	-7,2795005	0,001772
623	3	2	3	1	1	2	-55,646	25,815	38,277	3164,667	22,909653	-71,001532	39,249003	56,986974	0,088951	1,1914563
624	3	2	3	1	1	3	-63,066	25,995	38,607	3783,667	-325,59841	-64,058977	81,238	60,134244	-3,2952315	-1,8422617
625	3	2	3	1	2	1	-48,646	21,535	37,923	3172,667	84,618454	-358,14189	29,944919	53,334062	-2,2018937	1,6789743
626	3	2	3	1	2	2	-44,616	28,165	38,207	3036,667	93,91865	0,4594583	5,8548277	56,288068	1,5066618	1,5606155
627	3	2	3	1	2	3	-52,036	28,345	38,537	3655,667	66,426239	4,5007414	94,152349	59,486478	1,3041346	2,2006507
628	3	2	3	1	3	1	-52,186	19,825	38,233	3433,667	65,246384	-579,20363	60,961599	56,548978	-4,5740827	1,8275696
629	3	2	3	1	3	2	-48,156	26,455	38,517	3297,667	86,25958	-47,570653	67,670525	59,299476	0,979884	2,1322958
630	3	2	3	1	3	3	-55,576	26,635	38,847	3916,667	24,142242	-41,579378	62,932708	62,277541	0,4484041	1,4935249
631	3	2	3	2	1	1	-67,326	22,205	40,313	4430,667	-1035,0108	-292,64494	-126,91575	73,084652	-12,545711	-10,888419
632	3	2	3	2	1	2	-63,296	28,835	40,597	4294,667	-348,74539	14,689989	-43,850799	74,788424	-2,5926698	-3,1780776
633	3	2	3	2	1	3	-70,716	29,015	40,927	4913,667	-2377,4221	18,153521	-400,23588	76,633159	-22,826354	-27,010248
634	3	2	3	2	2	1	-56,296	24,555	40,243	4302,667	10,463523	-128,55988	-57,377508	72,647313	-0,4544904	0,2573333
635	3	2	3	2	2	2	-52,266	31,185	40,527	4166,667	64,600266	50,340768	4,996379	74,378769	1,893198	1,4397541
636	3	2	3	2	2	3	-59,686	31,365	40,857	4785,667	-95,433946	52,356901	-305,48508	76,253479	0,3317643	-3,2466555
637	3	2	3	2	3	1	-59,836	22,845	40,553	4563,667	-102,30192	-238,84416	-192,49866	74,531697	-2,6661438	-2,2026888
638	3	2	3	2	3	2	-55,806	29,475	40,837	4427,667	20,016574	26,37929	-101,13309	76,14387	1,2253973	-0,0497264
639	3	2	3	2	3	3	-63,226	29,655	41,167	5046,667	-341,57045	29,368245	-504,33049	77,889427	-2,3431278	-7,6801151
640	3	2	3	3	1	1	-70,466	15,665	41,393	4548,667	-2238,8372	-1670,109	-299,29524	79,010601	-38,299356	-24,591219
641	3	2	3	3	1	2	-66,436	22,295	41,677	4412,667	-824,69817	-284,59178	-117,62022	80,339254	-10,289507	-8,6197914
642	3	2	3	3	1	3	-73,856	22,475	42,007	5031,667	-5005,05	-268,9776	-521,34066	81,777834	-51,922498	-54,446128
643	3	2	3	3	2	1	-59,436	18,015	41,323	4420,667	-84,501542	-930,38612	-170,53462	78,669551	-9,3621811	-1,7636661
644	3	2	3	3	2	2	-55,406	24,645	41,607	4284,667	27,054249	-123,87211	-49,777989	80,019792	-0,1679807	0,5729605

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
645	3	2	3	3	2	3	-62,826	24,825	41,937	4903,667	-302,71703	-114,78305	-405,16555	81,481748	-3,3601833	-6,2640083
646	3	2	3	3	3	1	-62,976	16,305	41,633	4681,667	-316,86938	-1427,5661	-364,1449	80,139051	-16,642964	-6,0087523
647	3	2	3	3	3	2	-58,946	22,935	41,917	4545,667	-64,816239	-231,89446	-181,91491	81,396271	-2,1531443	-1,6533488
648	3	2	3	3	3	3	-66,366	23,115	42,247	5164,667	-809,91327	-218,41975	-631,78452	82,757509	-9,4557552	-13,589403
649	3	3	1	1	1	1	-71,196	22,815	37,303	2742,667	-2666,9416	-241,19291	-119,76853	46,173022	-28,619615	-27,405372
650	3	3	1	1	1	2	-67,166	29,445	37,587	2606,667	-993,95637	25,868976	-183,58326	49,58033	-9,1850706	-11,279593
651	3	3	1	1	1	3	-74,586	29,625	37,917	3225,667	-5939,4863	28,878649	57,127975	53,269546	-58,573381	-58,290888
652	3	3	1	1	2	1	-60,166	25,165	37,233	2614,667	-118,27299	-98,609492	-182,38678	45,298404	-1,7158408	-2,5536137
653	3	3	1	1	2	2	-56,136	31,795	37,517	2478,667	13,702145	56,848092	-259,91146	48,761076	1,1931131	-1,9744824
654	3	3	1	1	2	3	-63,556	31,975	37,847	3097,667	-376,43099	58,600033	26,433304	52,510237	-2,6532072	-2,9748745
655	3	3	1	1	3	1	-63,706	23,455	37,543	2875,667	-393,1738	-194,44216	-59,215681	49,066913	-5,3854905	-4,0332257
656	3	3	1	1	3	2	-59,676	30,085	37,827	2739,667	-94,98446	36,026516	-113,12563	52,291034	-0,0666691	-1,5581905
657	3	3	1	1	3	3	-67,096	30,265	38,157	3358,667	-976,46521	38,623799	80,684285	55,781908	-8,8205951	-8,3999902
658	3	3	1	2	1	1	-78,846	25,835	39,623	3872,667	-16006,456	-70,215851	68,852288	68,449954	-160,08222	-158,69154
659	3	3	1	2	1	2	-74,816	32,465	39,907	3736,667	-6267,9552	63,017182	92,660856	70,447107	-61,344909	-61,048472
660	3	3	1	2	1	3	-82,236	32,645	40,237	4355,667	-35056,044	64,518661	-65,600504	72,609497	-349,18916	-350,49035
661	3	3	1	2	2	1	-67,816	28,185	39,553	3744,667	-1170,5741	0,9168055	88,623386	67,937307	-11,0172	-10,140134
662	3	3	1	2	2	2	-63,786	34,815	39,837	3608,667	-402,34259	78,472183	98,888321	69,966911	-2,539035	-2,3348736
663	3	3	1	2	2	3	-71,206	34,995	40,167	4227,667	-2673,3201	79,346198	-13,880337	72,164438	-25,218095	-26,15036
664	3	3	1	2	3	1	-71,356	26,475	39,863	4005,667	-2770,7806	-46,892628	43,86411	70,146174	-27,47527	-26,567703
665	3	3	1	2	3	2	-67,326	33,105	40,147	3869,667	-1035,0108	68,084621	77,385803	72,035955	-8,9489024	-8,8558906
666	3	3	1	2	3	3	-74,746	33,285	40,477	4488,667	-6166,1386	69,380366	-127,80166	74,082089	-60,226762	-62,198582
667	3	3	1	3	1	1	-81,986	19,295	40,703	3990,667	-33089,446	-667,36149	8,9147179	75,396324	-336,81411	-330,05135
668	3	3	1	3	1	2	-77,956	25,925	40,987	3854,667	-13021,999	-66,724721	71,855276	76,953764	-130,1177	-128,7319
669	3	3	1	3	1	3	-85,376	26,105	41,317	4473,667	-72343,596	-59,955803	-130,30707	78,640061	-723,24912	-723,95263
670	3	3	1	3	2	1	-70,956	21,645	40,633	3862,667	-2518,183	-346,68359	54,389852	74,996546	-27,898701	-23,887966
671	3	3	1	3	2	2	-66,926	28,275	40,917	3726,667	-935,14217	2,9490033	90,178946	76,579293	-8,5561387	-7,6838393
672	3	3	1	3	2	3	-74,346	28,455	41,247	4345,667	-5614,7864	6,8892125	-65,535815	78,29299	-55,296042	-56,020292

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
673	3	3	1	3	3	1	-74,496	19,935	40,943	4123,667	-5815,6163	-562,2165	-22,061266	76,719087	-63,011138	-57,609585
674	3	3	1	3	3	2	-70,466	26,565	41,227	3987,667	-2238,8372	-43,879858	48,208376	78,192795	-22,045243	-21,124361
675	3	3	1	3	3	3	-77,886	26,745	41,557	4606,667	-12812,193	-38,038426	-200,62798	79,788432	-127,70443	-129,33032
676	3	3	2	1	1	1	-88,206	16,285	39,793	3986,667	-138895,26	-1434,617	-37,525487	69,661088	-1402,6022	-1388,6313
677	3	3	2	1	1	2	-84,176	22,915	40,077	3850,667	-54854,087	-233,42641	62,839604	71,581575	-550,15932	-547,19666
678	3	3	2	1	1	3	-91,596	23,095	40,407	4469,667	-303289,12	-219,88951	-140,72013	73,660956	-3034,3535	-3033,5618
679	3	3	2	1	2	1	-77,176	18,635	39,723	3858,667	-10864,782	-793,30548	29,177852	69,16812	-115,88919	-107,66436
680	3	3	2	1	2	2	-73,146	25,265	40,007	3722,667	-4235,1088	-94,088588	85,245153	71,119813	-42,580776	-40,787438
681	3	3	2	1	2	3	-80,566	25,445	40,337	4341,667	-23833,158	-86,208714	-70,649849	73,232981	-238,46133	-238,30574
682	3	3	2	1	3	1	-80,716	16,925	40,033	4119,667	-24674,221	-1224,3415	-64,486299	71,292194	-258,2727	-246,67415
683	3	3	2	1	3	2	-76,686	23,555	40,317	3983,667	-9694,8999	-187,73984	40,228437	73,10943	-98,095303	-95,81562
684	3	3	2	1	3	3	-84,106	23,735	40,647	4602,667	-53975,432	-176,05779	-209,68491	75,077018	-540,76413	-541,1004
685	3	3	2	2	1	1	-95,856	19,305	42,113	5116,667	-808995,9	-665,59661	-634,48734	82,217206	-8095,7928	-8095,4817
686	3	3	2	2	1	2	-91,826	25,935	42,397	4980,667	-319789,51	-66,341265	-460,12197	83,342877	-3197,7251	-3201,6629
687	3	3	2	2	1	3	-99,246	26,115	42,727	5599,667	-1765937,8	-59,587915	-1060,7503	84,561681	-17659,128	-17669,14
688	3	3	2	2	2	1	-84,826	21,655	42,043	4988,667	-63726,349	-345,65625	-493,52972	81,928259	-639,90077	-641,3795
689	3	3	2	2	2	2	-80,796	28,285	42,327	4852,667	-25134,808	3,1722144	-356,73714	83,07222	-250,48563	-254,08473
690	3	3	2	2	2	3	-88,216	28,465	42,657	5471,667	-139215,68	7,1033613	-910,6727	84,310829	-1391,2427	-1400,4204
691	3	3	2	2	3	1	-88,366	19,945	42,353	5249,667	-144111,54	-560,69345	-747,54502	83,173259	-1445,8906	-1447,7591
692	3	3	2	2	3	2	-84,336	26,575	42,637	5113,667	-56916,427	-43,548943	-568,54306	84,238411	-568,75738	-574,00732
693	3	3	2	2	3	3	-91,756	26,755	42,967	5732,667	-314674,83	-37,720947	-1215,7566	85,391689	-3146,2716	-3158,052
694	3	3	2	3	1	1	-98,996	12,765	43,193	5234,667	-1667147,2	-3351,4374	-1030,4697	86,132442	-16704,125	-16680,915
695	3	3	2	3	1	2	-94,966	19,395	43,477	5098,667	-659073,9	-649,89421	-616,86108	87,010274	-6596,3678	-6596,0375
696	3	3	2	3	1	3	-102,386	19,575	43,807	5717,667	-3639050,4	-619,44898	-1271,4259	87,960734	-36395,818	-36402,338
697	3	3	2	3	2	1	-87,966	15,115	43,123	5106,667	-131422,48	-1909,0928	-751,66328	85,907112	-1332,4567	-1320,8824
698	3	3	2	3	2	2	-83,936	21,745	43,407	4970,667	-51899,6	-336,51583	-478,16464	86,799208	-521,49316	-522,90965
699	3	3	2	3	2	3	-91,356	21,925	43,737	5589,667	-286978,06	-318,79357	-1080,7898	87,765112	-2872,0909	-2879,7108
700	3	3	2	3	3	1	-91,506	13,405	43,433	5367,667	-297066,6	-2878,5164	-1125,5618	86,878001	-2998,5824	-2981,0529

Ek Tablo 1 devam

Standart Kombinasyon Sırası	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TOL1}	PRQL _{TOL2}
	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
701	3	3	2	3	3	2	-87,476	20,035	43,717	5231,667	-117389,76	-547,14262	-728,76001	87,708638	-1178,4919	-1180,3081
702	3	3	2	3	3	3	-94,896	20,215	44,047	5850,667	-648534,43	-520,86903	-1428,4321	88,607999	-6489,6669	-6498,7426
703	3	3	3	1	1	1	-73,286	20,725	38,753	3561,667	-4377,133	-452,07744	72,345144	61,452164	-47,677583	-42,433357
704	3	3	3	1	1	2	-69,256	27,355	39,037	3425,667	-1670,109	-19,94993	85,851422	63,892285	-16,261666	-15,203653
705	3	3	3	1	1	3	-76,676	27,535	39,367	4044,667	-9672,3722	-15,080039	36,243367	66,534293	-96,20918	-95,695945
706	3	3	3	1	2	1	-62,256	23,075	38,683	3433,667	-253,18317	-221,36605	77,368644	60,825812	-4,1372341	-1,1498871
707	3	3	3	1	2	2	-58,226	29,705	38,967	3297,667	-39,636836	30,17676	70,958493	63,305582	0,5384551	0,9462724
708	3	3	3	1	2	3	-65,646	29,885	39,297	3916,667	-670,90347	33,011539	67,382578	65,990519	-5,7190141	-5,3753037
709	3	3	3	1	3	1	-65,796	21,365	38,993	3694,667	-697,99469	-376,43099	72,150396	63,524605	-10,109011	-5,6231969
710	3	3	3	1	3	2	-61,766	27,995	39,277	3558,667	-215,50046	-3,5142167	94,414353	65,833539	-1,5318114	-0,5525257
711	3	3	3	1	3	3	-69,186	28,175	39,607	4177,667	-1641,8069	0,6883952	-1,9841346	68,333505	-15,72785	-15,754575
712	3	3	3	2	1	1	-80,936	23,745	41,073	4691,667	-25961,535	-175,42287	-263,71921	77,405642	-260,59553	-261,47849
713	3	3	3	2	1	2	-76,906	30,375	41,357	4555,667	-10203,861	40,15884	-165,50146	78,83589	-100,84866	-102,90527
714	3	3	3	2	1	3	-84,326	30,555	41,687	5174,667	-56785,293	42,588354	-613,69292	80,384472	-566,6232	-573,18602
715	3	3	3	2	2	1	-69,906	26,095	41,003	4563,667	-1955,8906	-60,324539	-178,03954	77,038514	-19,391766	-20,568916
716	3	3	3	2	2	2	-65,876	32,725	41,287	4427,667	-712,83052	65,166268	-98,176	78,492001	-5,6917225	-7,3251451
717	3	3	3	2	2	3	-73,296	32,905	41,617	5046,667	-4387,4539	66,580496	-500,64476	80,065745	-42,408077	-48,080329
718	3	3	3	2	3	1	-73,446	24,385	41,313	4824,667	-4545,1528	-137,68403	-349,58786	78,620379	-46,042164	-48,161202
719	3	3	3	2	3	2	-69,416	31,015	41,597	4688,667	-1736,5383	48,358363	-242,69059	79,973733	-16,082062	-18,992552
720	3	3	3	2	3	3	-76,836	31,195	41,927	5307,667	-10039,114	50,454981	-737,74149	81,439059	-99,072198	-106,95416
721	3	3	3	3	1	1	-84,076	17,205	42,153	4809,667	-53603,18	-1141,6523	-429,35104	82,38024	-546,62452	-539,5015
722	3	3	3	3	1	2	-80,046	23,835	42,437	4673,667	-21132,445	-169,77394	-251,93436	83,49559	-212,18723	-213,00883
723	3	3	3	3	1	3	-87,466	24,015	42,767	5292,667	-117119,54	-158,82129	-745,95115	84,703221	-1171,9365	-1177,8078
724	3	3	3	3	2	1	-73,046	19,555	42,083	4681,667	-4136,4297	-622,7698	-295,54633	82,093941	-46,771055	-43,498821
725	3	3	3	3	2	2	-69,016	26,185	42,367	4545,667	-1574,9429	-57,03628	-167,86384	83,227415	-15,487517	-16,595793
726	3	3	3	3	2	3	-76,436	26,365	42,697	5164,667	-9146,9817	-50,660707	-614,38254	84,454668	-91,131878	-96,769096
727	3	3	3	3	3	1	-76,586	17,845	42,393	4942,667	-9471,9407	-971,51931	-516,33842	83,327528	-103,60132	-99,049516
728	3	3	3	3	3	2	-72,556	24,475	42,677	4806,667	-3684,4258	-132,80913	-336,49859	84,382914	-37,328521	-39,365415

Ek Tablo 1 devam

	Faktörler						S/G Oranı			Ortalama	PRQL				PRQL _{TQL1}	PRQL _{TQL2}
Standart Kombinasyon Sırası	A	B	C	D	E	F	Yüzey Hatası	Kalınlık	Korunma Oranı	Kalınlık	Yüzey Hatası	Kalınlık (3.10) Eşitliğiyle Bulunan	Kalınlık (3.14) Eşitliğiyle Bulunan	Korunma Oranı		
729	3	3	3	3	3	3	-79,976	24,655	43,007	5425,667	-20792,961	-123,35722	-876,88384	85,525619	-208,30793	-215,8432

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında İzmir’de doğdum. 1993 yılında Erzincan Mehmetçik İlköğretim okulunda başladığım ilköğrenimimi 2000 yılında Gelibolu Gazi Süleyman Paşa İlköğretim okulunda tamamladım. Orta öğrenimimin hazırlık ve lise 1. sınıflarını Gelibolu Anadolu Lisesinde, lise 2. ve 3. sınıflarını İzmir Selma Yiğitalp Lisesinde okudum. 2005 yılında başladığım Ege Üniversitesi İstatistik bölümünden 2010 yılında mezun oldum, aynı sene Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimime başladım. Şu an Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Anabilim Dalı’nda çalışmaktayım.