

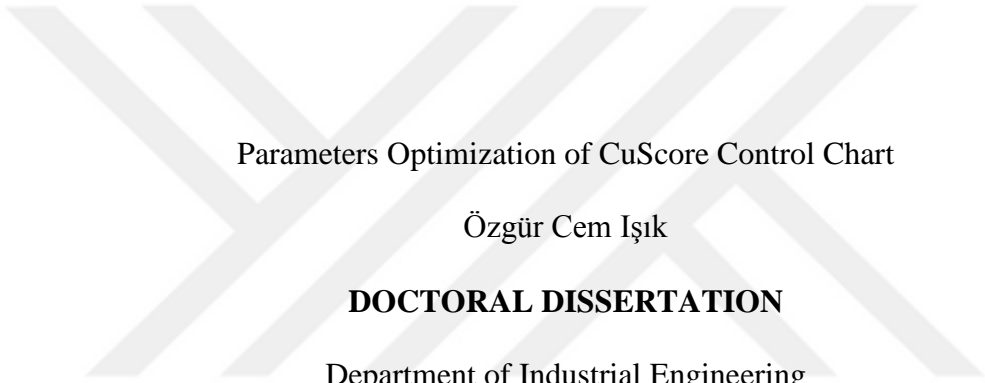
Birikimli Puan (CuScore) Kontrol Grafiklerinin Parametrelerinin Eniyilenmesi

Özgür Cem Işık

**DOKTORA TEZİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2018



Parameters Optimization of CuScore Control Chart

Özgür Cem Işık

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Industrial Engineering

March 2018

Birikimli Puan (CuScore) Kontrol Grafiklerinin Parametrelerinin Eniyilenmesi

Özgür Cem Işık

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ezgi Aktar Demirtaş

Bu Tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
BAP Komisyonu tarafından 2017-1630 no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Mart 2018

## ONAY

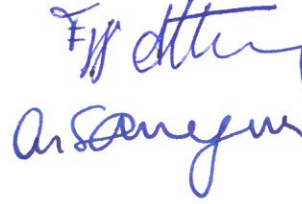
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Özgür Cem IŞIK'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “**Birikimli Puan (CuScore) Kontrol Grafiklerinin Parametrelerinin Eniyelenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ

**İkinci Danışman** : -

### Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ



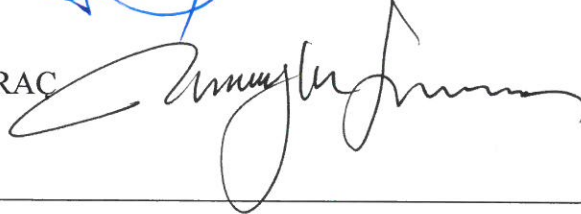
Üye : Prof. Dr. A. Sermet ANAGÜN



Üye : Doç. Dr. Özden ÜSTÜN



Üye : Doç. Dr. Fatih ÇEMREK



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuğba SARAC

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Birikimli Puan (CuScore) Kontrol Grafiklerinin Parametrelerinin Eniyilenmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/03/2018

Özgür Cem IŞIK

İmza

## ÖZET

Süreçte meydana gelebilecek herhangi bir sapma daha önceden bir sinyal aracılığıyla belirlenebilir. Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin geliştirilmiş bir hali olan CuScore kontrol grafikleri, sürecin karakteristiğinden dolayı süreçte meydana gelebilecek sapmalardaki uç, adım, yumru ve eğim gibi özel sinyallerin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ARIMA(0,1,1) zaman serili bir kimyasal süreç ile ARIMA(1,0,1) zaman serili finansal bir süreç için uç ve yumru özel sinyal türlerine ilişkin iki farklı Cuscore kontrol grafiği tasarlanmıştır. Grafik ile ilgili benzetim kodları SAS ortamında oluşturulmuştur. Daha sonra, sinyal belirleme oranını enbüyükleyen ve yanlış sinyal oranını enküçükleyen CuScore kontrol grafiğinin eniyi parametre değerlerini bulmak için Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılmıştır. Literatürde, sinyal belirleme oranını enbüyükleyen ve yanlış sinyal oranını enküçükleyen herhangi bir sistematik yöntem bulunamamıştır. Parametrelerin alabileceği değerler dikkate alınarak bir deney planı oluşturulmuştur. Deney planlarındaki düzeyler dikkate alınarak ilgili deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ANOVA ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, iki tane doğrusal olmayan regresyon modeli elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu modellerin amaçlarının çeliştiği görülmüştür. Çelişen amaçları eş zamanlı olarak eniyilemek için İstek Fonksiyonları ve Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama yaklaşımları kullanılarak ödünleşik yerel çözümler bulunmuştur. Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama, çözüm uzayında has etkin bir çözüm ve daha geniş bir bölgede uygun bir nokta elde edilmesine olanak sağlar.

**Anahtar Kelimeler:** CuScore Kontrol Grafiği, Zaman Serileri Analizi, Yanıt Yüzey Yöntemi, İstek Fonksiyonları, Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama

## SUMMARY

Any deviation that may occur in the process can be detected earlier by a signal. CuScore control charts, which are a generalized version of the Shewhart, CUSUM and EWMA control charts, were also developed to detect specific signals such as spike, step, bump and rump.

In this study two different Cuscore control charts were designed for particular signal types such as spike and bump in ARIMA(0,1,1) and ARIMA(1,0,1) chemical and finance time series data. The simulation code of this chart has been in SAS environment. Then, Design of Experiment and Response Surface Methodology were used to find the optimum values of CuScore control chart parameters by the objectives of maximising the detection rate and minimising the probability of false signal. In the literature, no method has been found that can find compromised solutions while minimizing the probability of false signal and maximizing the probability of signal detection. Experimental plan was made by considering the values that parameters can take. The relevant experiments were conducted taking into account the levels in the experimental plans and the results are analyzed statistically by ANOVA. As a result of the ANOVA, two non-linear regression models were obtained. After validation of the results, these models were considered as objectives that conflicting each other. To optimize these conflicting objectives simultaneously, compromised local solutions were found by Desirability Functions and Multi Choice Conic Goal Programming approach. Multi Choice Conic Goal Programming allows the goal to obtain an efficient solution in the global region and guarentes to obtain a properly efficient point.

**Keywords:** CuScore Control Charts, Time Series Analysis, Response Surface Methodology, Desirability Functions, Multi Choice Conic Goal Programming

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının konusu, çalışmanın yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazım aşamasında yapmış olduğu katkılardan dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jürimde yer alarak tezimin hazırlanmasında yardımcı olan Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN ve Prof. Dr. Murat Caner TESTİK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, "Birikimli Puan (CuScore) Kontrol Grafiklerinin Zaman Serilerinde Uygulamaları ve Grafik Parametrelerinin Optimizasyonu" isimli 2017-1630 numaralı proje ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından "Hızlı Destek Projesi" olarak desteklenmiştir. Çalışmamı destekleyen kurumlara desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	xv
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ</b> .....	4
2.1. Shewhart Kontrol Grafikleri .....	4
2.2. CUSUM ve EWMA Kontrol Grafikleri .....	5
2.3. CuScore Kontrol Grafiği .....	6
<b>3. ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ</b> .....	11
3.1. Box–Jenkins Modelleri .....	11
3.2. Model Seçim Kriterleri .....	15
3.3. Zaman Serileri ile CuScore Kontrol Grafiği Arasındaki İlişki .....	17
<b>4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	19
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	26
5.1. Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi .....	26
5.1.1. Tam faktöriyel tasarım .....	27
5.1.2. Kesirli faktöriyel tasarım .....	28
5.1.3. Plackett–Burman tasarımı .....	28
5.1.4. Karışım tasarımı .....	29
5.1.5. Yanıt yüzey yöntemi .....	30
5.1.5.1. <u>Box–Behnken tasarımı</u> .....	30
5.1.5.2. <u>Merkezi kompozit tasarım</u> .....	31
5.2. Eş Zamanlı Eniyileme .....	32
5.2.1. İstek fonksiyonları .....	33
5.2.2. Hedef programlama .....	35
5.2.2.1. <u>Çok seçenekli hedef programlama</u> .....	37
5.2.2.2. <u>Çok seçenekli konik hedef programlama</u> .....	38

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	41
6.1. ARIMA(0,1,1) Zaman Serisi İçin Parametre Eniyilemesi .....	41
6.2. ARIMA(1,0,1) Zaman Serisi İçin Parametre Eniyilemesi .....	66
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	92
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	94
<b>EK AÇIKLAMALAR</b> .....	99
Ek Açıklama – A : CuScore Kontrol Grafiğinin Parametrelerinin Eniyilenmesinde Kullanılan Akış Diyagramı .....	100
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	102

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Shewhart, CUSUM ve EWMA ile CuScore'un kontrol rolleri .....	6
2.2. $t=10$ anında başlayan eğim sinyali .....	7
2.3. Eğim sinyali eklenmiş olan süreç .....	7
2.4. Sürece ilişkin CuScore kontrol grafiği .....	8
3.1. CuScore grafiği ile geribildirimli kontrol arasındaki ilişki .....	17
5.1. $2^2$ ve $2^3$ tasarımlarında faktör yerleşimleri .....	27
5.2. (12'li Placket-Burman) 3 faktör ve 4 faktör yerleşimleri .....	28
5.3. Karışım tasarımları için (a) $2^2$ ve (b) $2^3$ faktör yerleşimleri .....	30
5.4. Box-Behnken tasarımı için $2^3$ faktör yerleşimi .....	31
5.5. MKT için (a) $2^2$ ve (b) $2^3$ faktör yerleşimleri .....	32
5.5. (a) büyük daha iyi, (b) küçük daha iyi, (c) hedef değer eniyi .....	35
6.1. Viskozite verilerinin zaman serisi grafiği .....	42
6.2. ARIMA modelinin tahmini .....	43
6.3. ARIMA(0,1,1) modelinin katsayılarının belirlenmesi .....	41
6.4. DR yanıtı için Box-Cox grafiği .....	51
6.5. DR yanıtı için yenilenen Box-Cox grafiği .....	52
6.6. H faktörünün DR yanıtına etkisi .....	54
6.7. SS faktörünün DR yanıtına etkisi .....	55
6.8. H*SS etkileşiminin DR yanıtına etkisi .....	55
6.9. FA yanıtı için Box-Cox grafiği .....	56
6.10. H faktörünün FA yanıtına etkisi .....	59
6.11. SS faktörünün FA yanıtına etkisi .....	59
6.12. İstek değeri, DR ve FA yanıtları için yüzey grafikleri .....	61
6.13. Oluşturulan matematiksel model .....	63
6.14. Matematiksel modelin bütünsel eniyi çözümü .....	63
6.15. DR ve FA yanıtları için oluşturulan ÇSKHP modeli .....	64
6.16. Etkin çözümler için pareto yüzey grafiği .....	66
6.17. Hisse senedi kapanış değerlerinin zaman serisi grafiği .....	68
6.18. ARIMA modelinin tahmini .....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
6.19. ARIMA(1,0,1) modelinin katsayılarının belirlenmesi .....	69
6.20. DR yanıtı için Box–Cox grafiği .....	76
6.21. DR yanıtı için yenilenen Box–Cox grafiği .....	77
6.22. H faktörünün DR yanıtına etkisi .....	79
6.23. BS faktörünün DR yanıtına etkisi .....	80
6.24. H*BS etkileşiminin DR yanıtına etkisi .....	81
6.25. FA yanıtı için Box–Cox grafiği .....	81
6.26. H faktörünün FA yanıtına etkisi .....	84
6.27. BS faktörünün FA yanıtına etkisi .....	85
6.28. H*BS etkileşiminin FA yanıtına etkisi .....	85
6.29. İstek değeri, DR ve FA yanıtları için yüzey grafikleri .....	86
6.30. Oluşturulan matematiksel model .....	88
6.31. Matematiksel modelin bütünsel eniyi çözümü .....	89
6.32. DR ve FA yanıtları için oluşturulan ÇSKHP modeli .....	90
6.33. Etkin çözümler için pareto yüzey grafiği .....	91

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Model seçiminde ACF ve PACF grafiklerindeki ilişki miktarı .....	15
4.1. Uç sinyalin H ve SigS kombinasyonları için DR ve FA değerleri .....	24
6.1. Kimyasal sürece ilişkin saatlik viskozite değerleri .....	41
6.2. Zaman serisi model karşılaştırma sonuçları .....	43
6.3. ARIMA(0,1,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi .....	44
6.4. TFT deney planı için faktör ve düzey değerleri .....	45
6.5. TFT deney planı .....	45
6.6. DR yanıtı için ANOVA tablosu .....	46
6.7. MKT deney planı .....	47
6.8. MKT deney planındaki DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	48
6.9. MKT deney planındaki FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	49
6.10. MKT deney planı için faktörler ve yenilenen düzey değerleri .....	49
6.11. Yenilenen MKT deney planı .....	50
6.12. DR yanıtı için model seçimi .....	52
6.13. DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	53
6.14. DR yanıtı için $R^2$ değerleri .....	51
6.15. FA yanıtı için model seçimi .....	57
6.16. FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	57
6.17. FA yanıtı için $R^2$ değerleri .....	58
6.18. DR ve FA yanıtları için elde edilen istek değerleri .....	60
6.19. DR ve FA yanıtları için tahmin aralıkları .....	61
6.20. DR ve FA yanıtları için farklı ağırlık değerlerine göre istek değerleri .....	62
6.21. Farklı $\beta$ , $w_1$ ve $w_2$ değerleri için elde edilen etkin çözümler.....	65
6.22. IBM, 1962-1964 yılları arasındaki hisse senedi kapanış değerleri .....	66
6.23. Zaman serisi model karşılaştırma sonuçları .....	69
6.24. ARIMA(1,0,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi .....	70
6.25. TFT deney planı için faktör ve düzey değerleri .....	70
6.26. TFT deney planı .....	71
6.27. DR yanıtı için ANOVA tablosu .....	71
6.28. MKT deney planı .....	72
6.29. MKT deney planındaki DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	73
6.30. MKT deney planındaki FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	74

**ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
6.31. MKT deney planı için faktörler ve yenilenen düzey değerleri .....	74
6.32. Yenilenen MKT deney planı .....	75
6.33. DR yanıtı için model seçimi .....	77
6.34. DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	78
6.35. DR yanıtı için $R^2$ değerleri .....	79
6.36. FA yanıtı için model seçimi .....	82
6.37. FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu .....	83
6.38. FA yanıtı için $R^2$ değerleri .....	83
6.39. DR ve FA yanıtları için elde edilen istek değerleri .....	86
6.40. DR ve FA yanıtları için tahmin aralıkları .....	87
6.41. DR ve FA yanıtları için farklı ağırlık değerlerine göre istek değerleri .....	87
6.42. Farklı $\beta$ , $w_1$ ve $w_2$ değerleri için elde edilen etkin çözümler.....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

H	Eşik değeri
SigS	Sinyal büyüklüğü
SS	Uç sinyal büyüklüğü
BS	Yumru sinyal büyüklüğü
DR	Sinyal belirleme oranı
FA	Sinyali yanlış yakalama oranı

### Kisaltmalar

AIC	Akaike Bilgi Kriteri
CuScore	Cumulative Score
CUSUM	Cumulative Sum
ÇSHP	Çok Seçenekli Hedef Programlama
ÇSKHP	Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama
DT	Deney Tasarımı
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average
HP	Hedef Programlama
İSK	İstatistiksel Süreç Kontrolü
KFT	Kesirli faktöriyel Tasarım
KT	Karışım Tasarımı
MKT	Merkezi Kompozit Tasarım
SBC	Schwartz Bayes Krtiteri
TFT	Tam Faktöriyel Tasarım
YYY	Yanıt Yüzey Yöntemi

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Herhangi bir ürün ya da hizmetin istenilen nitelikte elde edilebilmesi için kullanılan ve ürünlerin kalitesini etkileyen makine, donanım, yöntem, malzeme ve işgücü gibi faktörlerin oluşturduğu sistemin üretim aşamaları süreç (proses) olarak adlandırılmaktadır. Birçok endüstriyel uygulamada, süreç değişkenliğini kontrol etmek önemlidir. Bir sürecin kontrol altında tutulmasında, eğer kontrol altında değilse ilgili nedenlerin belirlenerek ortadan kaldırılmasında İstatistiksel Süreç Kontrolü teknikleri kullanılmaktadır.

İstatistiksel Süreç Kontrolü tekniklerinden birisi olan Shewhart kontrol grafikleri, süreçteki büyük sapmaları belirlemede oldukça duyarlı olmasına rağmen küçük sapmaları belirlemede duyarsız kalmaktadır. Süreç ortalamasındaki küçük ancak sürekli kaymalara ya da sapmalara karşı literatürde, Shewhart kontrol grafiklerine alternatif olarak CUSUM ve EWMA gibi kontrol grafikleri geliştirilmiştir. Bu kontrol grafikleri, Shewhart kontrol grafiklerinin aksine süreç ile ilgili karar vermede sadece en son ya da belirli bir örnekten gelen bilgiyle yetinmeyerek önceki alınan örneklerin hepsini dikkate almaktadır.

Süreçte meydana gelebilecek herhangi bir sapma daha önceden bir sinyal vasıtasıyla belirlenebilir. Süreçte, sürecin yapısıyla ilgili olarak uç (spike), adım (step), yumru (bump) ve eğim (ramp) gibi özel sinyaller meydana gelebilmektedir. Literatürde, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin genelleştirmiş bir hali olan CuScore kontrol grafiği, bu özel sinyallerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

CuScore kontrol grafiğinin performansını etkileyen parametrelerin belirlenmesi konusu oldukça önemlidir. Literatürde, “eşik değeri” (threshold, H) ve “sinyal büyüklüğü” (signal size, SigS) faktörleri dikkate alınarak süreçte meydana gelebilecek sinyali belirleme oranı (Detection Rate, DR) ve sinyali yanlış belirleme oranlarının (False Alarm, FA) hesaplandığı çalışmalarla karşılaşılmıştır. Bu çalışmalarda, sinyal belirleme oranını enbüyükleyen, aynı zamanda da sinyali yanlış belirleme oranını enküçükleyen H ve SigS ne olması gerektiği hakkında sistematik bir yaklaşım ile karşılaşılmamıştır. Çalışmanın amacı, DR’yi enbüyüklerken FA’yı enküçükleyen ve ödünleşik çözümler bulabilen bir yöntem geliştirmektir.



Çalışmanın ikinci bölümünde, İstatistiksel Süreç Kontrolü hakkında genel bilgiler verilerek, Cuscore kontrol grafiği ayrıntılı olmak üzere Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri açıklanacaktır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, uygulamada kullanılacak verilerin zaman serilerinin belirlenmesinde kullanılacak Box–Jenkins modelleri açıklanarak, bu modellerden hangisinin seçileceği ile ilgili olarak kullanılacak model seçim kriterlerinden bahsedilecektir. Bölümde ayrıca zaman serileri ile CuScore kontrol grafiği arasındaki ilişkiye de değinilecektir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, CuScore kontrol grafiği ile ilgili bazı çalışmalara yer verilecek, grafiğin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan sezgisel yöntem açıklanarak çalışmada alternatif olarak sunulacak sistematik yöntemin önemi vurgulanmaya çalışılacaktır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, çalışmada kullanılacak Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi ile birlikte eş zamanlı eniyileme yöntemlerinden İstek Fonksiyonları ve Hedef Programlama yöntemlerinden Çok Seçenekli Hedef Programlama ve Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, kimyasal ve finansal bir süreç ayrı ayrı ele alınacaktır. Öncelikle bu süreçlerin zaman serileri modelleri belirlenecek ve bu zaman serisi modellerinin katsayıları bulunacaktır. Belirlenen zaman serilerine uygun olarak ilgili süreçlere uç ve yumru sinyalleri eklenecek, farklı H ve SigS değerlerine göre DR ve FA yanıt değerleri oluşturulan benzetim kodları yardımıyla hesaplanacaktır. Çalışmada kullanılacak CuScore kontrol grafiğinin parametreleri dikkate alınarak belirlenecek Deney Tasarımı yöntemlerine uygun deney planları oluşturulacak ve hesaplanan olasılık değerlerine ilişkin deney sonuçları paylaşılacaktır. Daha sonra kalite karakteristikleri ile (DR ve FA) süreç değişkenlerinin (H ve SigS) arasındaki ilişkiyi ifade eden yanıt denklemleri bulunarak gerekli istatistiksel analizler yapılacaktır. Her iki yanıt eşzamanlı eniyilenmesi için İstek Fonksiyonları ile karar vericiler tarafından her bir hedef için istek seviyelerinin dikkate alındığı Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama yöntemi ile ödünleşik çözümler bulunmaya çalışılacaktır.

Çalışmanın “Sonuç ve Öneriler” bölümünde ise, çalışma genel olarak değerlendirilerek, literatüre yapılan katkı vurgulanacak ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.



## 2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK) – (Statistical Process Control – SPC), anakütleden rassal olarak seçilen örneklemelerden elde edilen gözlem değerlerine dayanarak, sürecin istenen özelliklere göre yönlendirilmesini sağlayan bir tekniktir (Işığışık, 2004). İSK'nın amacı, sürecin olağandışı durumlarını belirlemenin yanında süreç değişkenliğinin de azaltılmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda İSK'da kullanılan önemli araçlardan birisi de “kontrol grafikleri” dir. Kontrol grafikleri, süreçten elde edilen örneklerdeki özel nedenlerin belirlenmesinde kullanılan ve oldukça etkili olan görsel bir araçtır.

Kontrol grafikleri, ölçülebilen (nicel) veya ölçülemeyen (nitel) kalite özelliklerine uygulanabilmektedir. Nicel ve nitel kontrol grafikleri, süreçten elde edilen gözlem sonuçlarının belirli bir zaman aralığındaki değişimlerinin tespiti ve varsa süreçte özel nedenlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde, incelenen süreçten elde edilen verilerin yapısına bağlı olarak, klasik kontrol grafikleri olarak da adlandırılan Shewhart kontrol grafiklerinin kullanımı oldukça yaygındır. Bununla birlikte, son yıllarda, Shewhart kontrol grafiklerine alternatif olarak CUSUM, EWMA ve CuScore kontrol grafiği gibi birçok kontrol grafiği de geliştirilmiştir.

### 2.1. Shewhart Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri fikri ilk olarak 1926 yılında Dr. W.A.Shewhart tarafından ortaya atılmıştır (Şenol, 2012). Bu yüzden literatürde kullanılan ilk kontrol grafikleri “Shewhart kontrol grafikleri” olarak da adlandırılırlar. Shewhart kontrol grafikleri, kontrol edilemeyen değişkenliğin belirlenmesi için oluşturulan bir kontrol grafiğidir (Wheeler ve Chambers, 1992).

Süreç kontrolünde yaygın olarak kullanılan Shewhart kontrol grafikleri, ölçülebilir özelliklere sahip süreçler için kullanılabilen nicel kontrol grafikleri ve ölçülemeyen özellikler için kullanılabilen nitel kontrol grafikleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu kontrol grafikleri, örnek ortalamasındaki büyük sapmaları belirlemede oldukça başarılıdır. Ancak örnek ortalamasındaki küçük ama sürekli sapmalara karşı duyarsızlıkları nedeniyle

literatürde bu kontrol grafiklerine alternatif olarak CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri geliştirilmiştir. CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri, süreçteki küçük sapmaların belirlenmesinde sadece bir örnekten alınan bilgiyi değil, birkaç örnekteki bilgiyi ya da bütün örnek değerlerini dikkate almaları nedeniyle Shewhart kontrol grafiklerinden daha üstündürler (Montgomery, 2009).

## 2.2. CUSUM ve EWMA Kontrol Grafikleri

Birikimli Toplam (Cumulative Sum – CUSUM) kontrol grafiği, ilk kez Page (1954) tarafından önerilmiş, Shewhart kontrol grafiklerinin örneklem ortalamalarındaki küçük ancak sürekli kaymalara karşı duyarsızlığı nedeniyle, bu kontrol grafiklerine alternatif olarak geliştirilmiştir (Işığışok, 2004). CUSUM kontrol grafiği, süreç ortalamasından sapmayı büyüterek net bir biçimde görüntüleme amacıyla, her noktanın bir önceki örnekle birikimli toplamı alınarak oluşturulur. Ortalamalarda meydana gelebilecek büyük ve küçük sapmaları belirlemede oldukça başarılı olan bu kontrol grafikleri, kimya vb. süreçlerde yaygın bir kullanıma sahiptir.

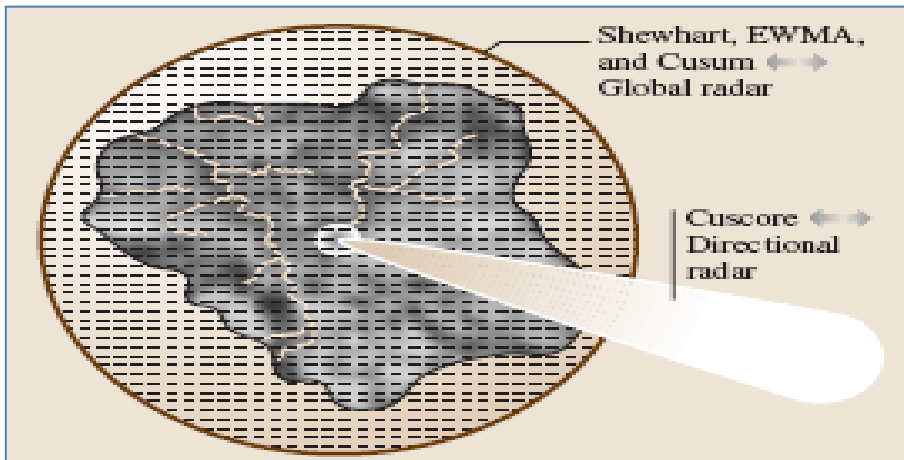
Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average – EWMA) kontrol grafiği, ilk kez Roberts (1959) tarafından geliştirilen, süreç ortalamasındaki küçük ancak sürekli kaymaların dikkate alındığı Shewhart kontrol grafiklerine alternatif olarak kullanılan diğer bir kontrol grafiğidir (Şenol, 2012). CUSUM kontrol grafiği ile performanslarının birbirine benzer olmasının yanı sıra, geçmişteki bütün değerlerin hareketli ortalaması alınarak CUSUM kontrol grafiğine göre daha kolay oluşturulan bir kontrol grafiğidir.

Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri, birçok süreç tipi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Süreçte meydana gelebilecek herhangi bir sapma daha önceden bir sinyal aracılığıyla belirlenebilir. Bu sinyaller bazen beklenmedik bir şekilde ortaya çıkmasına rağmen bazen de sürecin karakteristik özelliğine bağlı olarak sinyalin oluşacağı beklenen bir durumdur. Beklenen uç, adım, yumru ve eğim gibi özel sinyalleri belirlemede duyarlı olması nedeniyle literatürde CuScore Birikimli Puan kontrol grafiklerinin kullanılması önerilmiştir.

### 2.3. CuScore Kontrol Grafiği

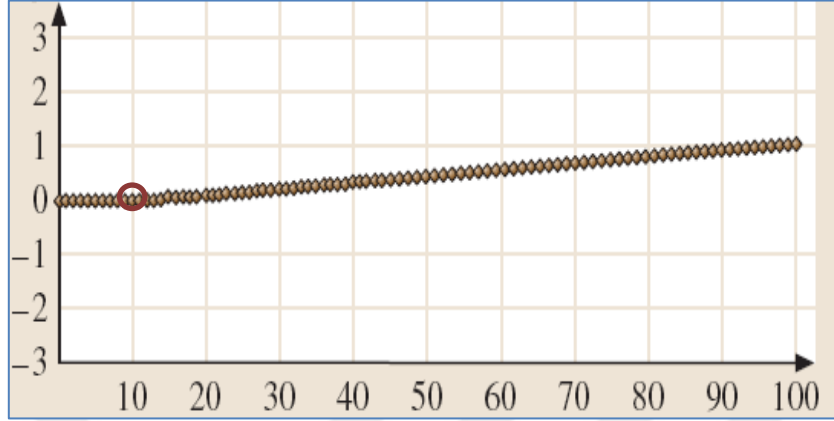
Özel sinyallerin belirlenmesinde kullanılan Birikimli Puan (Cumulative Score – CuScore) kontrol grafiği ilk kez Box ve Ramirez (1992) tarafından sunulmuştur (Pham, 2006). Örneğin; bir boru hattı içinde yer alan ve içindeki hava basıncı korumak amacıyla kullanılan bir valf, zamanla aşınacağından dolayı belirli sürelerde değiştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu değişim her zaman belirlenen dönemlerde olmayabilir. Bu durumda, normalden daha hızlı bir şekilde aşınan valfin beklenen süreden ne kadar zaman önce aşınabileceği konusu bu süreç için önem arz etmektedir ve önemli bir süreç karakteristiğidir. CuScore kontrol grafiği bu tür özel sinyallerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

CuScore kontrol grafiği ile diğer kontrol grafikleri arasındaki farkın daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla bir örnek verilebilir. Bir ülkenin karşılaşılabileceği hava saldırılarına karşı savunma amacıyla geliştirdiği geniş çaplı bir radar Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu radarın tam olarak belirlenen alanı geniş bir gözetleme sahası açısından taraması olayı Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin hedefleri olarak tanımlanırsa, olası bir saldırıyı belirli bir bölgeyi kapsayacak şekilde yönlü bir radarın belirleme olayı CuScore kontrol grafiğinin hedefi olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak, Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafikleri süreçteki herhangi bir sapma ile ilgilenirken CuScore kontrol grafiği ise süreçteki sadece belirli sinyal tiplerine odaklanmaktadır.



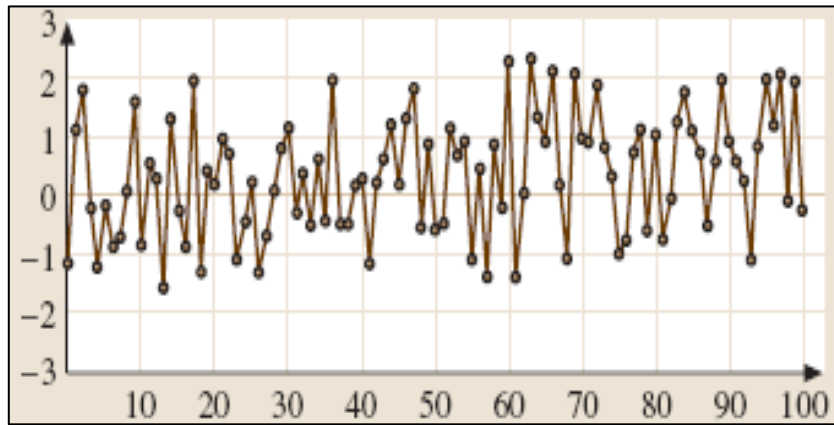
Şekil 2.1. Shewhart, CUSUM ve EWMA ile CuScore'un kontrol rolleri

CuScore kontrol grafiğinin daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal bilgiler içeren başka bir örnek de verilebilir.



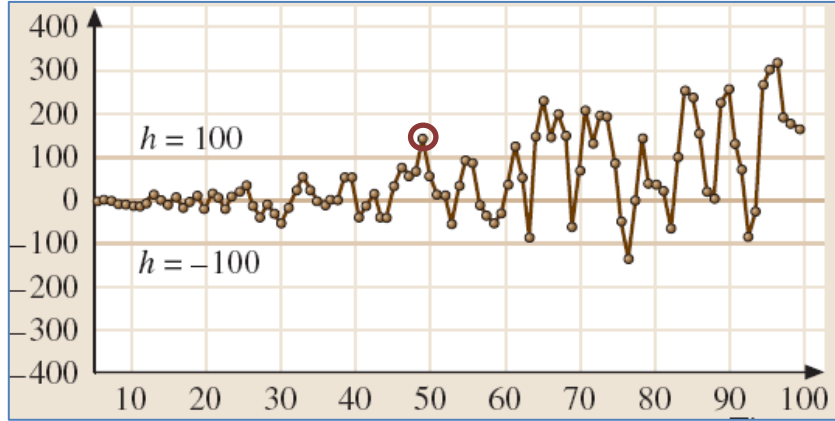
Şekil 2.2.  $t=10$  anında başlayan eğim sinyali

Örneğin, Şekil 2.2'de,  $t=10$  anında başlayan bir eğim sinyali, Şekil 2.3'te ise,  $t=0$ 'dan başlayarak  $t=100$  anına kadar ortalaması "0", standart sapması "1" olan normal dağılmış verilere ilişkin sinyalin eklendiği bir süreç gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Eğim sinyali eklenmiş bir süreç

Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi,  $t=10$  anından itibaren eklenen eğim sinyalinin 100 örnek içeren zaman serisi içerisinde belirlenmesi oldukça zordur. Çünkü Şekil 2.3'teki süreç ile ilgili olarak ilk bakışta herhangi bir sorun görülmemektedir. Shewhart kontrol grafikleri, önceden de belirtildiği gibi, küçük sapmalara karşı duyarsızdır ve karakteristik olarak hiçbir zaman bu türdeki bir eğim sinyalini belirleyememektedir.



Şekil 2.4. Sürece ilişkin CuScore kontrol grafiği

Şekil 2.4'de, Şekil 2.3'teki sürece ilişkin oluşturulan CuScore kontrol grafiğini göstermektedir. Bu grafikte  $h = \pm 100$  eşik değeri belirlenmiştir. Şekil 2.4'deki ilk sinyal  $t=49$  anında belirlenmiş ve daha sonraki değişik  $t$  zamanlarda CuScore değerlerinin  $h$  değerinin dışına çıkması devam etmiştir. Bu örnekte, süreç ile ilgili olarak eğitim sinyalinin belirlenmesi CuScore kontrol grafiği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Pham, 2006)

CuScore kontrol grafiğinin uygulandığı süreçlerde gözlem değerleri,

$$Y_t = T + a_{t0} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'deki gibi hesaplanabilir. Burada,

$Y_t$  : Gözlem değeri

$T$  : Hedeflenen değer

$a_{t0}$  : Artık değer

anlamına gelmektedir.

Gözlem değerlerine belirli bir sinyal eklenmesi durumunda, yeni gözlem değerleri,

$$Y_t = T + a_t + \gamma f(t) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'deki gibi hesaplanabilir. Burada,

$\gamma$  : Sinyalin büyüklüğü

$f(t)$  : Sinyalin oluşma durumu

anlamına gelmektedir. Denklem 2.1’de artık değer,

$$a_{t_0} = Y_t - T \quad (2.3)$$

Denklem 2.3’te hesaplanabildiği gibi benzer şekilde Denklem 2.2’deki artık değer,

$$a_t = Y_t - T - \gamma f(t) \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’deki gibi de hesaplanabilir.

Uç sinyali için  $f(t)$  değeri,

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t \neq t_0 \\ 1, & t = t_0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Denklem 1.5’teki değerleri almaktadır. Burada  $t_0$ , sinyal eklendiği anı göstermektedir. Örneğin “1” durumunda sinyal eklendiği an  $t$  anına eşit ise sinyal oluşuyor anlamına gelmektedir.

Uç sinyal için sinyali belirleyici (detector,  $d_t$ ),

$$d_t = -\left. \frac{\partial a_t}{\partial \gamma} \right|_{\gamma=\gamma_0} = 1 \quad (2.6)$$

Denklem 1.6’daki gibi hesaplanabilir.

Diğer sinyaller için de farklı sinyal belirleyiciler hesaplanabilmektedir. Örneğin eğim sinyalinde belirleyici,

$$d_t = -\left. \frac{\partial a_t}{\partial \gamma} \right|_{\gamma=\gamma_0} = t \quad (2.7)$$



Denklem 2.7'deki gibi hesaplanabilir.

Bu bilgiler ışığında CuScore istatistiği genel olarak,

$$Q_t = \sum_{i=1}^t a_{i0} d_i = \sum_{i=1}^t a_{i0} t = \sum_{i=1}^t (Y_t - T) t \quad (2.8)$$

Denklem 2.8'deki gibi hesaplanabilir. Burada,

$Q_t$  : CuScore istatistiği

anlamına gelmektedir.

Eklenen bu sinyaller zaman serisi şeklinde modellenebilmektedir. Eğer bir değişkene ait tekrarlanan gözlemler bir zaman serisi oluşturursa, değişken, zaman serisi değişkeni olarak adlandırılır ve değişkenin t zamanındaki değer de  $Y_t$  olarak gösterilir (Işık, 2006).

### 3. ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

Zaman sıralamasına bağlı (kronolojik) olarak elde edilen verilerden oluşan seriye Zaman Serisi (Time Series) denir (Chatfield, 2003). Zaman Serileri Analizi (Time Series Analysis) ise, zaman içerisinde düzenli aralıklarla (haftalık, aylık vb.) gözlemlenen verilerin istatistiksel olarak incelenmesi ve zaman serisi için stokastik ve dinamik modellerin geliştirilmesini içermektedir (Box vd., 2008).

Zaman serileri analizi ile tahmini yapılacak değişkenin şimdiki ve geçmiş dönem değerleri kullanılarak, çeşitli yöntemlerle tahmin modeli oluşturulmakta ve oluşturulan bu modelin geçerliliği araştırıldıktan sonra değişkenin gelecek dönem değerleri tahmin edilmektedir. Bu tahmin yapılırken birçok zaman serisinde serinin yapısının rastgele değişebildiği göz ardı edilmemelidir. Bu tür serilerin tahmininin yapılabilmesi için bazı düzeltme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Kullanılan yöntemlerden birisi olan üstel düzeltme yöntemi, verilerdeki ani veya normal değişimleri dikkate alarak tahminlerin sürekli güncel tutulmasını sağlamaktadır. Üstel düzeltme yönteminde,  $t+1$  döneminin tahmininde bir önceki dönemin tahmini ile bu tahminden elde edilen hata dikkate alınmaktadır. Üstel düzeltme yönteminin; Basit, Holt ve Winters üstel düzeltme yöntemleri gibi çeşitleri bulunmakla birlikte yöntemin geliştirilmiş bir hali olan Box–Jenkins modelleri de yaygın bir şekilde literatürde kullanılmaktadır.

#### 3.1. Box–Jenkins Modelleri

Üstel düzeltme yöntemlerinin geliştirilmiş bir hali olan Box–Jenkins modelleri, mevsimsel ve mevsimsel olmayan Box–Jenkins modelleri olarak ikiye ayrılmaktadırlar. (Kadılar, 2005).

Mevsimsel olmayan Box–Jenkins modelleri, genel olarak  $ARIMA(p,d,q)$  şeklinde gösterilmekteyken, mevsimsel Box–Jenkins modelleri ise  $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_t$  şeklinde gösterilmektedir.

Mevsimsel Box–Jenkins modellerinde, mevsimsel olmayan model gösterimine ek olarak, mevsimselliği ifade etmek için modele  $(P,D,Q)_t$  kısmı eklenmiştir. Bu modellerde,

p : Otoregresyon (Autoregression – AR) modelinin derecesi

d : Fark (Integrated – I) alma işleminin derecesini

q : Hareketli ortalama (Moving Average – MA) modelinin derecesi

P : Mevsimsel otoregresyon (Seasonal Autoregression – SAR) modelinin derecesi

D : Mevsimsel fark alma işleminin derecesini

Q : Mevsimsel hareketli ortalama (Seasonal Moving Average – SMA) modelinin derecesi

t : Zaman periyodu

anlamına gelmektedir.

Çalışmada kullanılan verilerin mevsimsel olmayan zaman serilerine uygunluğundan dolayı bu bölümde sadece ARIMA(p,d,q) modelleri dikkate alınacaktır.

Mevsimsel olmayan Box–Jenkins modelleri;

- Otoregresyon modeli AR(p)
- Hareketli ortalama modeli MA(q)
- Otoregresif hareketli ortalama modeli ARMA(p,q)

olarak üç farklı şekilde ifade edilebilmektedir.

Bu modellerin açık ve kapalı olarak gösterimleri:

**AR(p) için;**

Açık model,

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de verilmiştir. Burada,

$z_t$  : Zaman serisi terimi

$\phi_p$  : AR zaman serisi katsayısı

$\varepsilon_t$  : Hata terimi

anlamına gelmektedir.

Zaman serisi terimleri bir tarafa toplanıp gerekli işlemler yapıldığında ifadenin kapalı biçimi,

$$\varepsilon_t = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) z_t \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de verilmiştir. Burada,

B : Geriye öteleme operatörü

anlamına gelmektedir.

### **MA(q) için;**

Açık ve kapalı modeller,

$$z_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad (3.3)$$

$$z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_p B^p) \varepsilon_t \quad (3.4)$$

Denklem 3.3 ve Denklem 3.4'de verilmiştir. Burada,

$\theta_p$  : MA zaman serisi katsayısı

anlamına gelmektedir.

**ARMA(p,q) için;**

Önceki modellerden yararlanılarak elde edilen açık ve kapalı modeller,

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad (3.5)$$

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_p B^p) \varepsilon_t \quad (3.6)$$

Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'da verilmiştir.

İlgili modellerde analizi yapılacak seri durağan değil ise, serinin fark alma işlemi gerçekleştirilerek durağanlaştırılması gerekmektedir. Bu işlem sonucunda, modele I(d) terimi de eklenerek mevsimsel olmayan Box–Jenkins modelleri elde edilir ve ARIMA(p,d,q) şeklinde gösterilir.

**ARIMA(p,d,q) için;**

Model,

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_p B^p) \varepsilon_t \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'de verilmiştir.

Modellerde,  $Bz_t = z_{t-1}$  olduğunu göstermektedir.

Zaman serisi süreçlerinde gözlem değeri,

$$Y_t = T + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_{t0} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'deki gibi hesaplanabilir. Burada,

$Y_t$  : Gözlem değeri

$T$  : Hedeflenen değer

$a_{t0}$  : Artık değer

$\theta(B)$  : MA zaman serisi terimi

$\phi(B)$  : AR zaman serisi terimi

anlamına gelmektedir.

Durağan ya da durağanlaştırılmış serilerin otokorelasyon fonksiyonu (Autocorrelation Function – ACF) grafiklerine ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu (Partial Autocorrelation Function – PACF) grafiklerine bakılarak ilgili seriye uygun model belirlenebilmektedir. Serinin modelinin ne olması gerektiğine, Çizelge 3.1’de verilen ACF ve PACF grafiklerinin ilişki miktarlarına bakılarak karar verilebilir.

Çizelge 3.1. Model seçiminde ACF ve PACF grafiklerindeki ilişki miktarları

MODEL	ACF grafiğindeki ilişki miktarları	PACF Grafiği ilişki miktarları
AR(p)	yavaş azalıyor	hızla azalıyor
MA(p)	hızla azalıyor	yavaş azalıyor
ARMA(p,q)	yavaş azalıyor	yavaş azalıyor

İlgili azalışların yavaş ya da hızlı olmasının sadece grafiğe bakılarak kararı oldukça zordur ve karar vericinin bu konuda tecrübeli ve deneyimli olması gerekmektedir (Kadılar, 2005). Bu nedenle verilen kararın doğruluğu ilgili modeldeki katsayıların önem testi ile mümkündür. Eğer modelin katsayıları istatistiksel olarak önemli ise, modelin ilgilenilen seri için kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır. Katsayıların önem testinde, birden fazla model seri için uygun bulunursa bu modeller içinden en uygun modeli belirleyebilmek için model seçim kriterlerinin sonuçlarına bakılmaktadır.

### 3.2. Model Seçim Kriterleri

İlgilenilen zaman serisine uygun birden fazla modelin ortaya çıktığı ve modellerin katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu durumlarla karşılaşılabilmektedir.

Modellerin içerisinde hangisinin seriye en uygun olduğunun belirlenmesi amacıyla literatürde bazı seçim kriterleri kullanılmaktadır. Bu kriterlerden en yaygın olarak kullanılan kriterler, Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ile Schwartz Bayes Kriteri (SBC)'dir (Box vd., 2008).

### **Akaike Bilgi Kriteri (AIC)**

AIC kriteri değeri,

$$AIC = T \ln \sigma_{\varepsilon}^2 + 2M \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'daki gibi hesaplanabilir. Burada,

$M$  : Modelin parametre sayısı (mevsimselliğe göre  $M=p+q$  veya  $M=p+q+P+Q$ )

$T$  : Örnek büyüklüğü

anlamına gelmektedir.

### **Schwartz Bayes Kriteri (SBC)**

SBC kriteri değeri,

$$SBC = T \ln \sigma_{\varepsilon}^2 + M \ln T \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'daki gibi hesaplanabilir.

Her iki bilgi kriteri karşılaştırıldığında, aralarındaki tek farkın AIC denklemindeki 2'nin yerine SBC denkleminde "lnT" teriminin geldiği görülmektedir. Bu fark, SBC kriterinin daha az parametreliliği seçmede AIC kriterine göre daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Analizler sonucunda uygun olan modeller içerisinde bu değerlerden en küçük değere sahip olan model, seriye en uygun model olarak seçilmektedir (Kadılar, 2005).

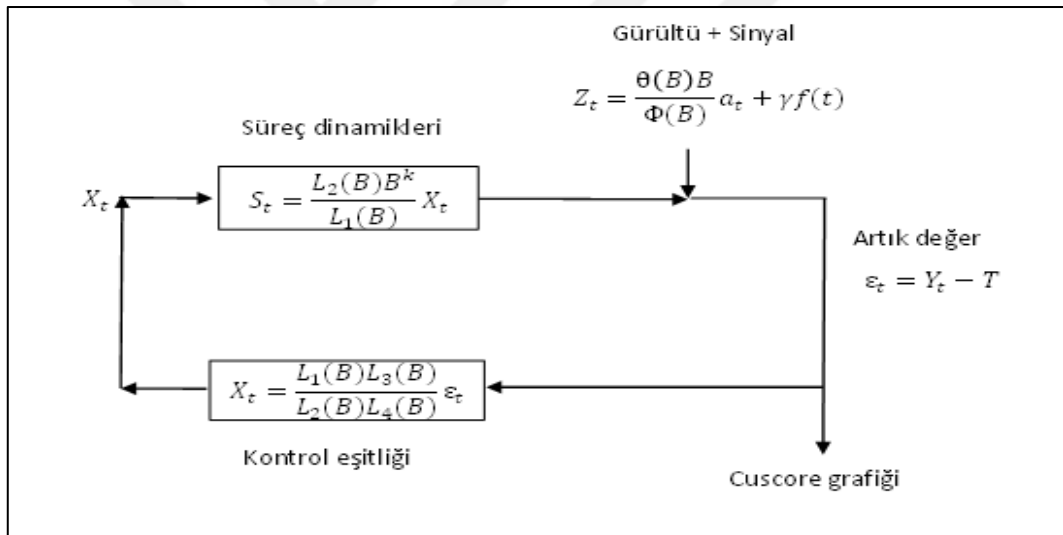
### 3.3. Zaman Serileri ile CuScore Kontrol Grafiği Arasındaki İlişki

Zaman serisine uygun olarak bir sinyal eklendiğinde gözlem değeri,

$$Y_t = T + \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} a_{t0} + \gamma f(t) \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'deki gibi hesaplanmaktadır.

Denklem 3.11'de da görüldüğü gibi, zaman serisine uygun olduğu bilinen bir sinyal eklendiğinde, sinyalin izlenmesinde kullanılan CuScore kontrol grafiği ile geribildirimli kontrol arasındaki ilişki Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. CuScore grafiği ile geribildirimli kontrol arasındaki ilişki

Geribildirim kontrollü bir süreçte gözlem değeri,

$$Y_t = \frac{L_2(B)}{L_1(B)} X_{t-k} + a_t \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} + \gamma f(t) \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'deki gibi hesaplanmaktadır. Burada belirleyici,



$$d_t = -\frac{\partial a_t}{\partial \gamma} \Big|_{\gamma=0} = f(t) \frac{\phi(B)}{\theta(B)} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'teki gibi hesaplanmaktadır. Bu durumda CuScore istatistiği;

$$Q_t = \sum_{i=1}^t \frac{1}{L_4(B)} \varepsilon_t \frac{\phi(B)}{\theta(B)} f(t) \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'deki gibi hesaplanmaktadır.



#### 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde literatürde karşılaşılan CuScore kontrol grafikleriyle ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Ramirez (1998) temiz bir ortamda hava kalitesini izlemek için kullanılan IMA zaman serisi modelinin parametrelerindeki değişimi belirleyerek CuScore kontrol grafiğinin bu varsayımları kontrol etmek için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca CuScore kontrol grafiğinin istatistiksel kontrol dışı durumların yanı sıra zaman serisi verilerindeki durağanlığı belirlemek için de etkin bir şekilde kullanılabildiği belirtilmiştir.

Ncube ve Li (1999) sürekli üretim süreçlerinin süreç değişkenliğindeki sapmaları belirlemek için bileşik Shewhart–CuScore ve EWMA–CuScore kalite kontrol prosedürlerini önermişlerdir.

Luceno (1999) süreç ortalamasını kontrol etmek için CuScore kontrol grafiklerinin Ortalama Belirleme Süresi (Average Run Length – ARL) ve bunlara karşı gelen Belirleme Süresi (Run Length – RL) olasılık dağılımlarını hesaplamak için algoritmalar geliştirmiştir.

Shu vd. (2002) otokorelasyonlu süreçlerde ortalamadaki kaymanın ani bir adım kayması olması durumunda, artıklarda ortaya çıkan ortalamadaki kaymanın zamanla değişmekte olduğunu ve hata sinyali olarak adlandırıldığını belirtmişlerdir. Bu tip durumlarda CuScore kontrol grafiklerinin performansının standart CuScore kontrol grafiği ve artık tabanlı CUSUM kontrol grafiğinden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiş ve kullanımlar ile ilgili örnekler gösterilmiştir.

Runger ve Testik (2003) belirlenebilir (assignable) bir nedenden ötürü süreç ortalamasının sabit ancak bilinmeyen bir değere kayabileceği belirtilmişlerdir. Çalışmada, ortalamadaki değişimin sürekli olmadığı fakat zamanla değiştiği durumlarda hatanın bir işareti olarak bilinen durumlar olduğu belirtilmiştir. Özellikle otokorelasyonlu veya geribildirim kontrollü süreçleri izlemede artık kontrol grafikleri kullanıldığı zaman hata işaretlerinin farklı formları ortaya çıkabilir. Hata işaretindeki bilgiyi önceden bildirecek

şekilde, hataya duyarlı kontrol grafikleri geliştirilebilir. Çalışmada, Genelleştirilmiş Benzerlik Oranı (Generalized Likelihood Ratio – GLR) ve CuScore kontrol grafikleri incelenmiştir. Sınırlı bir sinyali temsil eden bir sinüs dalgası ve sınırsız bir sinyali temsil eden doğrusal eğilim, inceleme amacıyla hata işaretleri olarak kullanılmıştır. Bu grafiklerin baştaki durum ve kararlı durum performansları analiz edilmiştir. İlk durum, hata işareti ve kontrol istatistiği eş zamanlı olduğu için biraz yapaydır ama diğer durumda sinyalin başlama zamanı bilinmediği için daha gerçekçidir. Benzetim sonuçlarında GLR kontrol grafiklerinin bilinmeyen sinyal başlama zamanlarına karşı güçlü olduğu ve alternatiflerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Luceno (2004) tüm çabalara rağmen sürecin otokorelasyonlu olmasının engellenemediği durumlarda, CuScore kontrol grafiği sınıfına ait olan genelleştirilmiş CUSUM kontrol grafiklerini dikkate almıştır. Sürecin otokorelasyonlu yapısının, durağan ve ters çevrilebilir (invertible) zaman serisi olarak tanımlanabildiği varsayılmıştır. Temel düşünce; orijinal veri dizisini bağımsız ve aynı dağılıma sahip bir veri dizisine dönüştüren bir ön beyazlaştırıcı/aklaştırıcı (prewhitening) filtre uygulamaktır. Bu ön aklaştırma adımının sonucu olarak, otokorelasyonlu gürültüde gizli ilk seviye kayma sinyali değişime uğrayarak farklı bir sinyale dönüşür. Çalışmada; sürecin kontrol altında ve kontrol dışı durumlardaki ARL ve RL dağılımlarını değerlendirmek, genelleştirilmiş CUSUM kontrol grafikleri tasarlamak ve duyarlılık analizlerini yapmak için yöntemler sunulmaktadır. Sinyalin görülebileceği şüpheli zamanın bilinmesi durumunda, bu yöntemlerin çok doğru olduğu belirtilmiştir.

Han ve Tsung (2005) dinamik ortalamadaki değişimleri belirlemede CuScore, Genelleştirilmiş Benzerlik Oran Testi (Generalized Likelihood Ratio Test – GLRT) ve CUSUM kontrol grafiklerinin performanslarını karşılaştırırken, ARL'nin teorik sonuçlarını dikkate almıştır. Bu çalışmada, kararlı durum değeri (steady-state value) kritik değerden büyük ya da küçük olduğunda CuScore ve CUSUM kontrol grafikleri ortalamadaki sapmanın belirlenmesinde farklı performans göstermişlerdir. Kontrol altı durumda ARL'nin büyük olduğu zaman herhangi bir ortalamadaki sapmanın belirlenmesinde bu üç grafikten en iyi performansı GLRT kontrol grafiğinin gösterdiğini belirtmişlerdir.

Han ve Tsung (2006) son yıllarda geçici olmayan, zamanla değişen ortalamadan kaymaların belirlenmesi ve tahmini için CuScore ve GLRT grafiklerinin önerildiğini ve bu iki grafiğin etkinliğinin ilgili örneğin kesin bilgisine ve öncesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, referans model bilinmediği durumlarda dinamik ortalamadaki değişiklikleri hızlı bir şekilde algılayan ve izleyebilen referanssız bir CuScore kontrol grafiği önerilmiştir. Ayrıca dinamik ortalama değişikliklerini belirlemede RFCuScore, CuScore, GLRT ve CUSUM kontrol grafiklerinin teorik karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçları göstermek ve doğrulamak için gerçek bir örnek ve benzetim kullanılmıştır. Hem teorik hem de sayısal sonuçlar göstermiştir ki, RFCuScore kontrol grafiği dinamik ortalamadaki küçük ve büyük değişiklikleri hem güçlü hem de hızlı bir şekilde belirleyebilmektedir.

Pan (2006) Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive and Moving Average - ARMA) sürecindeki katsayı kaymalarını izlemek için CuScore kullanan basit ancak etkili bir yöntem önermiştir. Bu durum gerçek üretim verisi ve benzetim örnekleriyle gösterilmiştir. Çalışmada CuScore'un ARMA katsayı kaymalarını ardışık olarak belirlemede etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ARMA sürecinde ortalama ve varyans kaymalarını ayırt edebilmek için bir plan önerilmiştir.

Nembhard ve Chen (2007) genelleştirilmiş minimum varyans geribildirim kontrol sistemi ile ölçülen süreç parametrelerini ve özelliklerini izlemek amacıyla CuScore istatistikleri tasarlamışlardır. Çalışmada birinci dereceden dinamik bir sistem kullanılmıştır. CuScore grafiğinin performansının genelleştirilmiş minimum varyans kontrol sistemindeki çıktı kalite karakteristiğinden aktarılan değişkenlik miktarından bağımsız olduğu gösterilmiştir. Ayrıca CuScore grafiğinin performansını test etmek amacıyla benzetim kullanılmıştır.

Nembhard ve Valverde-Ventura (2007) CuScore kontrol grafiğini kullanarak en küçük hata kareli geribildirimli süreçlerin izlenmesini araştırmışlardır. Özellikle, durağan olmayan bozulmalarda gizlenmiş uç, adım, yumru ve eğim sinyallerini saptamak için CuScore istatistikleri tasarlamışlardır. Çalışmada; süreç dinamikleri, bozulma ve sinyal kombinasyonları için izleme ve düzeltme politikaları geliştirmişlerdir. Çalışmada, benzetim kullanılarak, dağılım ve saptama olasılıklarının sonuçları ele alınmış CuScore yaklaşımının faydasını göstermek amacıyla örnek bir imalat vaka çalışması ele alınmıştır.

Nembhard ve Changpetch (2007) özel nedenleri saptamak için en sık kullanılan kontrol grafiklerinin Shewhart ve CUSUM kontrol grafikleri olmasına rağmen CuScore kontrol grafiğinin, modellenen özel nedenlerin belirlenebilmesi için modern bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir. Uygulamada, mevsimsel zaman serileri sürecinde ortalamadaki sapmayı belirleyebilmek için CuScore istatistiği ve gerekli kontrol limitleri geliştirilmesi amacıyla Kızıllaç'ın kan trombosit ihtiyaçları ile ilgili bir örnek ele alınmıştır. Çalışmada, CuScore ile CUSUM kontrol grafiğinin performansları karşılaştırılmış ve CuScore kontrol grafiğinin CUSUM kontrol grafiğine göre performansının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Changpetch ve Nembhard (2008) sinyal zamanı bilinmediğinde CuScore kontrol grafiğinin uygulanabilmesi için iki yaklaşım geliştirmişlerdir. Birinci yaklaşım, CuScore istatistiğini öngörülen bir döngüyle yeniden başlatmaktır. İkinci yaklaşım ise, CuScore istatistiğini hesaplamak için yalnızca en yeni zaman aralıklarını dikkate alır. Bu iki yaklaşım, mevsimsel zaman serisi süreçlerinde adım değişimlerini belirlemede periyodik CuScore kontrol grafiklerini oluşturabilmek için kullanılmaktadır. Çalışmada CuScore kontrol grafiğinin performansının CUSUM kontrol grafiğinden daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlardan hareketle, kullanılan her iki yaklaşımın pratik ve etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Valverde–Ventura ve Nembhard (2008) En Küçük Ortalama Karesel Hata (Minimum Mean Squared Error – MMSE) geribildirim kontrollü durağan olmayan süreçlerin izlenmesinde CuScore kontrol grafiğinin performansını araştırmışlardır. Özellikle, geribildirim kontrollü süreçler için durağan olmayan gürültü bozulmalarında gizli adım ve uç sinyalleri belirlemek için CuScore istatistiklerini tasarlamışlardır. Ayrıca CuScore kontrol grafiklerinin süreç ve yanlış sinyal modellerini belirlemede oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve Yang (2010) durağan olmayan otokorelasyonlu IMA(1,1) süreçlerini kontrol etmek için CuScore istatistiklerine dayalı bir CuScore kontrol grafiği tasarlamışlardır. Gözlemler arasındaki otokorelasyonu kaldırmak için MMSE yöntemini kullanmışlar ve CuScore kontrol grafiğinin performansını Shewhart kontrol grafiğiyle

karşılaştırarak, CuScore kontrol grafiğinin süreç ortalamasındaki bir sapma durumunda daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ma vd. (2011) CuScore grafiğini kullanarak geri bildirim sağlayan endüstriyel süreçlerdeki uç sinyallerini belirlemek için CuScore istatistikleri ile ilgili bir yöntem geliştirmişler ve CuScore istatistiğinin etkinliğini benzetim yardımıyla göstermişlerdir.

Chen ve Nembhard (2011) otokorelasyonlu çok değişkenli süreçlerin ortalamasını izlemek için çok değişkenli CuScore istatistiksel süreç kontrol prosedürü geliştirmişlerdir. Uç, yumru, adım ve eğim sinyalleri için, sinyal başlama zamanının bilinme varsayımına dayanmayan Çok Değişkenli CuScore kontrol grafiklerini (Multivariate CuScore Control Charts – MCuScore) tasarlamışlardır. Ayrıca benzetim kullanarak, süreç sapmalarını belirlemede MCuScore grafiğinin MCUSUM kontrol grafiğinden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Capizzi ve Masarotto (2012) klasik kontrol grafiği oluşturma sürecinde önceden toplanan verilerden tahmin edilen parametrelerin etkili olduğunu ancak geçmiş verilerin elde edilemediği ya da yeterli olmadığı durumlardaki bazı süreçler için birbirini takip eden gözlemleri kullanan yeni bir CuScore grafiği önermişlerdir.

Woodall ve Castillo (2014) George Box'un süreç izleme ve kontrolü alanındaki katkılarını özetlemişler ve deney tasarımı, zaman serileri analizi ile süreç izleme-kontrol alanlarının birbiriyle olan ilişkisine verdiği önemden bahsetmişlerdir.

Deka ve Gogoi (2014) süreçteki hedef değerden sapmanın belirlenmesinde CuScore, CUSUM ve parametrik olmayan CUSUM kontrol grafiklerinin performansını incelemişlerdir. Bu amaçla sürecin kontrol altında olduğu ve kontrol altına alındığı durumlardaki ARL'ler benzetim yardımıyla hesaplanmış, sonuçlar farklı dağılımlar altında farklı sapma parametreleri için özetlenmiştir.

Süreçteki uç, adım, yumru ve eğim gibi özel sinyallerden dolayı meydana gelebilecek herhangi bir sapma CuScore kontrol grafiği kullanılarak, daha önceden belirlenebilir. CuScore kontrol grafiğinin, H ve SigS gibi parametrelerinin değerlerinin ne olması gerektiği oldukça önemlidir. Bu parametrelerin eniyi değerlerini belirleyebilmek amacıyla literatürde H ve SigS'lerin farklı kombinasyonları için DR ve FA değerlerinden yararlanıldığı görülmüştür. DR, sürece eklenen özel sinyallerin belirlenme oranını ifade ederken; FA ise sürece özel sinyallerin eklenmediği durumlarda sinyalin belirlenme oranı anlamındadır.

Literatür araştırmasında DR'yi artırmak ve FA'yı azaltmak amacıyla hangi H ve SigS kombinasyonunun seçilebileceğine ilişkin Nembhard ve Valverde–Ventura (2007) tarafından sezgisel bir öneride bulunulduğu bir çalışmayla karşılaşılmıştır. İlgili çalışmada, izlenen süreçte 2 birim büyüklüğünde bir artışın olabileceği varsayıldığında, yüksek bir DR istenilmesi durumunu örneklendirmiştir. Çizelge 4.1'de verilen değerlerden, bu DR değerinin 0,96 olduğu ve bunun H=0,5 ve SigS=2 kombinasyonu için elde edildiği belirtilmiştir. Ancak, aynı kombinasyonun FA değerine bakıldığında ise bu değer 0,41 ve yüksek bir olasılık değeri olduğu da belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Uç sinyalin H ve SigS kombinasyonları için DR ve FA değerleri

DR için	SigS						
H	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	0,3	0,69	0,88	0,96	0,99	1	1
1,5	0,01	0,31	0,69	0,89	0,97	0,99	1
2,5	0	0,07	0,43	0,77	0,93	0,98	1
3,5	0	0,01	0,2	0,6	0,86	0,97	0,99
FA için	SigS						
H	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	0,15	0,31	0,37	0,41	0,42	0,43	0,44
1,5	0	0,07	0,16	0,23	0,27	0,3	0,33
2,5	0	0,01	0,05	0,11	0,15	0,2	0,25
3,5	0	0	0,01	0,04	0,08	0,12	0,16

İlgili çalışmada, Çizelge 4.1'de de görüldüğü gibi, aynı kombinasyon (H=0,5 ve SigS=2) için DR=0,77 değerine karşı FA=0,11 değeri olan bir seçeneğin daha olduğu

belirtilmiştir. Nembhard ve Valverde-Ventura (2007), bu seçeneğin bir önceki seçenektan daha iyi olduğu ve karar vericilerin diğer seçeneğe göre daha uygun olan bu seçeneği seçebilecekleri belirtmişlerdir. Ancak yapılan bu çıkarsama, çalışmada tamamen sezgisel olarak gerçekleştirilmektedir.

Literatürde, DR'nin yüksek ve buna karşılık FA'nın düşük olduğu parametrelerin (H ve SigS) eniyi düzeylerinin ne olduğuna ilişkin sistematik bir yaklaşım ile karşılaşılmamıştır. Yapılan çalışmada, CuScore kontrol grafiği parametrelerinin eniyi düzeylerinin sistematik olarak seçilebilmesi amacıyla Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi ile Hedef Programlama yaklaşımları birlikte kullanılmıştır. Sürece eklenen sinyalin DR'sini enbüyüklerken, eklenmeyen sinyalin FA'sını enküçükleyen ve ödünleşik çözümler bulabilen bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.



## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılacak olan Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi ile farklı Hedef Programlama yaklaşımları izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### 5.1. Deney Tasarımı ve Yanıt Yüzey Yöntemi

Deney Tasarımı (DT) – (Design of Experiments – DOE), sürecin ilgilenilen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir yaklaşımdır. DT; tarım, hayvancılık, eczacılık ve mühendislik gibi birçok alanda uygulanabilirliği kolaydır ve yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu yaklaşım, maliyetlerin yüksek ve işlem sürelerinin uzun olduğu süreçlerde en kısa sürede ve en düşük maliyette oldukça etkin çözümler sağlamaktadır.

DT’de ilgilenilen durumlar faktör olarak adlandırılmaktadır. DT’de bir faktörün etkisinin araştırılabileceği gibi, birden fazla faktörün etkisi ve bunların etkileşimlerini de araştırmak mümkündür. İlgilenilen faktörler iki ya da daha fazla düzeye sahip faktörler olabilmektedirler.

DT yaklaşımında, karar vericiler sistemde yer alan kontrol edilebilir faktörler üzerinde değişiklikler yaparak sistemin bu değişimlere verdiği tepkileri gözlemleyip yanıt performansını incelerler ve hangi değişkenlerin yanıt performansına ne gibi etkilerinin olduğu hakkında çıkarımlar yaparak süreç ile ilgili karar verirler (Montgomery vd., 2007). DT yaklaşımının farklı türleri aşağıda verilmiştir.

- ✓ Tam Faktöriyel Tasarım
- ✓ Kesirli Faktöriyel Tasarım
- ✓ Plackett–Burman Tasarımı
- ✓ Karışım Tasarımı
- ✓ Yanıt Yüzey Yöntemi

### 5.1.1. Tam faktöriyel tasarım

Fisher (1935) ve Yates (1937) tarafından önerilen faktöriyel tasarımlar; mühendislik alanında oldukça yaygın bir kullanıma da sahip olan, iki ya da daha faktörün ana ve etkileşim etkilerini beraber araştırmak amacıyla kullanılan popüler tasarımlardır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011). Yanıt değişkeninde meydana gelen değişim üzerinde her bir faktörün ayrı ayrı etkilerine “ana etki” denir. Eğer, yanıt faktörü üzerinde bir faktörün etkisi, diğer bütün faktörlerin düzeylerinde aynı değilse, bu etkiye de “etkileşim etkisi” adı verilmektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006).

Tam Faktöriyel Tasarım’da (TFT) – (Full Factorial Design, FFD), her bir faktörün her düzeyi için eşit sayıda gözlem değeri kullanılarak, faktörlerin diğer faktörlerden bağımsızca yanıt performansına olan etkilerini belirlemek mümkündür. Bu özellik “ortagonallik” özelliği olarak da adlandırılmaktadır.

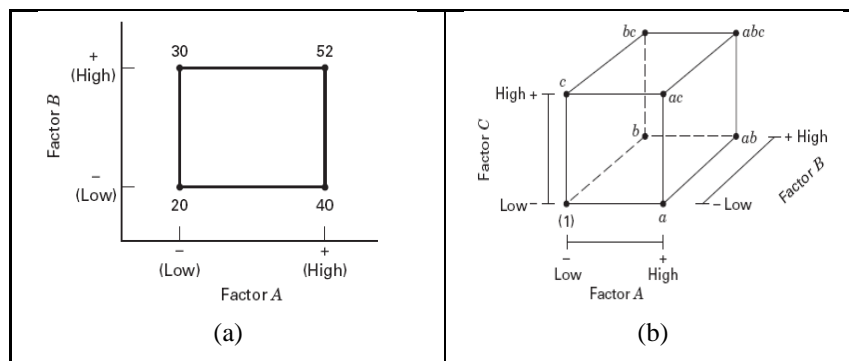
TFT’de tasarım gösterim  $a^k$  ( $a=2,3,\dots,n$ ) şeklindedir. Burada,

$k$  : İlgili faktör sayısı

$a$  : Faktörün düzey sayısı

anlamına gelmektedir.

TFT’de en çok  $2^2$  (2 düzeyli 2 faktör) ve  $2^3$  (2 düzeyli 3 faktör) faktöriyel tasarımlarla karşılaşmaktadır. Bu faktör tasarımlarına ilişkin grafikler Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. (a)  $2^2$  ve (b)  $2^3$  tasarımlarında faktör yerleşimleri

### 5.1.2. Kesirli faktöriyel tasarım

Malzeme, zaman ve işgücü gibi etkenlerden kaynaklanan yüksek maliyetler nedeniyle TFT'deki bütün denemelerin yapılmasının zor olduğu durumlarda, faktörlerin yanıt performansına olan etkilerini belirleyebilmek amacıyla daha az denemenin yapılmasına imkan sağlayan tasarım, Kesirli Faktöriyel Tasarım (KFT) – (Fractional Factorial Design, FFD) olarak adlandırılmaktadır.

KFT'de tasarım gösterimi, TFT'ye benzer şekilde  $a^{k-p}$  ( $a=2,3,\dots,n$ ) şeklindedir. Burada,

k : İlgili faktör sayısı

a : Faktörün düzey sayısı

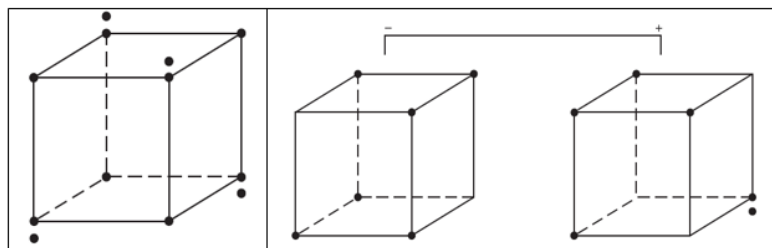
p: ( $\frac{1}{2}$  KFT için p=1), ( $\frac{1}{4}$  KFT için p=2), ( $\frac{1}{8}$  KFT için p=3)

anlamına gelmektedir.

### 5.1.3. Plackett–Burman tasarımı

Plackett–Burman deney tasarımı, Plackett ve Burman tarafından geliştirilmiş, bu tasarımda deney tekrar sayısı 4'ün katları şeklinde belirlenmektedir. Bu tasarım kübik olup, geometrik olmayan tasarımlar olarak adlandırılan iki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlardır (Montgomery, 2012).

Bu tasarıma ilişkin grafikler Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. (12'li Plackett–Burman) 3 faktör ve 4 faktör yerleşimleri

Plackett–Burman tasarımları N sayıda deneyde,  $k=N-1$  değişken olduğunda ve deney sayısı N'in 4 'ün katı olduğu durumlarda kullanılmaktadır (N=8,12,16,24,... vb.).

Bu deney tasarımının amacı, birçok sayıda faktör içerisinde hangilerinin sonuç üzerinde etkili olduğunu tespit etmektir. Bununla birlikte bu tasarım türünün en büyük avantajı diğer tasarım türlerine göre daha az sayıda deneme gerektirmesi olup, dezavantajı ise yapılarının karmaşık olmasıdır.

#### 5.1.4. Karışım tasarımı

Karışım Tasarımı (KT) – (Mixture Design, MD) birçok ürün, iki ya da daha fazla bileşenin karışımıyla oluşturulmuştur. Genel karışım problemlerinde yanıt değişkenin değeri, karışımda bulunan bileşenlerin oranlarının bir fonksiyonudur (Cornell, 1981).

Karışım problemleri ile en çok ürün geliştirme süreçlerinde karşılaşılmaktadır. Karışım deneylerinde, faktörler bir karışımın bileşenleridir ve sonuç olarak bunların seviyeleri bağımsız değildir.

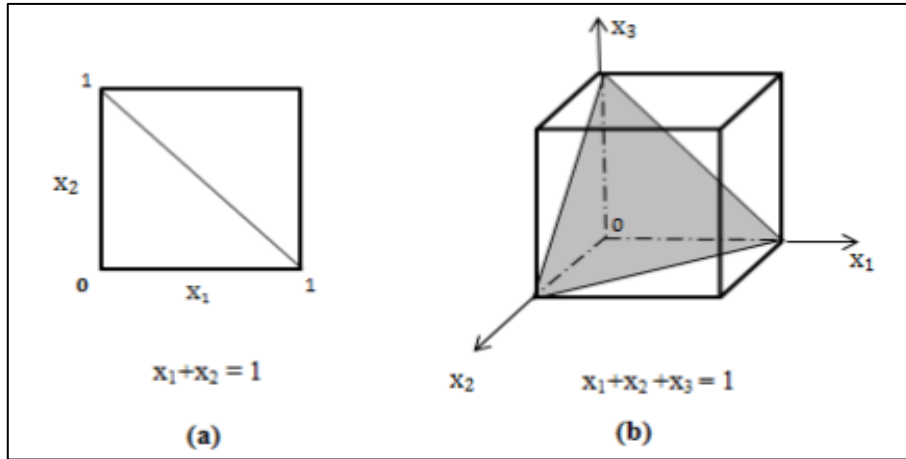
p bileşenden oluşan bir karışımda, i.bileşenin miktarı  $X_i$  olarak gösterilsin. Bu durumda,

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad i = 1,2,3, \dots, p \quad (5.1)$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_p = 1$$

olmaktadır.

Farklı faktör bileşenleri için gösterimler, Şekil 5.3'te verilmiştir. (Montgomery, 2009).



Şekil 5.3. Karışım tasarımları için (a)  $2^2$  ve (b)  $2^3$  faktör yerleşimleri

### 5.1.5. Yanıt yüzey yöntemi

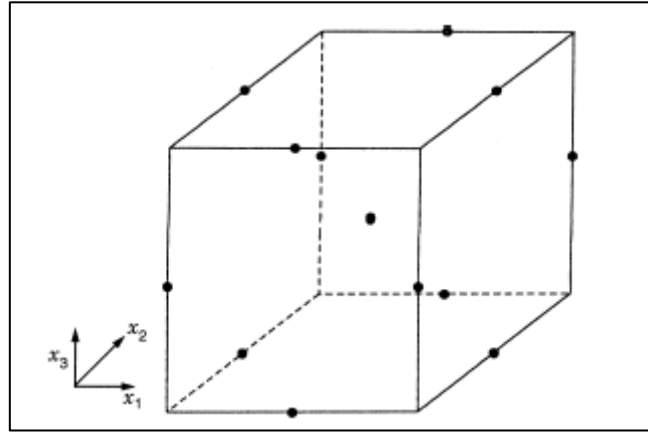
Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) – (Response Surface Methodology – RSM); süreçleri geliştirmek, iyileştirmek ve eniyilemek için yararlanılan matematiksel ve istatistiksel teknikler bütünüdür (Myers vd., 2016). YYY, bir grup kontrol edilebilir deneysel faktör ile gözlenen sonuçlar arasında var olan ilişkinin modellenmesinde kullanılır. Yöntemde, bağımsız değişkenler ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi göstermek üzere grafiksel görsellik sunulmaktadır. Yeni süreçlerin geliştirilmesinde, performansın eniyilenmesinde ya da bir ürünün tasarımında kullanılabilen YYY, eniyi çalışma koşullarının belirlenmesini amaçlar (Akay, 2013).

YYY'nin Box–Behnken ve Merkezi Kompozit Tasarım gibi çeşitli uygulamaları bulunmaktadır.

#### 5.1.5.1. Box–Behnken tasarımı

Box ve Behnken (1960), uygun yanıt düzeyleri için bazı üç seviyeli tasarımlar önermişlerdir. Bu tasarımlar,  $2^k$  faktörleri ile tamamlanmamış blok tasarımlarını birleştirerek oluşturulmuştur (Montgomery, 2012). Tasarımın yapısı için bu yöntem oldukça ilginç ve yaratıcıdır. Tasarımların türü; dengeli, tamamlanmamış blok tasarımların yapısına dayanmaktadır. Box-Behnken tasarımı etkin bir seçenektir ve Merkezi Kompozit Tasarıma önemli bir alternatiftir (Myers, 2016).

Şekil 5.4’de, üç seviyeli üç faktör için bir Box-Behnken tasarımı verilmiştir.



Şekil 5.4. Box-Behnken tasarımı için  $2^3$  faktör yerleşimi

#### 5.1.5.2. Merkezi kompozit tasarım

Box ve Wilson (1951) tarafından geliştirilen Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) – (Central Composite Design – CCD), YYY’nin en sık kullanılan uygulamalarından birisidir (Myers vd., 2016). MKT’de gerçekleştirilecek deney sayısı,

$$N = 2^k + 2k + n_c \quad (5.2)$$

Denklem 5.2’deki gibi hesaplanabilir. Burada,

N : Gerçekleştirilecek deney sayısı

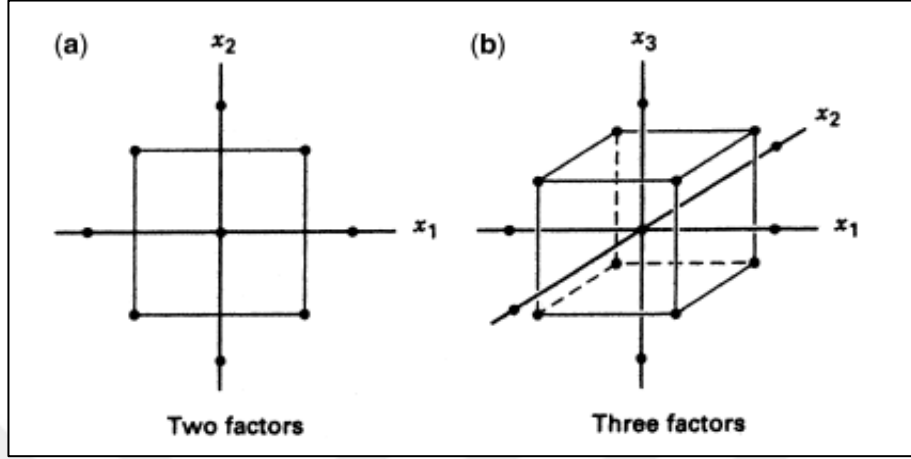
k : Faktör sayısı

$n_c$  : Merkez nokta sayısı

anlamına gelmektedir.

MKT’de;  $2^k$  denemesinden ana faktör etkileri ve birinci dereceden etkileşimleri,  $2k$  sayıda eksen (axial) noktanın kullanılması ile modelin karesel terimleri, merkez noktalar kullanılarak ise modelin eğriselliği test edilmektedir.

$2^2$  ve  $2^3$  MKT deneme düzenlerinin bileşenlerinin çözüm uzayındaki yerleşimleri Şekil 5.5'te verilmiştir (Myers vd., 2016).



Şekil 5.5. MKT için (a)  $2^2$  ve (b)  $2^3$  faktör yerleşimleri

Şekil 5.5 (a)'da karenin köşeleri  $2^2$  faktöriyel noktaları ifade etmektedir. Karenin ortasındaki nokta, merkez noktayı ifade etmektedir ve birden fazla merkez nokta olabilmektedir. Karenin dışında yer alan 4 nokta ise, merkez noktaya  $\alpha$  kadar uzaklıkta olan eksen noktaları ifade etmektedir. Şekil 5.5 (b)'nin yorumu da benzer şekilde yapılabilir.

MKT, gerekli koşullar sağlandığında “ortagonallik” ve “döndürülebilirlik” özelliklerine sahiptir.

## 5.2. Eş Zamanlı Eniyileme

Bir süreçte; birden fazla yanıt eş zamanlı olarak eniyilenmek istenildiğinde, ortaya çıkan problem çok amaçlı eniyileme olarak adlandırılmaktadır. Çok amaçlı eniyilemede, birden fazla ve çelişen amaç söz konusu olduğunda yanıtlar arasında ödünleşmeler ortaya çıkacağından bir çözüme ulaşmak oldukça zorlaşmaktadır. Tüm amaçların aynı anda eniyilenmesini sağlayan çözümlerin bulunması için, çok amaçlı programlama yöntemleri kullanılmaktadır.

Çok amaçlı programlamada, pareto etkin değerlerin tamamı yada bir bölümünün örneklenerek bulunması ve bu etkin değerler kümesinden karar vericinin bir seçim yapması amaçlanmaktadır. Skalerleştirme, çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerden biridir. Skalerleştirme, aynı zamanda tek amaçlı problemler için geliştirilmiş etkin çözüm yöntemlerinin kullanılmasına da imkan sağlar. Skalerleştirme yapılarak çok amaçlı problemlerin çözümleri, tek amaçlı eniyileme problemleri çözülerek elde edilebilir (Üstün, 2007).

Literatürde,

- ✓ Ağırlıklı Toplam (Weighted-Sum) Skalerleştirme Yöntemi
- ✓  $\varepsilon$ -Kısıt Skalerleştirme Yöntemi
- ✓ Melez Skalerleştirme Yöntem
- ✓ Elastik Kısıt Skalerleştirme Yöntemi
- ✓ Benson Skalerleştirme Yöntemi
- ✓ Uzlaşık (Compramise) Programlama Yöntemleri
- ✓ Konik Skalerleştirme Yöntemi
- ✓ Fayda ve İstek Fonksiyonu Temelli Yöntemler
- ✓ Hedef Programlama

gibi kullanılacak birçok çok amaçlı eniyileme yöntemi bulunmaktadır.

### 5.2.1. İstek fonksiyonları

YYY'nin en sık kullanılan bir türü olan MKT uygulamalarında faktörler istek fonksiyonu kullanılarak eniyilenebilmektedir. Birden fazla yanıt değişkeninin eşzamanlı olarak eniyilenmesini sağlayan istek fonksiyonları, ilk kez Harrington (1965) tarafından bulunmuş, Derringer ve Suich (1980) tarafından geliştirilmiştir (Akay, 2013).

İstek değeri,

$$D = \left[ \prod_{r=1}^R d_r \right]^{1/R} \quad (5.3)$$



Denklem 5.3'teki gibi hesaplanabilir. Burada,

D : İstek değeri

R : Yanıt değişkeni sayısı

$d_r$ : Belirli bir yanıtın önem derecesi

anlamına gelmektedir.

İstek fonksiyonlarında amaç, alternatiflerin istenebilirliğinin esnek bir şekilde belirlenmesini sağlamaktır. Eniyileme amacına bağlı olarak eniyileme fonksiyonu üç farklı şekilde gösterilebilir:

**Hedefin büyük daha iyi olduğu durum**

$$d_r = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \leq y \leq T \\ 1 & y > T \end{cases} \quad (5.4)$$

**Hedefin küçük daha iyi olduğu durum**

$$d_r = \begin{cases} 0 & y > U \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \leq y \leq U \\ 1 & y < T \end{cases} \quad (5.5)$$

**Hedefin eniyi olduğu durum**

$$d_r = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & L \leq y \leq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & T \leq y \leq U \\ 1 & y < T \end{cases} \quad (5.6)$$

Burada,

$d_r$  : Belirli bir yanıtın önem derecesi

$y$  : Yanıt değeri

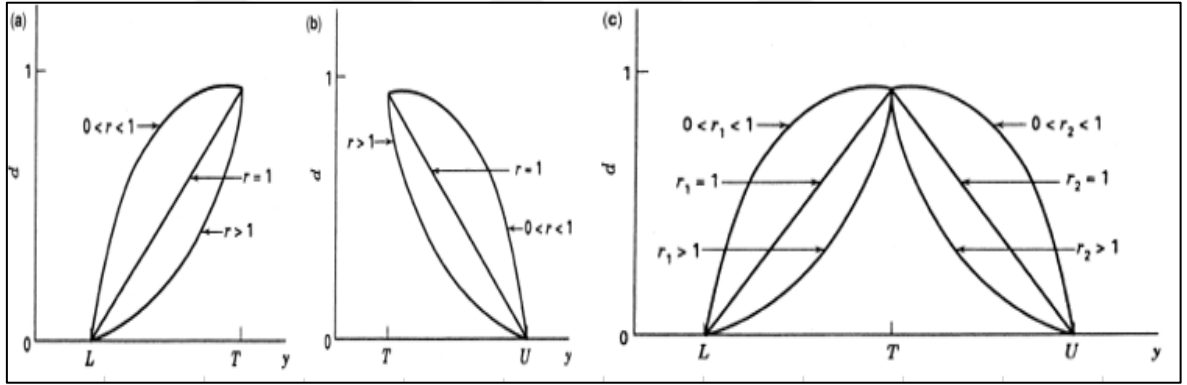
$L$  : Alt limit değeri

$U$  : Üst limit değeri

$T$  : Hedef değeri

anlamına gelmektedir.

Denklem 5.4, 5.5 ve 5.6'daki fonksiyonların gösterimleri Şekil 5.6'da verilmiştir (Myers vd., 2016).



Şekil 5.6. (a) büyük daha iyi, (b) küçük daha iyi, (c) hedef değer eniyi

### 5.2.2. Hedef programlama

Hedef programlama (HP) – (Goal Programming, GP), çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için geliştirilen modellerden birisidir. İlk kez Charnes ve Cooper (1960) tarafından sunulmuştur (Sen ve Nandi, 2012).

HP, hedeflerin tüm niteliklere atandığı ve karar vericinin karşı gelen hedeflerin başarısızlığını en aza indirmekle ilgilendiği karar verme problemlerini çözmek için tasarlanmış analitik bir yaklaşımdır. HP modelinin genel hali,

$$Enk \sum_{i=1}^n w_i |f_i(x) - a_i| \quad (5.7)$$

k. a.  $x \in X$  ( $X$ ; mümkün değerler)

Model 5.7’de verilmiştir (Üstün, 2012). Burada,

$w_i$  : i. amaç için belirlenen ağırlık değeri

$a_i$  : i. amacın istek değeri

$X$  : Karar değişkenleri kümesi

anlamına gelmektedir.

HP modelinin en önemli özelliği, modelde göz önüne alınan hedeflerin istenmeyen yöndeki sapma değerlerini en küçükleyen, “az daha iyi” yaklaşımli başarılı bir fonksiyon olmasıdır.

HP’de, çelişen amaçları eniyileyen tek bir çözüm bulmanın olanaksız olduğu durumlarda, her amacın önem derecesini dikkate alan uzlaşık çözümler bulunabilir (Taha, 2007). HP’nin bu avantajının yanında bir avantajı da, çok ölçütlü problemleri tek ölçütlü problemler için geliştirilmiş yazılımları kullanacak şekle getirmesidir. En belirgin dezavantajı ise; öncelik, ağırlık ve hedef değer gibi karar vericinin tercihlerine ihtiyaç duyması ve etkin çözümleri garanti etmemesidir (Üstün, 2007).

Literatürde 3 farklı HP yaklaşımı bulunmaktadır:

- ✓ Öncelikli (Preemptive, Lexicographic) HP
- ✓ Ağırlıklı (Weights, Archimedean) HP
- ✓ MINMAX (Chebyshev) HP

Bahsedilen geleneksel HP yaklaşımlarında, baştaki istek değerleri fazla dikkate alınmadığından etkin olmayan çözümlerle karşılaşmaktadır. Literatürde, etkin çözümler elde etmek amacıyla, karar vericiler tarafından her bir hedef için istek seviyelerinin dikkate alındığı Chang (2007) tarafından geliştirilen “Çok Seçenekli Hedef Programlama” ve Üstün

(2012) tarafından geliştirilen “Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama” yöntemleri bulunmaktadır.

### 5.2.2.1. Çok seçenekli hedef programlama

Çok Seçenekli Hedef Programlama (ÇSHP) – (Multi Choice Goal Programming – MCGP), her bir hedefi hafife almayarak karar vericinin çok tercihli istek düzeylerini ayarlamasına olanak sağlayan bir eniyileme yöntemidir (Chang, 2007). İlk kez Chang (2007) tarafından sunulmuş olan model, yine Chang (2008) tarafından revize edilmiştir. Modelin daha sonraki yıllarda birçok araştırmacı tarafından farklı varyasyonları önerilmiştir (Singh ve Sonia, 2017).

ÇSHP modelinin genel hali,

$$\begin{aligned}
 & \text{Enk} \sum_{i=1}^n w_i (d_i^+ + d_i^-), \\
 & \text{k. a. } f_i(x) - d_i^+ + d_i^- = \sum_{i=1}^n w_{ij} A_{ij}(B), \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & d_i^+, d_i^- \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & A_{ij}(B) \in R_i(BX) \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & x \in X \text{ (X; mümkün değerler kümesi)}
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

Model 5.8’de verilmiştir (Chang, 2007). Burada,

$d_i^+$  : i. hedeften pozitif yönlü sapma miktarı

$d_i^-$  : i. hedeften negatif yönlü sapma miktarı

$A_{ij}(B)$  : 0 – 1 sayılarından oluşan fonksiyon

anlamına gelmektedir.

ÇSHP’ye göre karar vericiler, yerel bölgede sadece tek istek seviyesini göz önünde bulundurmamalı aynı zamanda bütünsel bölgede eniyi çözümü elde etmek için verilen

kısıtlar altında çoklu istek seviyeleri geliştirmelidirler. Bu noktadan hareketle ÇSHP modeli, Chang tarafından 2008 yılında “büyük eniyi” ve “küçük eniyi” olmak üzere iki alternatif olarak revize edilmiştir.

Revize edilen “küçük eniyi” ÇSHP modelinin genel hali,

$$\begin{aligned}
 & \text{Enk} \sum_{i=1}^n [w_i(d_i^+ + d_i^-) + a_i(e_i^+ + e_i^-)], \\
 & \text{k. a. } f_i(x) - d_i^+ + d_i^- = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & \quad y_i - e_i^+ + e_i^- = a_{i,enk}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & \quad a_{i,enk} \leq y_i \leq a_{i,enb}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & \quad d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
 & \quad x \in X \text{ (X; mümkün değerler)}
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

Model 5.9’da verilmiştir (Chang, 2008). Burada,

$e_i^+$  : i. amaçtan pozitif yönlü sapma miktarı

$e_i^-$  : i. amaçtan negatif yönlü sapma miktarı

$y_i$  : i. amacın hedef değeri

$a_{i,enk}$  : Amaçlardaki en düşük istek seviyesi

$a_{i,enb}$  : Amaçlardaki en yüksek istek seviyesi

### **5.2.2.2. Çok seçenekli konik hedef programlama**

Üstün (2012) çalışmasında, ÇSHP yöntemi ile Gasimov’un (2001) konik skalerleştirme yöntemlerini birleştirerek, Çok Seçenekli Konik Hedef Programlama (ÇSKHP) – (Multi Choice Conic Goal Programming) modeli ile daha tatmin edici sonuçlara ulaşmıştır. Üstün’ün (2012) önerdiği ÇSKHP modelinin genel hali,

$$\begin{aligned}
& \text{Enk} \sum_{i=1}^n [(\beta + w_i)d_i^+ + (\beta - w_i)d_i^-], \\
& \text{k. a. } f_i(x) - d_i^+ + d_i^- = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
& \quad a_{i,enk} \leq y_i \leq a_{i,emb}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
& \quad d_i^+, d_i^- \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\
& \quad x \in X (X; \text{mümkün değerler})
\end{aligned} \tag{5.10}$$

Model 5.10'da verilmiştir. Burada,

$\beta$  : Konik skalerleştirmedeki tepe açısı

anlamına gelmektedir.

Denklem 5.10'da;  $\beta$ , her zaman  $w$ 'ların en küçüğünden daha küçük bir değer almak zorundadır. Aksi halde teorik olarak ispatlanan sonuçlara ulaşamaz. ÇSKHP'de çözümün hem karar vericinin istediği aralıkta olması, hem de bu aralıkta istenen en üst sınıra olabildiğince yakın olması sağlanmaktadır.

Konik skalerleştirme fonksiyonuna dayalı bu alternatif formülasyon, karar vericinin çözüm uzayında uygun bir çözüm elde etmek ve has etkin bir nokta (Benson yaklaşımı) elde edilmesini garanti etmek için her bir amacın çok seçimli istek düzeylerini belirlemesine olanak sağlar. Benson yaklaşımındaki temel fikir, uygun çözüm alanından bir nokta seçerek bu noktaya bağlı olarak pareto etkin değeri bulmaktır. ÇSKHP modeli, pareto yüzeyleri oluşturarak etkin çözümleri garanti etmektedir.

ÇSHP, ilgili aralık değerlerindeki alt sınırdan üst sınıra kadar olan amaç fonksiyonlarının değerlerini iyileştirmeye çalışırken, ÇSKHP modeli ise hedef fonksiyonların değerlerini alt sınırdan etkili sınırlara yükseltmeye çalışmaktadır. ÇSHP modeli etkin bir çözümü garanti etmezken, ÇSKHP modeli ise “daha az daha iyi” ve “daha çok daha iyi” durumları için tatmin edici çözümler sunmaktadır. Hem türevlenebilir hem türevlenemez fonksiyonlar için ÇSKHP modeli, revize edilmiş ÇSHP modelinden daha uygundur (Özden, 2012).

CuScore kontrol grafiğinin parametrelerinin eniyilenmesi için geliştirilen sistematik yaklaşımın akış diyagramı Ek Açıklama – A’da verilmiştir.



## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, kimyasal ve finansal bir süreç ayrı ayrı ele alınmıştır. Öncelikle, bu süreçlerin zaman serileri modelleri belirlenmiş ve bu zaman serilerine ilişkin modellerinin katsayıları bulunmuştur. Belirlenen zaman serilerine uygun olarak ilgili süreçlere uç ve yumru sinyaller eklenmiş, farklı H ve SigS değerlerine göre bu sinyallerin DR ve FA değerleri oluşturulan benzetim kodları yardımıyla hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılacak CuScore kontrol grafiğinin parametreleri dikkat alınarak belirlenecek DT yöntemlerine uygun deney planları oluşturulmuş ve hesaplanan olasılık değerlerine ilişkin deney sonuçları paylaşılmıştır. Daha sonra kalite karakteristikleri (DR ve FA) ile süreç değişkenlerinin (H ve SigS) arasındaki ilişkiyi ifade eden yanıt denklemleri bulunarak gerekli istatistiksel analizler yapılmıştır.

Her iki yanıtın (DR ve FA) eşzamanlı eniyilenmesi için İstek Fonksiyonları ile karar vericiler tarafından her bir hedef için istek seviyelerinin dikkate alındığı ÇSKHP yöntemi ile ödünleşik çözümler bulunmaya çalışılmıştır.

### 6.1. ARIMA(0,1,1) Zaman Serisi İçin Parametre Eniyilenmesi

Çalışmanın bu kısmında; önerilecek yöntem için kullanılacak veriler, kimyasal bir süreçten saatlik olarak ölçülen viskozite değerleri (Box vd., Series D, 2008) olup Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kimyasal sürece ilişkin saatlik viskozite değerleri

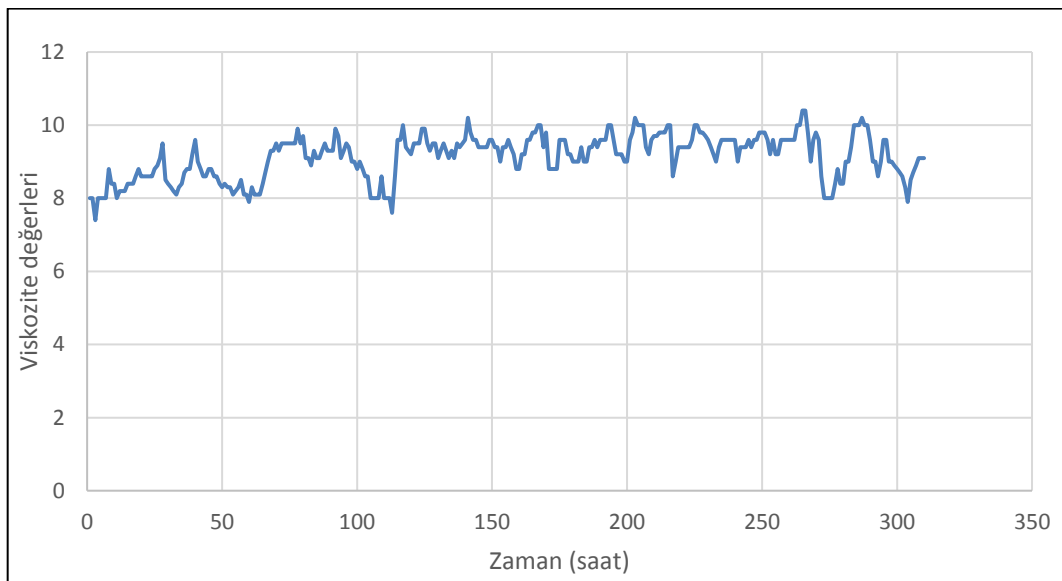
8	9,5	8,2	9,1	8,6	9,1	9,6	9,6	8,6	9,4	9,6	9
8	8,5	8,3	8,9	8	9,5	9,6	9,6	9	9,6	8,6	8,9
7,4	8,4	8,5	9,3	8	9,4	9,8	9,6	9,4	9,4	8	8,8
8	8,3	8,1	9,1	8	9,5	9,8	10	9,4	9,6	8	8,7
8	8,2	8,1	9,1	7,6	9,6	10	10	9,4	9,6	8	8,6
8	8,1	7,9	9,3	8,6	10,2	10	9,6	9,4	9,8	8	8,3
8	8,3	8,3	9,5	9,6	9,8	9,4	9,2	9,4	9,8	8,4	7,9



Çizelge 6.1. Kimyasal sürece ilişkin viskozite değerleri (devam)

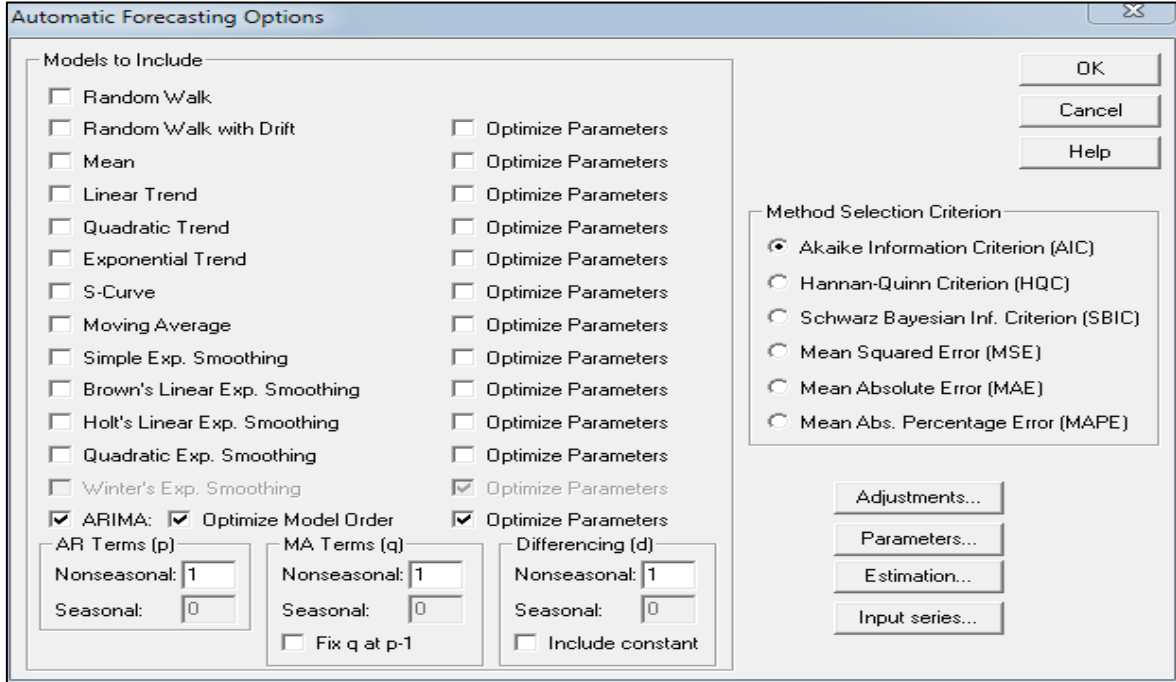
8,8	8,4	8,1	9,3	9,6	9,6	9,8	9,2	9,6	9,8	8,8	8,5
8,4	8,7	8,1	9,3	10	9,6	8,8	9,2	10	9,6	8,4	8,7
8,4	8,8	8,1	9,3	9,4	9,4	8,8	9	10	9,2	8,4	8,9
8	8,8	8,4	9,9	9,3	9,4	8,8	9	9,8	9,6	9	9,1
8,2	9,2	8,7	9,7	9,2	9,4	8,8	9,6	9,8	9,2	9	9,1
8,2	9,6	9	9,1	9,5	9,4	9,6	9,8	9,7	9,2	9,4	9,1
8,2	9	9,3	9,3	9,5	9,6	9,6	10,2	9,6	9,6	10	
8,4	8,8	9,3	9,5	9,5	9,6	9,6	10	9,4	9,6	10	
8,4	8,6	9,5	9,4	9,9	9,4	9,2	10	9,2	9,6	10	
8,4	8,6	9,3	9	9,9	9,4	9,2	10	9	9,6	10,2	
8,6	8,8	9,5	9	9,5	9	9	9,4	9,4	9,6	10	
8,8	8,8	9,5	8,8	9,3	9,4	9	9,2	9,6	9,6	10	
8,6	8,6	9,5	9	9,5	9,4	9	9,6	9,6	10	9,6	
8,6	8,6	9,5	8,8	9,5	9,6	9,4	9,7	9,6	10	9	
8,6	8,4	9,5	8,6	9,1	9,4	9	9,7	9,6	10,4	9	
8,6	8,3	9,5	8,6	9,3	9,2	9	9,8	9,6	10,4	8,6	
8,6	8,4	9,9	8	9,5	8,8	9,4	9,8	9,6	9,8	9	
8,8	8,3	9,5	8	9,3	8,8	9,4	9,8	9	9	9,6	
8,9	8,3	9,7	8	9,1	9,2	9,6	10	9,4	9,6	9,6	
9,1	8,1	9,1	8	9,3	9,2	9,4	10	9,4	9,8	9	

Çizelge 6.1'deki veriler kullanılarak çizilen zaman serisi grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Viskozite verilerinin zaman serisi grafiği

Çizelge 6.1’de verilen serinin, zaman serisi modelini belirleyebilmek amacıyla STATGRAPHICS 16 paket programının deneme sürümü kullanılmıştır.



Şekil 6.2. ARIMA modelinin tahmini

İlgilenilen serinin, zaman serisi modeli belirlenmek istenildiğinden programda Şekil 6.2’deki gibi ARIMA seçeneği seçilmiş ve elde edilen uygun model sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Zaman serisi model karşılaştırma sonuçları

Model	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC	HQC	SBIC
ARIMA(0,1,1)	0,3106	0,2116	2,3329	0,0038	-0,018	-2,332	-2,327	-2,320
ARIMA(1,1,0)	0,3107	0,2111	2,3279	0,0037	-0,018	-2,331	-2,327	-2,319

Çizelge 6.2’deki modellerden, literatürde model seçim kriterlerinden en yaygın olarak kullanılan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değeri en küçük olan ARIMA(0,1,1) modeli seçilmiştir.

Kimyasal süreçten elde edilen viskozite değerleri için zaman serisi, ARIMA(0,1,1) olarak belirlendikten sonra, ilgili modelin katsayılarının bulunabilmesi için MINITAB 18

paket programından yararlanılmıştır. Zaman serisine ilişkin katsayılar Şekil 6.3'teki gibi girilmiş ve analiz gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.3. ARIMA(0,1,1) modelinin katsayılarının belirlenmesi

Yapılan analiz sonucunda, viskozite değerlerine ilişkin ARIMA(0,1,1) zaman serisi modeli,

$$z_t - z_{t-1} = 0,0036 + a_t - 0,0593a_{t-1} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1'de verilmiştir. ARIMA (0,1,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. ARIMA (0,1,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi

Terim	Katsayı değeri	Standart Hata	T - değeri	P - değeri
MA 1	0,0593	0,0570	10,04	0,002
Sabit	0,0036	0,0166	2,12	0,013

Çizelge 6.3'ten de görüldüğü gibi modelin MA ve sabit katsayısının anlamlı çıkması model kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

Çalışmada öncelikle, 2 düzeyli 2 faktör TFT için ( $2^2$ ) ve 4 merkez nokta (center point) olmak üzere 3 tekrarlı toplam 16 deneyden oluşan bir deney planı oluşturulmuştur. Sürece, zaman serisi modeline uygun bir uç sinyal ekleneceğinden dolayı bu sinyalin büyüklüğü çalışmanın bu kısmında “Spike Size, SS” olarak ifade edilecektir. DT’de, H ve SS faktörleri için literatürde de kullanılan en düşük 0,5 ve en yüksek 3,5 değerleri dikkate alınmıştır. Bu değerler ve Denklem 6.1’deki zaman serisi modelinin katsayıları da dikkate alınarak, uç sinyali için DR ve FA yanıt değerleri, SAS paket programının üniversite eğitim (SAS University Edition) versiyonu kullanılarak benzetim yardımıyla hesaplanmıştır. Tasarımda kullanılan 2 faktör (H ve SS) ve düzeyleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. TFT deney planı için faktörler ve düzey değerleri

<b>FAKTÖRLER</b>	<b>Düşük Değer</b>	<b>Merkez (Orta) Değer</b>	<b>Yüksek Değer</b>
H	0,5	2	3,5
SS	0,5	2	3,5

Çizelge 6.4’deki değerler dikkate alınarak; 2 düzeyli 2 faktör ( $2^2$ ), 4 merkez nokta ve 3 tekrar olmak üzere toplam 16 deneyden oluşan TFT deney planı Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.5. TFT deney planı

<b>Deney Numarası</b>	<b>Faktör 1 H</b>	<b>Faktör 2 SS</b>	<b>Yanıt 1 DR</b>	<b>Yanıt 2 FA</b>
1	1,50	2,50	0,9738	0,2792
2	2,50	2,50	0,9348	0,1591
3	1,50	2,50	0,9708	0,2780
4	1,50	1,50	0,6876	0,1568
5	2,00	2,00	0,8424	0,1522
6	2,00	2,00	0,8470	0,1561
7	1,50	1,50	0,6785	0,1565
8	2,50	1,50	0,4293	0,0469
9	2,00	2,00	0,8457	0,1585
10	2,00	2,00	0,8440	0,1667

Çizelge 6.5. TFT deney planı (devam)

11	2,50	1,50	0,4322	0,0445
12	1,50	1,50	0,6916	0,1646
13	2,50	1,50	0,4361	0,4730
14	2,50	2,50	0,9366	0,1667
15	1,50	2,50	0,9720	0,2742
16	2,50	2,50	0,9400	0,1565

DR ve FA yanıtlarına ilişkin istatistiksel analizler için Design Expert 10 paket programı kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerden birisi olan Varyans Analizi (Analysis of Variance – ANOVA), geri eleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

DR yanıtı için elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6. DR yanıtı için ANOVA tablosu

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	0.57	3	0.19	14446.52	< 0.0001	significant
A-H	0.062	1	0.062	4766.95	< 0.0001	
B-Spike Size	0.47	1	0.47	35842.01	< 0.0001	
AB	0.036	1	0.036	2730.59	< 0.0001	
Curvature	0.023	1	0.023	1768.19	< 0.0001	significant
Pure Error	1.440E-004	11	1.309E-005			
Cor Total	0.59	15				

Yapılacak deneylerde deney sayısını belirlerken, faktörlerin etkilerinin doğrusal (linear), karesel (quadratic) vb. bir yapıya uygun olması durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle kullanılacak en iyi modelin seçilmesine dikkat edilmelidir. Çizelge 6.6’dan da görüldüğü gibi; modele H, SS ana faktörleri ile bunların bileşik etkisi de dâhil edilmiştir. Modelin F değerinin  $14446,52 > 0,05$  den büyük olması yani  $\text{Prob}>F$  değerinin  $0,05$  den küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. ANOVA tablosunda eğrisellik (curvature) teriminin F değerinin  $1768,19$  ve p değerinin  $<0,0001$

olması, modelin eğrisellik etkisi altında olduğunu ve modelde yer alan terimler haricinde karesel terimlerin de yer alması gerektiğini göstermektedir. Aynı durumun FA yanıtı için de geçerli olduğu belirlenmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda, eğrisel etkilerin anlamlı olduğu görülmüş, sürece ilişkin modelde ikinci ve daha yüksek dereceden terimlerin de yer alması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle YYY'nin sık kullanılan bir türü olan MKT deney stratejisinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Çalışmada, MKT ile ilgili deney planının oluşturulması ve analizlerinin gerçekleştirilmesi için de Design Expert 10 paket programı kullanılmıştır. MKT'de 2 düzeyli k faktör için 2k kadar eksen ya da yıldız nokta gerekmektedir. Buna ek olarak tasarımda merkez noktalar da yer almaktadır. Oluşturulan MKT deney planı Çizelge 6.7'de verilmiştir. Kullanılan deney tasarımında  $2^2$  TFT için  $2*2=4$  eksen noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tasarımda 5 merkez nokta kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan MKT'de  $2^2=4$  noktaya ilave olarak, 4 eksen noktada 3 tekrar olmak üzere  $12+12=24$  deney ve 5 merkez nokta olmak üzere toplam 29 deney yer almaktadır.

Çizelge 6.7. MKT deney planı

<b>Deney Numarası</b>	<b>Faktör 1 H</b>	<b>Faktör 2 SS</b>	<b>Yanıt 1 DR</b>	<b>Yanıt 2 FA</b>
1	0,5	2	0,9607	0,3972
2	3,5	0,5	0	0
3	3,5	0,5	0	0
4	3,5	2	0,5946	0,0456
5	3,5	2	0,609	0,0377
6	2	3,5	0,9983	0,235
7	2	2	0,8429	0,1561
8	2	3,5	0,9979	0,2365
9	3,5	0,5	0	0
10	0,5	0,5	0,3085	0,1569
11	2	2	0,8383	0,1573
12	0,5	2	0,9608	0,4014
13	2	2	0,8478	0,1553
14	2	2	0,8422	0,1619
15	3,5	2	0,5937	0,0387
16	3,5	3,5	0,9943	0,1627

Çizelge 6.7. MKT deney planı (devam)

17	0,5	0,5	0,3068	0,1531
18	0,5	3,5	0,9999	0,4449
19	0,5	3,5	0,9997	0,4486
20	3,5	3,5	0,9942	0,1536
21	2	3,5	0,9985	0,2443
22	0,5	3,5	0,9996	0,4476
23	0,5	0,5	0,3065	0,1591
24	2	0,5	0,0002	0
25	2	2	0,8395	0,1574
26	2	0,5	0,0006	0
27	2	0,5	0,0001	0,0001
28	3,5	3,5	0,9945	0,164
29	0,5	2	0,9618	0,3952

Analizler sonucunda DR ve FA yanıtları için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’da verilmiştir. Her iki yanıt değeri için de kullanılması düşünülen modellerin Prob>F değerleri <0,0001 çıkmasına rağmen, yani modeller anlamlı olmasına rağmen, modellerin uyumsuzluk (Lack of Fit) değerleri de anlamlı (<0,0001) çıkmıştır. Bu durum, deney planındaki bazı deneylerde “0” ve “1” değerlerinin yoğun olarak gözlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.8. MKT deney planındaki DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	significant
Model	3532,64	5	706,53	39,71	< 0.0001	significant
A-H	452,93	1	452,93	25,45	< 0.0001	
B-Spike_size	1707,06	1	1707,06	95,93	< 0.0001	
AB	666,95	1	666,95	37,48	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	74,64	1	74,64	4,19	0,0521	
B <sup>2</sup>	675,12	1	675,12	37,94	< 0.0001	
Residual	409,27	23	17,79			
Lack of Fit	394,89	3	131,63	183,03	< 0.0001	significant
Pure Error	14,38	20	0,72			
Cor Total	3941,91	28				

Çizelge 6.9. MKT deney planındaki FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response 2		False_alarm				
Transform: Inverse Sqrt		Constant: 0,0004486				
ANOVA for Response Surface Quadratic model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	8202,39	5	1640,48	36,68	< 0.0001	significant
A-H	1202,97	1	1202,97	26,90	< 0.0001	
B-Spike_size	3997,07	1	3997,07	89,37	< 0.0001	
AB	1431,41	1	1431,41	32,00	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	234,67	1	234,67	5,25	0,0315	
B <sup>2</sup>	1454,84	1	1454,84	32,53	< 0.0001	
Residual	1028,69	23	44,73			
Lack of Fit	1014,95	3	338,32	492,15	< 0.0001	significant
Pure Error	13,75	20	0,69			
Cor Total	9231,08	28				

Faktör düzeyleri için yeniden araştırma yapılarak Çizelge 6.10'daki faktör düzeyleri ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 6.10. MKT deney planı için faktörler ve yenilenen düzey değerleri

FAKTÖRLER	(-) Eksen	Düşük	Merkez (Orta)	Yüksek	(+) Eksen
H	1,16	1,5	2	2,5	2,84
SS	1,16	1,5	2	2,5	2,84

Çizelge 6.10 dikkate alınarak oluşturulan yeni MKT deney planı Çizelge 6.11'de verilmiştir. Standart (rassallık olmayan) deney sırasına göre oluşturulan Çizelge 6.11'deki deney planında, 1 numaralı deneyden 12 numaralı deneye kadar olan deneyler 2<sup>2</sup> tam faktöriyel tasarımın 3 tekrara ait deneyleri göstermektedir. 13 numaralı deneyden 24 numaralı deneye kadar olan 12 deney ise MKT'de yer alan (-) ve (+) eksen noktalarını ifade etmektedir. 25 ile 29 numaralı deneyler arasındaki son 5 deney ise merkez noktada gerçekleştirilen tekrar deneyleridir.



Çizelge 6.11. Yenilenen MKT deney planı

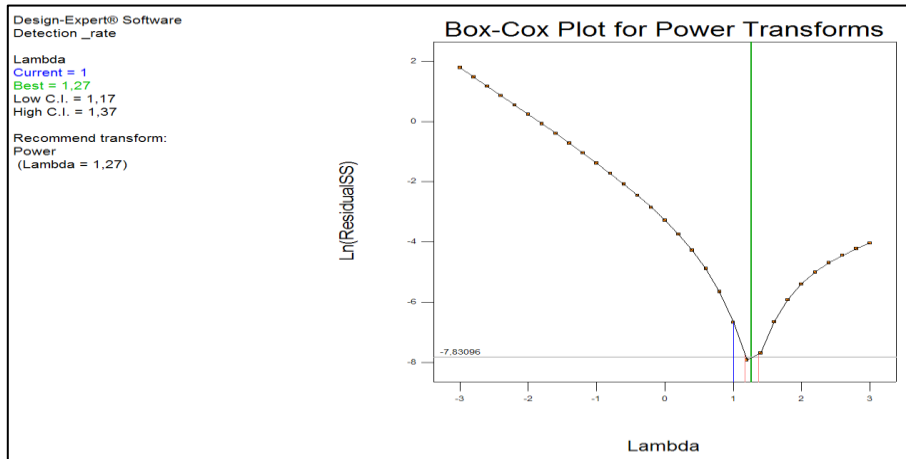
Deney Numarası	Faktör 1 H	Faktör 2 SS	Yanıt 1 DR	Yanıt 2 FA
1	1,5	1,5	0,6916	0,1646
2	1,5	1,5	0,6785	0,1565
3	1,5	1,5	0,6876	0,1568
4	2,5	1,5	0,4293	0,0469
5	2,5	1,5	0,4322	0,0445
6	2,5	1,5	0,4361	0,0473
7	1,5	2,5	0,9708	0,278
8	1,5	2,5	0,972	0,2742
9	1,5	2,5	0,9738	0,2792
10	2,5	2,5	0,94	0,1565
11	2,5	2,5	0,9366	0,1667
12	2,5	2,5	0,9348	0,1591
13	1,15911	2	0,9215	0,282
14	1,15911	2	0,9225	0,2845
15	1,15911	2	0,9185	0,2738
16	2,8409	2	0,7	0,0814
17	2,8409	2	0,7015	0,0797
18	2,8409	2	0,6995	0,0754
19	2	1,15911	0,2831	0,0421
20	2	1,15911	0,2893	0,0412
21	2	1,15911	0,278	0,0444
22	2	2,8409	0,981	0,2356
23	2	2,8409	0,9821	0,2446
24	2	2,8409	0,9856	0,2374
25	2	2	0,847	0,1561
26	2	2	0,8424	0,1522
27	2	2	0,844	0,1667
28	2	2	0,8457	0,1585
29	2	2	0,8437	0,1535

29 deney sonucunda elde edilen DR yanıt değerleri Denklem 6.2'deki gibi karesel bir modele uydurulmuştur.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{j>i}^n \sum_{i=1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (6.2)$$

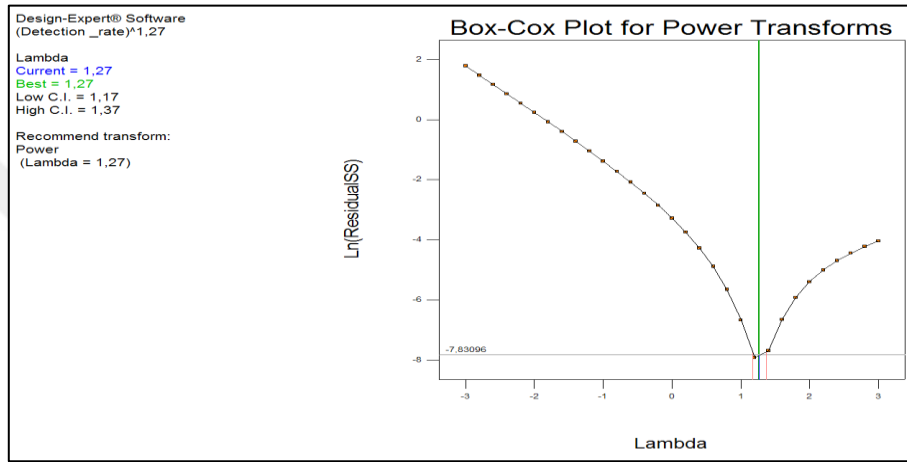
Denklem 6.2'deki karesel model n tane değişkenin doğrusal etkilerini, karesel etkilerini ve aralarındaki etkileşimlerini dikkate alan bir modeldir. Bu modelde  $\beta_i$  parametresi faktörlerin ana etkilerini göstermektedir. Bu etki doğrusallık anlamına gelmektedir.  $\beta_{ii}$  parametresi ise, eğrinin şeklini ifade etmektedir. Bu etki de karesel etki anlamına gelmektedir.  $\beta_{ij}$  parametresi ise, i ve j değişkenleri arasındaki etkileşimin etkisini göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ve regresyon analizi ile de ikinci derece modeldeki katsayılar tahmin edilerek regresyon denklemi oluşturulmaktadır. Oluşturulan denklem yardımı ile yanıtlar için tahmin sonuçları elde edilerek, tahminlerin doğruluğu ve modelin tahmin etmede yeterli olup olmadığı kontrol edilmektedir.

Analizde kullanılacak değerlerde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç olup olmadığı durumu Box–Cox analizi ile araştırılmıştır. DR yanıtı için oluşturulan Box–Cox grafiği Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4. DR yanıtı için Box–Cox grafiği

Artıkların kareler toplamının doğal logaritması alınarak oluşturulan bu eğrinin en küçük noktası en iyi Lamda değerini göstermektedir. Şekil 6.4'den de görüldüğü gibi, lambda değerinin 1 ve en iyi değer tahmin aralığı sınırları içinde olmadığı görülmektedir. Bu durum, kullanılacak değerlerde bir dönüşüme gerek olduğunu göstermektedir. Programın önerdiği “Lamda=1,27” Power dönüşümü değerlere uygulanmış, dönüşümden sonra en iyi değer güven sınırları içerisinde yer aldığını gösteren Box–Cox grafiği Şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.5. DR yanıtı için yenilenen Box–Cox grafiği

DR yanıtı için sonuçlar analiz edildiğinde ilgili yanıt için Çizelge 6.12’deki gibi yüksek  $R^2$ , düşük standart sapma değerlerine sahip karesel model önerilmiştir.

Çizelge 6.12. DR yanıtı için model seçimi

Lack of Fit Tests						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Linear	0,19	6	0,032	2318,43	< 0.0001	
2FI	0,15	5	0,031	2207,19	< 0.0001	
<u>Quadratic</u>	<u>1,252E-004</u>	<u>3</u>	<u>4,174E-005</u>	<u>3,01</u>	<u>0,0544</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	1,154E-004	1	1,154E-004	8,32	0,0092	Aliased
Pure Error	2,775E-004	20	1,387E-005			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0,086	0,8991	0,8913	0,8734	0,24	
2FI	0,078	0,9199	0,9103	0,8993	0,19	
<u>Quadratic</u>	<u>4,184E-003</u>	<u>0,9998</u>	<u>0,9997</u>	<u>0,9997</u>	<u>6,350E-004</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	4,325E-003	0,9998	0,9997	0,9996	7,685E-004	Aliased

DR yanıtı için elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.13'te verilmiştir. Çizelge 6.13'teki modelin F değerinin 21876,42 ve Prob>F değerinin <0,05 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Model terimlerinin Prob>F değerlerine bakıldığında A (H), B (SS), AB (H\*SS), A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> faktörlerinin kritik olduğu görülmektedir. Burada A, B ana etkileri, AB, A ve B terimlerinin etkileşim etkisini, A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> terimleri de A ve B terimlerinin karesel etkilerini göstermektedir. Model için gerçekleştirilen uyumsuzluk testi sonucunda Prob > F değerinin <0,05 olması nedeniyle anlamsız çıkmaktadır. Bu istenen bir durumdur.

Çizelge 6.13. DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response 1		Detection_rate				
Transform:	Power	Lambda:	1,27	Constant:	0	
<b>ANOVA for Response Surface Quadratic model</b>						
<b>Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]</b>						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	1,92	5	0,38	21876,42	< 0.0001	significant
A-H	0,18	1	0,18	10337,60	< 0.0001	
B-Spike_size	1,54	1	1,54	88028,74	< 0.0001	
AB	0,040	1	0,040	2277,89	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	4,059E-003	1	4,059E-003	231,81	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	0,13	1	0,13	7328,20	< 0.0001	
Residual	4,027E-004	23	1,751E-005			
Lack of Fit	1,252E-004	3	4,174E-005	3,01	0,0544	not significant
Pure Error	2,775E-004	20	1,387E-005			
Cor Total	1,92	28				

Modele ait R<sup>2</sup> değerleri Çizelge 6.14'de verilmiştir. Modelin R<sup>2</sup> değeri 0,9998 ile 1 değerine oldukça yakın çıkmıştır. R<sup>2</sup> değeri modelin, %99,98 oranında veriler tarafından açıklanabildiği anlamına gelmektedir. Adj-R<sup>2</sup> ve Pred-R<sup>2</sup> değerleri de R<sup>2</sup> değerine yakın ve yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.14. DR yanıtı için R<sup>2</sup> değerleri

<b>R-Squared</b>	0,9998
<b>Adj R-Squared</b>	0,9997
<b>Pred R-Squared</b>	0,9997

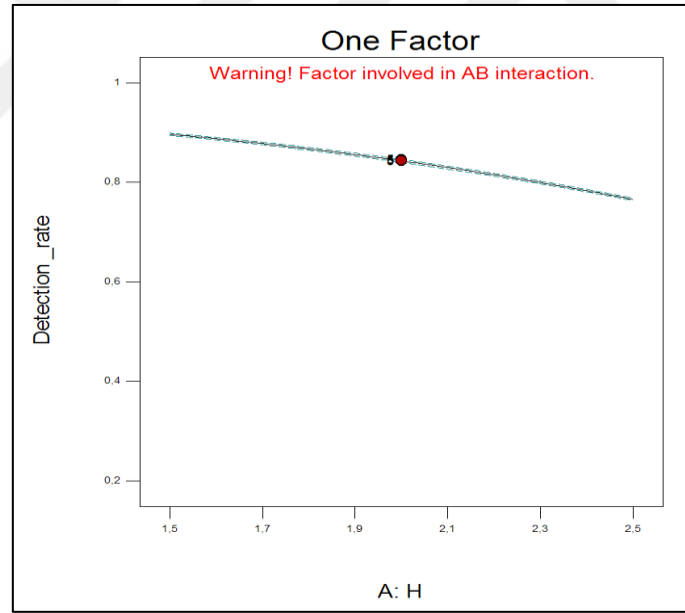
DR yanıtı için regresyon modeli,

$$\begin{aligned} (\text{DR})^{1,27} = & - 0,32399 - (0,40106 * A) + (1,22707 * B) \\ & + (0,23060 * A * B) - (0,054555 * A^2) - (0,30674 * B^2) \end{aligned} \quad (6.3)$$

Denklem 6.3'te verilmiştir.

Faktörlerin, diğer faktörler en iyi düzeylerindeyken DR yanıtına etkisi, ana faktör etkileri grafikleri kullanılarak incelenmiştir.

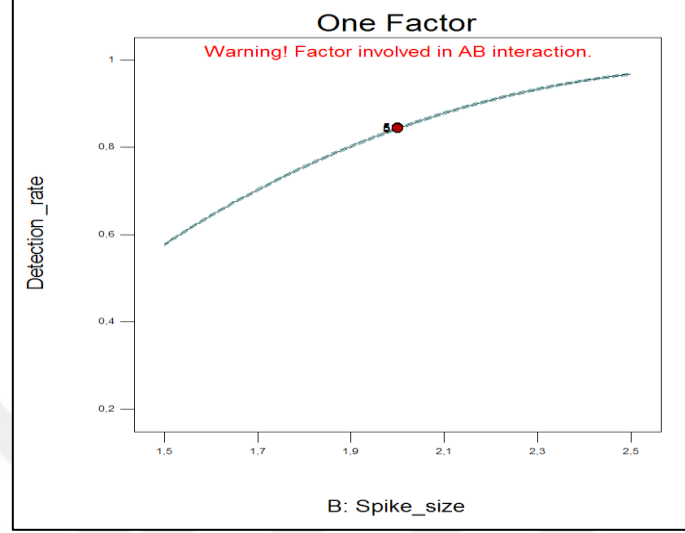
H faktörünün DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.6'dan da görüldüğü gibi, H değeri arttıkça DR yanıt değeri azalmaktadır. Ayrıca Şekil 6.6'da, H faktörünün etkileşimde olduğu uyarısı da yapılmaktadır.



Şekil 6.6. H faktörünün DR yanıtına etkisi

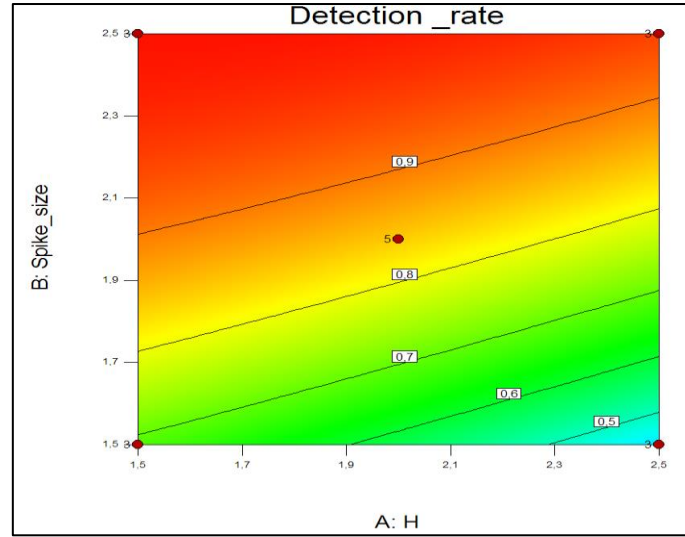
SS faktörünün DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.7'den de görüldüğü gibi, SS değeri arttıkça DR yanıt değeri artmaktadır. Grafikte doğru yerine bir eğrinin olması SS faktörünün karesel etkisinin de anlamlı olduğunu göstermektedir. SS ana faktör grafiğindeki eğrinin eğiminin H ana faktör grafiğindeki

eğrinin eğiminden fazla olması SS faktörünün H faktörüne göre daha kritik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, SS faktörünün etkileşimde olduğu uyarısı da yapılmaktadır.



Şekil 6.7. SS faktörünün DR yanıtına etkisi

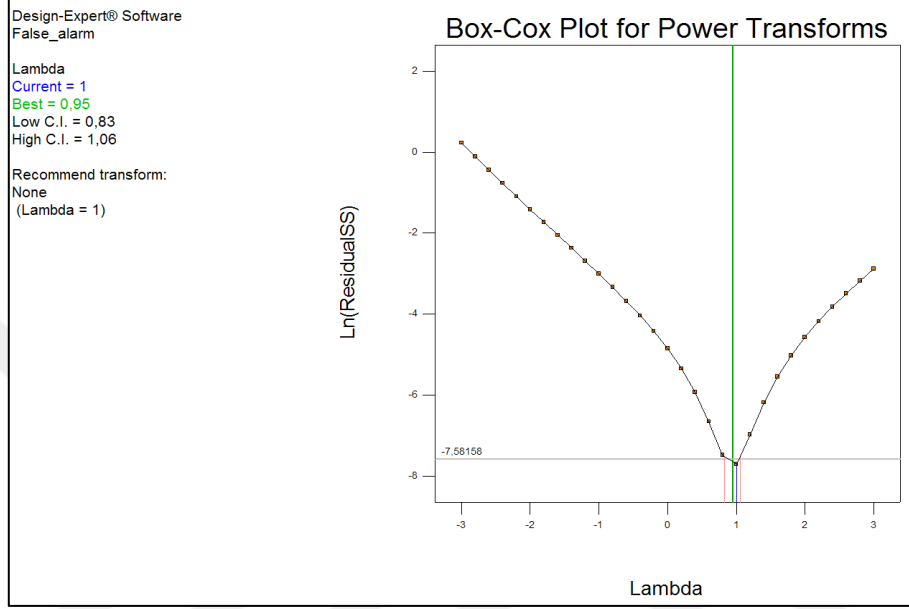
H\*SS etkileşiminin DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. H\*SS etkileşiminin DR yanıtına etkisi

Şekil 6.8’den de görüldüğü gibi, H değerinin en küçük ve SS değerinin en büyük olduğu durumda DR yanıt değeri maksimum değerini almaktadır.

FA yanıtı için sonuçlar, DR yanıtına benzer bir şekilde analiz edilebilir. Analizde kullanılacak değerlerde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç olup olmadığı DR yanıtındaki gibi Box–Cox analizi ile araştırılmıştır. FA yanıtı için oluşturulan Box–Cox grafiği Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.9. FA yanıtı için Box–Cox grafiği

Şekil 6.9’den görüldüğü gibi, artıkların kareler toplamının doğal logaritması alınarak oluşturulan bu eğrinin en küçük noktası en iyi lambda değerini vermektedir.

Ayrıca, lambda değerinin 1 ve en iyi değerinin tahmin aralığı sınırları içinde olduğu görülmektedir. Bu durumda, değerlerde herhangi bir dönüşüme gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

FA yanıtı için sonuçlar analiz edildiğinde ilgili yanıt için Çizelge 6.15’teki gibi yüksek  $R^2$ , düşük standart sapma değerlerine sahip karesel model önerilmiştir.

Çizelge 6.15. FA yanıtı için model seçimi

<b>Lack of Fit Tests</b>						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Linear	4,561E-003	6	7,602E-004	39,93	< 0.0001	
2FI	4,553E-003	5	9,106E-004	47,83	< 0.0001	
<u>Quadratic</u>	<u>5,989E-005</u>	<u>3</u>	<u>1,996E-005</u>	<u>1,05</u>	<u>0,3929</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	1,575E-005	1	1,575E-005	0,83	0,3740	Aliased
Pure Error	3,808E-004	20	1,904E-005			

*"Lack of Fit Tests":* Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

<b>Model Summary Statistics</b>						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0,014	0,9757	0,9739	0,9681	6,506E-003	
2FI	0,014	0,9758	0,9729	0,9679	6,536E-003	
<u>Quadratic</u>	<u>4,377E-003</u>	<u>0,9978</u>	<u>0,9974</u>	<u>0,9966</u>	<u>6,951E-004</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	4,346E-003	0,9981	0,9974	0,9964	7,296E-004	Aliased

FA yanıtı için elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16. FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

<b>Response 2 False_alarm</b>						
<b>ANOVA for Response Surface Reduced Quadratic model</b>						
<b>Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]</b>						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.20	4	0.051	2715.96	< 0.0001	significant
A-H	0.10	1	0.10	5357.44	< 0.0001	
B-Spike_size	0.098	1	0.098	5266.16	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	1.328E-003	1	1.328E-003	71.03	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	7.437E-004	1	7.437E-004	39.76	< 0.0001	
Residual	4.489E-004	24	1.870E-005			
Lack of Fit	6.805E-005	4	1.701E-005	0.89	0.4861	not significant
Pure Error	3.808E-004	20	1.904E-005			
Cor Total	0.20	28				



Çizelge 6.16'daki modelin F değerinin 2715,96 ve Prob>F değerinin <0,05 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Model terimlerinin Prob>F değerlerine bakıldığında A (H), B (SS), A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> faktörlerinin kritik olduğu görülmektedir Burada A, B ana etkileri, A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> terimleri de A ve B terimlerinin karesel etkilerini göstermektedir. Model için gerçekleştirilen uyumsuzluk testi sonucunda Prob>F değerinin <0,05 olması nedeniyle anlamsız çıkmaktadır. Bu istenen bir durumdur.

Modele ait R<sup>2</sup> değerleri Çizelge 6.17'de verilmiştir. Modelin R<sup>2</sup> değeri 0,9978 ile 1 değerine oldukça yakın çıkmıştır. R<sup>2</sup> değeri modelin, %99,78 oranında veriler tarafından açıklanabildiği anlamına gelmektedir. Adj-R<sup>2</sup> ve Pred-R<sup>2</sup> değerleri de R<sup>2</sup> değerine yakın ve yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.17. FA yanıtı için R<sup>2</sup> değerleri

<b>R-Squared</b>	0,9978
<b>Adj R-Squared</b>	0,9974
<b>Pred R-Squared</b>	0,9967

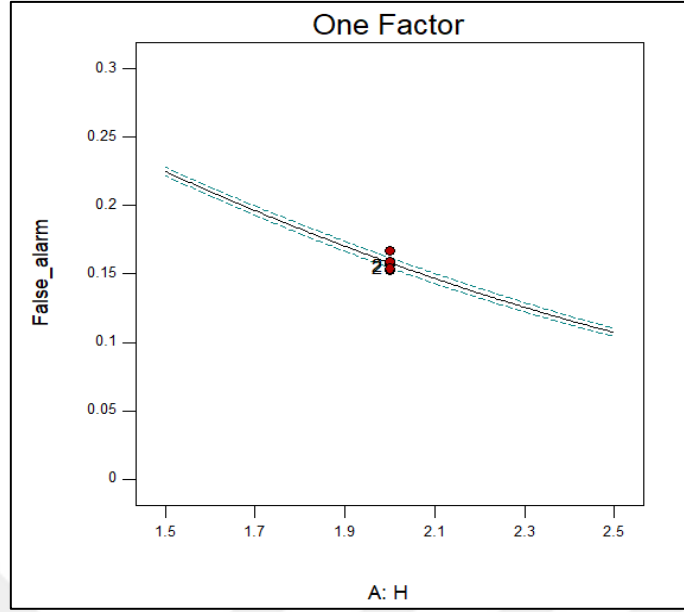
FA yanıtı için regresyon modeli,

$$\begin{aligned}
 \text{FA} = & + 0,19147 - (0,24247 * A) + (0,21003 * B) \\
 & + (0,031212 * A^2) - (0,023353 * B^2)
 \end{aligned}
 \tag{6.4}$$

Denklem 6.4'de verilmiştir.

Faktörlerin, diğer faktörler en iyi düzeylerindeyken FA yanıtına etkisi, ana faktör etkileri grafikleri kullanılarak incelenmiştir.

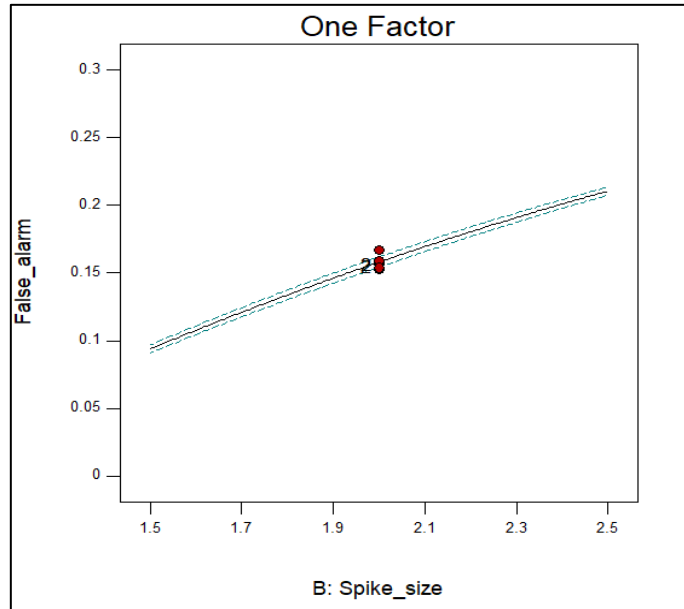
H faktörünün FA yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. H faktörünün FA yanıtına etkisi

Şekil 6.10'dan da görüldüğü gibi, H değeri arttıkça FA yanıt değeri azalmaktadır.

SS faktörünün FA yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. SS faktörünün FA yanıtına etkisi

Şekil 6.11'den de görüldüğü gibi, SS değeri arttıkça FA yanıt değeri artmaktadır. Grafikte doğru yerine bir eğrinin olması SS faktörünün karesel etkisinin de anlamlı olduğunu

göstermektedir. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'deki grafiklerde; eğrilerin eğimlerinin birbirlerine benzer olması, H ve SS faktörlerinin etkilerinin birbirine yakın ve kritik olduğunu göstermektedir.

### **İstek Fonksiyonları ile Eş Zamanlı Eniyileme**

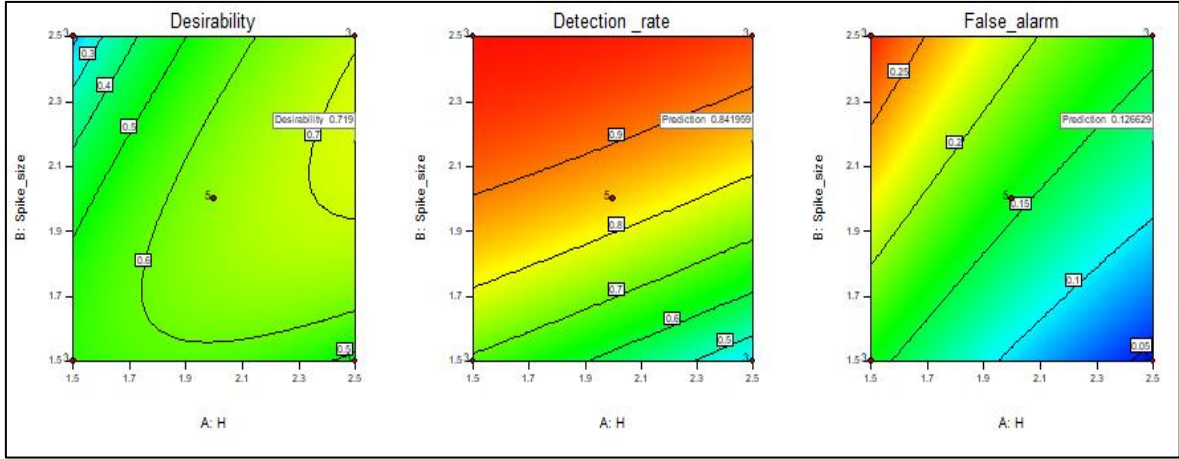
Çalışmada kullanılan DR ve FA yanıtlarının eş zamanlı olarak eniyilenmesi için İstek Fonksiyonları kullanılmıştır. Elde edilen yerel eniyi sonuçlar Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18. DR ve FA yanıtları için elde edilen istek değerleri

<b>Solutions</b>						
<b>Number</b>	<b>H</b>	<b>Spike_size</b>	<b>Detection_ra</b>	<b>False_alarm</b>	<b>Desirability</b>	
1	2.500	2.174	0.842	0.127	0.719	<b>Selected</b>
2	2.500	2.170	0.840	0.126	0.719	
3	2.500	2.170	0.840	0.126	0.719	
4	2.500	2.186	0.847	0.128	0.719	
5	2.500	2.134	0.826	0.122	0.719	
6	2.500	2.232	0.863	0.133	0.718	
7	2.500	2.113	0.817	0.120	0.718	

**7 Solutions found**

Çizelge 6.18'de de görüldüğü gibi, DR ile FA yanıtlarının ağırlıkları eşit alınarak, 7 farklı yerel en iyi çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler arasından programın da önermiş olduğu birinci çözüm seçilmiştir. Eniyileme yapılırken istek değeri 1 veya 1'e en yakın olan çözüm, kullanılacak istek değeri olarak seçilmiştir. İlgili çözüme ait yüzey grafikleri Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. İstek değeri, DR ve FA yanıtları için yüzey grafikleri

Şekil 6.12'deki yüzey grafiklerine bakıldığında, H faktörünün düşük ve SS faktörünün yüksek düzey kesişimlerinde istek değerinin 1'e en yakın olduğu görülmektedir.

DR ve FA yanıtları için tahmin edilen değerler ve bunlara ait güven aralıkları Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19. DR ve FA yanıtları için tahmin aralıkları

Response	Predicted		Std Dev	SE Mean	CI for Mean		99% Population	
	Mean	Median1			95% CI low	95% CI high	95% TI low	95% TI high
DR	0,842	0,842	0,00345	N/A	0,8395	0,8444	0,8281	0,8558
FA	0,127	0,127	0,00433	0,001	0,1237	0,1296	0,1095	0,1437

H=2,5 ve SS=2,174 değerleri kullanılarak benzetim kodları tekrar çalıştırılmış, bulunan DR=0,851 ve FA=0,1266 değerlerinin Çizelge 6.18'de verilen tahmin aralıkları içinde çıktığı görülmüştür.

İstek fonksiyonları kullanılarak her iki amacın (DR ve FA) farklı ağırlık değerleri için (w1, w2) yerel en iyi çözümler elde edilmiş, bu çözümler içerisinde programın önerdiği ilk çözüm değerleri Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20. Farklı ağırlık değerlerine göre elde edilen istek değerleri

(DR için) w1	(FA için) w2	H	SS	DR	FA	D
5	1	2,5	2,5	0,940	0,159	0,846
4	2	2,5	2,453	0,929	0,155	0,767
3	3	2,5	2,175	0,842	0,127	0,719
2	4	2,5	1,894	0,711	0,094	0,720
1	5	2,5	1,619	0,532	0,059	0,791

Çizelge 6.20’de, DR ve FA yanıtlarının birbiriyle çelişen amaçlar olduğu görülmekte ve karar vericiye amaçların ağırlıklarına göre farklı çözümler sunmaktadır.

Örneğin, Çizelge 6.20’ye göre DR yanıtının FA yanıtına göre çok önemli olduğu düşünülüyorsa,  $w_1=5$  ve  $w_2=1$  seçilerek istek değerinin 0,846 olduğu H ve SS kombinasyonu seçilebilir. Eğer her iki amacın da eşit ağırlıkta önemli olduğu düşünülüyorsa, bu sefer de  $w_1=3$  ve  $w_2=3$  seçilerek istek değerinin 0,719 olduğu H ve SS kombinasyonu seçilebilir. İki amacın da aynı ağırlık değerine sahip olduğu bu çözümde,  $H=2,5$  ve  $SS=2,175$  değerlerini almaktadır. Bu çözüm yerel eniyi çözümdür, ancak bütünsel eniyi çözüm olduğu garanti edilemez.

DR yanıtını enbüyükleyen ve aynı zamanda FA yanıtını da enküçükleyen bütünsel eniyi bir çözüm bulmak istenilmiş, bunun için iki amaç arasındaki farkı enbüyükleyen tek bir amaç fonksiyonu kullanılarak bir matematiksel model oluşturulmuş ve oluşturulan model Şekil 6.13’te verilmiştir.

Şekil 6.13’teki modelde  $f_1(DR)$  ve  $f_2(FA)$  fonksiyonları bir olasılık değerine karşı geleceğinden bu fonksiyonların değerleri 0 ile 1 arasında olmalıdır.

```

Model:

max=f1-f2;

f1=(-0.32399-(0.40106*H)+(1.22707*SS)+(0.23060*H*SS)-(0.054555*H^2)-(0.30674*SS^2))^(1/1.27);

f2=0.19147-(0.24247*H)+(0.21003*SS)+(0.031212*H^2)-(0.023353*SS^2);

@free(f1);
@free(f2);
@BND(0,f1,1);
@BND(0,f2,1);

@BND(1.5,H,2.5);|
@BND(1.5,SS,2.5);

END

```

Şekil 6.13. Oluşturulan matematiksel model

Şekil 6.13'te de görüldüğü gibi, ilgili kısıtlar da modele eklenerek oluşturulan model, Lingo 11 paket programı kullanılarak çözdürülmüş ve elde edilen en iyi sonuç Şekil 6.14'de verilmiştir.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                0.7803229
Objective bound:                0.7803229
Infeasibilities:                0.0000000
Extended solver steps:         3
Total solver iterations:       263

```

Variable	Value	Reduced Cost
F1	0.9398117	0.000000
F2	0.1594887	0.000000
H	2.500000	-0.8472892E-02
SS	2.500000	-0.1228226

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.7803229	1.000000
2	0.000000	1.000000
3	0.000000	-1.000000

Şekil 6.14. Matematiksel modelin bütünsel eniyi çözümü

Bulunan çözüme göre H=2,5 ve SS=2,5 değerleri ile DR (F1) yanıt değeri 0,9398 ve FA (F2) yanıt değeri 0,1595 olarak hesaplanmıştır. DA ile FA yanıt değerlerinin farkı ise 0,7803 olarak bulunmuştur.

Bu çözümler, karar vericinin farklı amaçlar için bir aralık tanımlayabilmesine imkân sağlamamaktadır. Buna karşılık her bir hedefi hafife almayarak karar vericinin çok tercihli istek düzeylerini ayarlamasına imkân sağlayan bir eniyileme yöntemi olan ÇSKHP ile bütünsel eniyi çözümler elde edilmiş, sonuçlar izleyen bölümde tartışılmıştır.

Çalışmada Üstün'ün önerdiği (2012) ÇSKHP yöntemi kullanılarak oluşturulan model Şekil 6.15'te verilmiştir. Modelde, H ve SS aralığı literatürde daha önceden belirtildiği şekilde [0,5-3,5] olarak alınmıştır. Bu modelde karar vericinin istek sınırları da DR için [0,9-1], FA için ise [0-0,20] aralığı olarak belirlenmiştir.

```

Model:
|
-1*((-0.32399-(0.40106*H)+(1.22707*SS)+(0.23060*H*SS)-(0.054555*H^2)
  -(0.30674*SS^2))^(1/1.27))-d12+d11=y1;

0.19147-(0.24247*H)+(0.21003*SS)+(0.031212*H^2)
  -(0.023353*SS^2)-d22+d21=y2;

y1>=-1;
y1<=-0.90;
y2<=0.20;
y2>=0;

min=0.99*d12-0.01*d11+0.99*d22-0.01*d21;

f1=(-0.32399-(0.40106*H)+(1.22707*SS)+(0.23060*H*SS)-(0.054555*H^2)
  -(0.30674*SS^2))^(1/1.27);

f2=0.19147-(0.24247*H)+(0.21003*SS)+(0.031212*H^2)
  -(0.023353*SS^2);

@free(f1);
@free(f2);
@free(y1);
@free(y2);
@BND(0,f1,1);
@BND(0,f2,1);

@BND(0.5,H,3.5);
@BND(0.5,SS,3.5);

```

Şekil 6.15. DR ve FA yanıtları için oluşturulan ÇSKHP modeli

Şekil 6.15'teki model kullanılarak; farklı  $\beta$ ,  $w_1$  ve  $w_2$  değerleri için elde edilen etkin çözümler Çizelge 6.21'de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Farklı  $\beta$ ,  $w_1$  ve  $w_2$  değerleri için elde edilen etkin çözümler

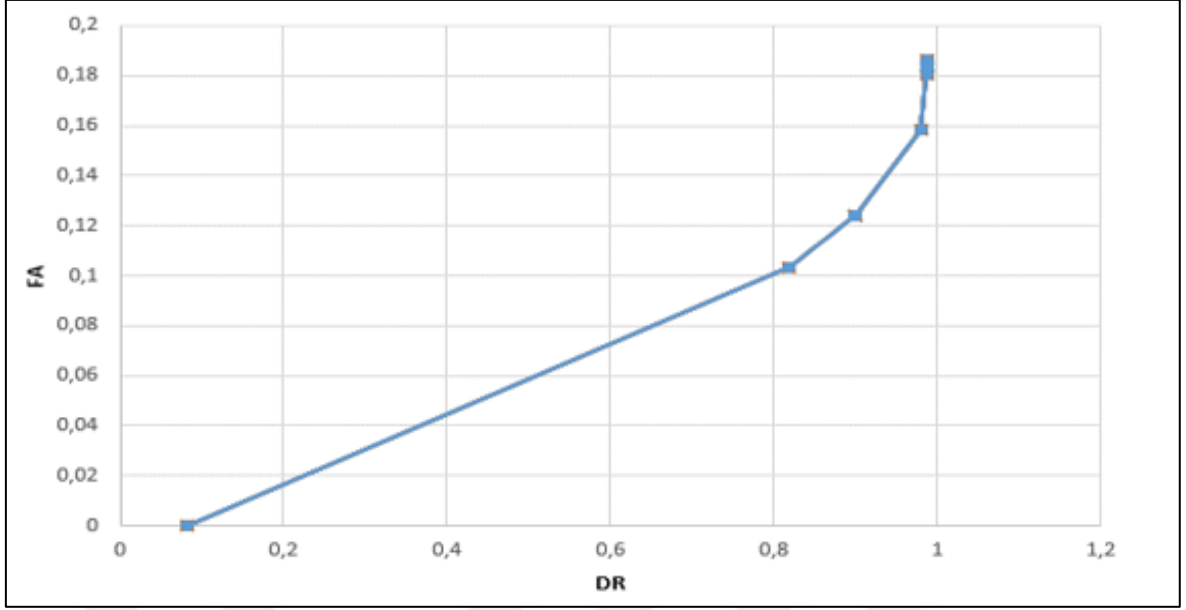
$\beta$	$w_1$	$w_2$	$\beta - w_1$	$\beta + w_1$	$\beta - w_2$	$\beta + w_2$	DR	FA	H	SS
0	0	1	0	0	-1	1	0,0815	0	2,400	1,150
0,09	0,1	0,9	-0,01	0,19	-0,81	0,99	0,8192	0,1033	3,257	2,409
0,19	0,2	0,8	-0,01	0,39	-0,61	0,99	0,9000	0,1243	3,314	2,662
0,29	0,3	0,7	-0,01	0,59	-0,41	0,99	0,9000	0,1243	3,314	2,662
0,39	0,4	0,6	-0,01	0,79	-0,21	0,99	0,9000	0,1243	3,314	2,662
0,49	0,5	0,5	-0,01	0,99	-0,01	0,99	0,9795	0,1582	3,315	3,113
0,39	0,6	0,4	-0,21	0,99	-0,01	0,79	0,9872	0,1805	2,797	3,045
0,29	0,7	0,3	-0,41	0,99	-0,01	0,59	0,9873	0,1829	2,745	3,029
0,19	0,8	0,2	-0,61	0,99	-0,01	0,39	0,9873	0,1839	2,726	3,023
0,09	0,9	0,1	-0,81	0,99	-0,01	0,19	0,9873	0,1844	2,716	3,019
0	1	0	-1	1	0	0	0,9873	0,1861	2,683	3,009

Çizelge 6.21’de gösterilen ilk satırdaki çözümde DR, son satırdaki çözümde ise FA yanıtının amaçları göz ardı edilmektedir. Bu nedenle ilk satırda DR yanıtı için bulunan çözüm karar vericinin istediği aralığın dışında çıkmıştır.

Ağırlık değerlerinin eşit olduğu durumda  $H=3,315$  ve  $SS=3,113$  değerleri için  $DR=0,9795$  ve  $FA=0,1582$  bulunmuştur. Bu durum, istek seviyeleri dikkate alındığında Çizelge 6.20’deki eşit ağırlıklar için daha önceden hesaplanan istek değerlerinden daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır.  $H=2,5$  ve  $SS=2,5$  değerleri için Çizelge 6.20’de hesaplanan istek değerleri ile Şekil 6.14’deki matematiksel modelin çözümleri aynı çıkmıştır.

Çizelge 6.21’deki ağırlıklar kullanılarak elde edilen etkin çözümlerin pareto yüzey grafiği Şekil 6.16’da verilmiştir.





Şekil 6.16. Etkin çözümler için pareto yüzey grafiği

DR ve FA yanıtlarının birbiriyle çelişen amaçlar olduğu Şekil 6.16'dan da açıkça görülmektedir. Şekil 6.16'dan da görüldüğü gibi, DR yanıt değeri artarken FA yanıtının da aynı oranda olmasa da arttığı gözlenmektedir. FA yanıt değerinin artması ise istenmeyen bir durumdur. Ayrıca; FA yanıt değeri 0,2'ye yaklaştıkça, DR yanıt değeri de 1'e yaklaşmaktadır.

## 6.2. ARIMA(1,0,1) Zaman Serisi İçin Parametre Eniyilenmesi

Çalışmanın bu kısmında; önerilecek yöntem için kullanılacak veriler, dünyanın en büyük bilişim teknolojisi şirketlerinden birisi olan IBM (International Business Machines Corporation) şirketinin günlük hisse senedi kapanış değerleri (<https://finance.yahoo.com/quote/IBM/>, 2017) olup Çizelge 6.22'de verilmiştir.

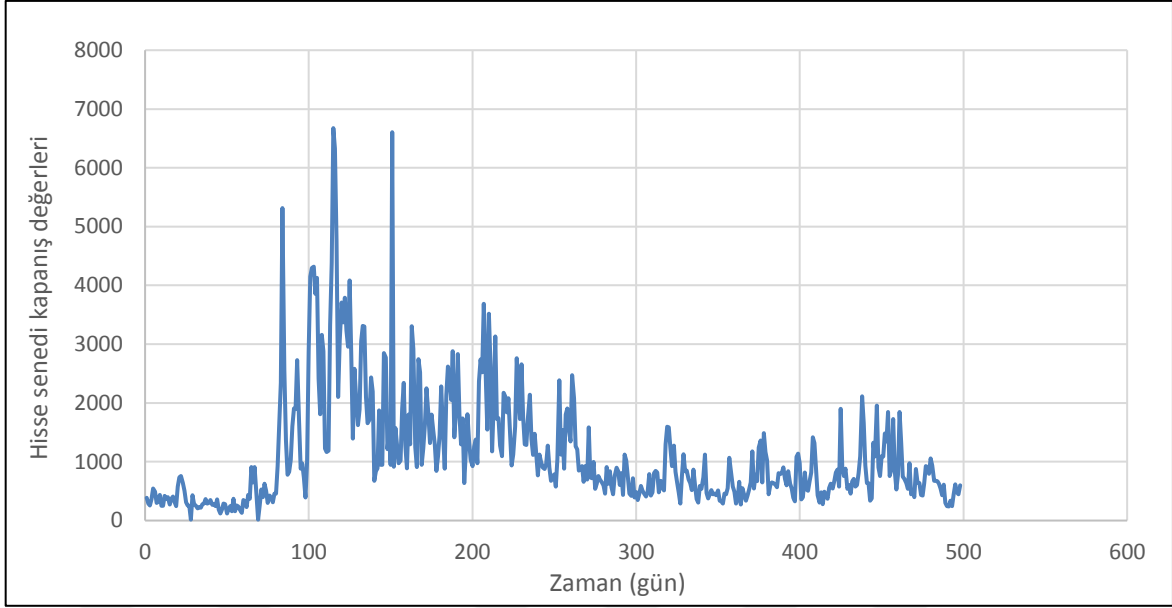
Çizelge 6.22. IBM'in 1962 – 1964 yılları arasındaki hisse senedi kapanış değerleri

387	280	16	4320	1707	1624	2739	1128	720	491	736	1240	1320	339	928
288	288	256	3856	2435	2248	2520	768	995	792	1120	1360	875	376	912
256	363	528	4128	2195	1811	3688	1120	539	424	467	648	432	1323	795
363	288	400	2411	675	1320	2675	995	627	480	376	1488	304	1091	1056
544	299	627	1811	840	1803	1547	904	760	808	448	1168	480	1955	936

Çizelge 6.22. IBM'in, 1962 – 1964 yılları arasındaki hisse senedi kapanış değerleri (devam)

491	347	507	3160	888	1539	3520	875	699	843	520	1024	280	904	675
299	267	299	2880	1875	1299	2643	963	648	819	448	448	491	760	675
315	280	424	1227	947	843	1176	1272	600	480	456	600	435	1096	672
435	243	387	1168	947	1091	1992	899	456	675	432	648	371	1091	627
251	360	312	1187	2848	1456	3131	675	912	555	515	640	555	1480	544
251	184	456	3328	2771	2280	1728	723	627	515	336	611	627	1347	432
419	123	459	4384	1216	1467	1744	784	840	1296	328	568	544	1848	611
371	184	928	6675	1488	880	1272	579	568	1595	288	808	672	760	299
400	288	1632	6328	947	2136	1096	1048	448	1587	456	792	816	880	243
275	280	2344	4768	6603	2619	2171	2387	760	1235	448	808	867	1728	240
371	123	5315	2104	915	2440	2112	1120	899	928	552	904	576	843	339
408	195	2555	3059	1576	2051	1840	1536	840	1275	1067	707	1899	528	243
315	243	1360	3707	1288	2880	2080	880	603	827	843	600	899	779	448
243	160	779	3371	976	1416	1499	1803	808	648	579	840	760	1848	616
579	371	827	3792	1019	1848	936	1907	435	480	491	627	880	1331	480
736	160	1032	3227	1896	2832	1120	1547	1120	288	288	544	539	747	448
760	256	1600	2955	2344	1800	1595	1347	1024	760	360	387	603	707	600
640	240	1907	4083	1272	1299	2763	2472	747	1128	659	328	456	640	
507	184	1896	2824	888	1739	2139	2080	456	840	275	1083	664	539	
312	131	2728	1392	1803	635	1728	1264	419	851	552	1139	707	976	
256	347	1683	2584	1296	1179	2656	1211	720	696	448	976	576	448	
251	328	880	2016	3304	1811	1752	851	395	635	336	360	603	520	
16	227	971	1624	2920	1360	1299	875	483	520	424	400	808	400	
432	435	731	1888	1248	1035	1288	928	347	867	528	816	1096	875	
280	371	395	3048	912	928	1755	659	456	600	648	528	2112	648	
256	912	1000	3312	2747	1259	2139	928	587	363	1179	507	1659	640	
208	648	2891	3299	2520	1379	1384	696	507	304	544	672	939	435	
227	912	4152	2104	947	976	1115	1587	459	587	779	816	640	424	
219	432	4299	1656	1227	2368	1475	736	408	539	672	1416	640	640	

Çizelge 6.22'deki veriler kullanılarak çizilen zaman serisi grafiği Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.17. Hisse senedi kapanış değerlerinin zaman serisi grafiği

Şekil 6.17'de görülen serinin, zaman serisi modelini belirleyebilmek amacıyla STATGRAPHICS 16 paket programının deneme sürümü kullanılmıştır.

İlgilenilen serinin, zaman serisi modeli belirlenmek istenildiğinden programda Şekil 6.18'deki gibi ARIMA seçeneği seçilmiştir.

Şekil 6.18. ARIMA modelinin tahmini

Şekil 6.18'e göre elde edilen uygun model sonuçları Çizelge 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.23. Zaman serisi model karşılaştırma sonuçları

Model	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC	HQC	SBIC
ARIMA(1,0,1)	648,83	383,53	43,528	70,962	-15,14	12,958	12,965	12,975
ARIMA(0,0,1)	653,82	396,31	47,489	0,6365	-23,90	12,970	12,973	12,978

Çizelge 6.23'deki modellerden, literatürde model seçim kriterlerinden en yaygın olarak kullanılan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değeri en küçük olan ARIMA(1,0,1) modeli seçilmiştir.

IBM'in hisse senedi kapanış değerleri için zaman serisi, ARIMA(1,0,1) olarak belirlendikten sonra, ilgili modelin katsayılarının bulunabilmesi için MINITAB 18 yazılımından yararlanılmıştır. Zaman serisine ilişkin katsayılar Şekil 6.19'daki gibi girilmiş ve analiz gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.19. ARIMA(1,0,1) modelinin katsayılarının belirlenmesi

Yapılan analiz sonucunda IBM'in hisse senedi kapanış değerlerine ilişkin ARIMA(1,0,1) zaman serisi modeli,

$$z_t - 0,9657z_{t-1} = a_t - 0,4288a_{t-1} \quad (6.5)$$

Denklem 6.5’te verilmiştir. ARIMA (1,0,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi Çizelge 6.24’de verilmiştir.

Çizelge 6.24. ARIMA (1,0,1) modelinin katsayılarının tutarlılık testi

	<b>Katsayı değeri</b>	<b>Standart Hata</b>	<b>T - değeri</b>	<b>P - değeri</b>
<b>AR 1</b>	0,9657	0,0128	75,58	0,000
<b>MA 1</b>	0,4288	0,0443	9,68	0,000

Çizelge 6.24’ten de görüldüğü gibi modelin AR ve MA katsayılarının anlamlı çıkması modelin kullanılabilceği anlamına gelmektedir.

Çalışmada bir önceki uygulamada olduğu gibi, 2 düzeyli 2 faktör TFT için ( $2^2$ ) ve 4 merkez nokta (center point) olmak üzere 3 tekrarlı toplam 16 deneyden oluşan bir deney planı oluşturulmuştur. Sürece, zaman serisi modeline uygun bir yumru sinyal ekleneceğinden dolayı bu sinyalin büyüklüğü çalışmanın bu kısmında “Bump Size, BS” olarak ifade edilecektir. DT’de, H ve BS faktörleri için literatürde de kullanılan en düşük 0,5 ve en yüksek 3,5 değerleri dikkate alınmıştır. Bu değerler ve Denklem 6.5’teki zaman serisi modelinin katsayıları dikkate alınarak, yumru sinyali için DR ve FA yanıt değerleri, SAS paket programının üniversite eğitim (SAS University Edition) versiyonu kullanılarak benzetim yardımıyla hesaplanmıştır. Tasarımda kullanılan 2 faktör (H ve BS) ve düzeyleri Çizelge 6.25’te verilmiştir.

Çizelge 6.25. TFT deney planı için faktörler ve düzey değerleri

<b>FAKTÖRLER</b>	<b>Düşük Değer</b>	<b>Merkez (Orta) Değer</b>	<b>Yüksek Değer</b>
H	0,5	2	3,5
SS	0,5	2	3,5

Çizelge 6.25’teki değerler dikkate alınarak, 2 düzeyli 2 faktör ( $2^2$ ), 4 merkez nokta ve 3 tekrar olmak üzere toplam 16 deneyden oluşan TFT deney planı Çizelge 6.26’da verilmiştir.

Çizelge 6.26. TFT deney planı

Deney Numarası	Faktör 1 H	Faktör 2 BS	Yanıt 1 DR	Yanıt 2 FA
1	1	2,5	0,9895	0,5521
2	2	2	0,9437	0,9505
3	2	2	0,9321	0,9466
4	1,5	2,5	0,9948	0,5631
5	1,5	1,5	0,8633	0,3944
6	2	2	0,9489	0,9458
7	1,5	1,5	0,8592	0,3802
8	2	2	0,9435	0,9567
9	1,5	1,5	0,8539	0,3824
10	2,5	1,5	0,6486	0,161
11	2,5	1,5	0,6701	0,1682
12	2,5	2,5	0,9807	0,3844
13	1,5	2,5	0,9912	0,5596
14	2,5	2,5	0,9814	0,3928
15	2,5	2,5	0,9825	0,3865
16	2,5	1,5	0,6598	0,1593

DR ve FA yanıtlarına ilişkin istatistiksel analizler Design Expert 10 paket programı kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerden birisi olan ANOVA, geri eleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

DR yanıtı için el edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.27’de verilmiştir.

Çizelge 6.27. DR yanıtı için ANOVA tablosu

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,22	3	0,072	1781,09	< 0.0001	significant
A-H	0,033	1	0,033	818,66	< 0.0001	
B-Bump Size	0,16	1	0,16	3858,97	< 0.0001	
AB	0,027	1	0,027	665,65	< 0.0001	
Curvature	0,014	1	0,014	356,25	< 0.0001	
Pure Error	4,427E-004	11	4,025E-005			
Cor Total	0,23	15				

Yapılacak deneylerde deney sayısını belirlerken, faktörlerin etkilerinin doğrusal (linear), karesel (quadratic) vb. bir yapıya uygun olması durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle kullanılacak en iyi modelin seçilmesine dikkat edilmelidir. Çizelge 6.27’de de görüldüğü gibi; modele H, BS ana faktörleri ile bunların bileşik etkisi de dâhil edilmiştir. Modelin F değerinin  $1781,09 > 0,05$  den büyük olması yani  $Prob > F$  değerinin  $0,05$  den küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. ANOVA tablosunda eğrisellik (curvature) teriminin F değerinin  $356,25$  ve p değerinin  $< 0,0001$  olması, modelin eğrisellik etkisi altında olduğunu ve modelde yer alan terimler haricinde karesel terimlerin de yer alması gerektiğini göstermektedir. Aynı durumun FA yanıtı için de geçerli olduğu belirlenmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda, eğrisel etkilerin anlamlı olduğu görülmüş, sürece ilişkin modelde ikinci ve daha yüksek dereceden terimlerin de yer alması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle YYY’nin sık kullanılan bir türü olan MKT deney stratejisinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Çalışmada, MKT ile ilgili deney planının oluşturulması ve analizlerinin gerçekleştirilmesi için de Design Expert 10 paket programı kullanılmıştır. MKT’de 2 düzeyli k faktör için 2k kadar eksen ya da yıldız nokta gerekmektedir. Buna ek olarak tasarımda merkez noktalar da yer almaktadır. Oluşturulan MKT deney planı Çizelge 6.28’de verilmiştir. Kullanılan deney tasarımında  $2^2$  TFT için  $2*2=4$  eksen noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tasarımda 5 merkez nokta kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan MKT’de  $2^2=4$  noktaya ilave olarak, 4 eksen noktada 3 tekrar olmak üzere  $12+12=24$  deney ve 5 merkez nokta olmak üzere toplam 29 deney yer almaktadır.

Çizelge 6.28. MKT deney planı

<b>Deney Numarası</b>	<b>Faktör 1 H</b>	<b>Faktör 2 BS</b>	<b>Yanıt 1 DR</b>	<b>Yanıt 2 FA</b>
1	0,5	3,5	0,9999	0,7368
2	0,5	0,5	0,551	0,3954
3	3,5	0,5	0	0
4	3,5	2	0,802	0,1494
5	3,5	0,5	0	0
6	2	2	0,9386	0,3856
7	0,5	0,5	0,5497	0,3879
8	2	0,5	0,0025	0,0003
9	2	2	0,9389	0,3901
10	0,5	2	0,9894	0,6936

Çizelge 6.28. MKT deney planı (devam)

11	2	2	0,9395	0,3999
12	0,5	2	0,9896	0,6987
13	2	3,5	1	0,5694
14	3,5	2	0,7977	0,1437
15	0,5	3,5	0,9999	0,737
16	2	3,5	0,9998	0,5746
17	0,5	0,5	0,5577	0,4004
18	2	0,5	0,0017	0,0005
19	2	3,5	0,9999	0,5679
20	3,5	3,5	0,999	0,394
21	3,5	0,5	0	0
22	3,5	2	0,7965	0,1537
23	0,5	3,5	1	0,7419
24	2	0,5	0,0024	0,0007
25	3,5	3,5	0,9992	0,3952
26	0,5	2	0,9906	0,6998
27	2	2	0,9404	0,3966
28	2	2	0,9409	0,3995
29	3,5	3,5	0,9997	0,3916

Analizler sonucunda DR ve FA yanıtları için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 6.29 ve Çizelge 6.30'da verilmiştir.

Çizelge 6.29. MKT deney planındaki DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response 1		Detection_rate				
ANOVA for Response Surface Quadratic model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	4,23	5	0,85	142,41	< 0.0001	significant
A-H	0,28	1	0,28	46,66	< 0.0001	
B-Bump_size	2,99	1	2,99	502,82	< 0.0001	
AB	0,23	1	0,23	38,49	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	0,027	1	0,027	4,50	0,0449	
B <sup>2</sup>	0,73	1	0,73	123,48	< 0.0001	
Residual	0,14	23	5,940E-003			
Lack of Fit	0,14	3	0,046	15459,74	< 0.0001	significant
Pure Error	5,889E-005	20	2,945E-006			
Cor Total	4,37	28				



Çizelge 6.30. MKT deney planındaki FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response		2		False_alarm		
Transform:		Square Root		Constant: 0,5		
ANOVA for Response Surface Quadratic model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,53	5	0,11	89,36	< 0.0001	significant
A-H	0,24	1	0,24	202,65	< 0.0001	
B-Bump_size	0,27	1	0,27	225,15	< 0.0001	
AB	3,791E-003	1	3,791E-003	3,18	0,0877	
A <sup>2</sup>	8,439E-003	1	8,439E-003	7,08	0,0140	
B <sup>2</sup>	0,013	1	0,013	10,63	0,0034	
Residual	0,027	23	1,192E-003			
Lack of Fit	0,027	3	9,103E-003	1800,33	< 0.0001	significant
Pure Error	1,011E-004	20	5,056E-006			
Cor Total	0,56	28				

Her iki yanıt değeri için de kullanılması düşünülen modellerin Prob>F değerleri <0,0001 çıkmasına yani modeller anlamlı olmasına rağmen, modellerin uyumsuzluk (Lack of Fit) değerleri de anlamlı (<0,0001) çıkmıştır. Bu durum, deney planındaki bazı deneylerde “0” ve “1” değerlerinin yoğun olarak gözlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Faktör düzeyleri için yeniden araştırma yapılarak Çizelge 6.31’deki faktör düzeyleri ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 6.31. MKT deney planı için faktörler ve yenilenen düzey değerleri

FAKTÖRLER	(-) Eksen	Düşük	Merkez (Orta)	Yüksek	(+) Eksen
H	1,16	1,5	2	2,5	2,84
BS	1,16	1,5	2	2,5	2,84

Çizelge 6.31 dikkate alınarak oluşturulan yeni MKT deney planı Çizelge 6.32’de verilmiştir.

Çizelge 6.32. Yenilenen MKT deney planı

Deney Numarası	Faktör 1 H	Faktör 2 BS	Yanıt 1 DR	Yanıt 2 FA
1	1,5	1,5	0,8439	0,3876
2	1,5	1,5	0,8395	0,3916
3	1,5	1,5	0,8411	0,3824
4	2,5	1,5	0,6798	0,1597
5	2,5	1,5	0,6684	0,1616
6	2,5	1,5	0,6582	0,1675
7	1,5	2,5	0,9952	0,5594
8	1,5	2,5	0,9928	0,5637
9	1,5	2,5	0,9922	0,5598
10	2,5	2,5	0,9848	0,3785
11	2,5	2,5	0,9901	0,3959
12	2,5	2,5	0,9886	0,3888
13	1,15911	2	0,9776	0,5747
14	1,15911	2	0,9793	0,5692
15	1,15911	2	0,9782	0,5651
16	2,8409	2	0,8749	0,2368
17	2,8409	2	0,8746	0,2355
18	2,8409	2	0,8656	0,2501
19	2	1,15911	0,4956	0,1847
20	2	1,15911	0,4913	0,1715
21	2	1,15911	0,4893	0,1611
22	2	2,8409	0,9970	0,5003
23	2	2,8409	0,9874	0,5093
24	2	2,8409	0,9914	0,5105
25	2	2	0,9462	0,3938
26	2	2	0,9418	0,3944
27	2	2	0,9513	0,3959
28	2	2	0,9391	0,3932
29	2	2	0,9450	0,3971

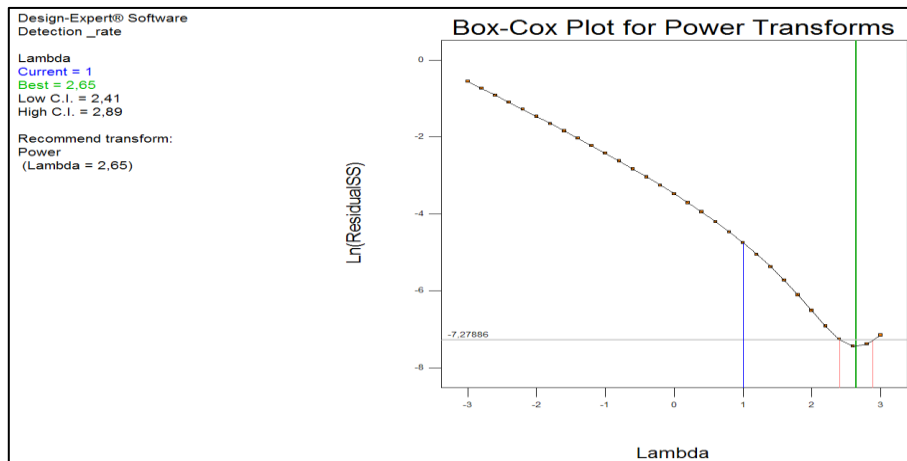
Çizelge 6.32'deki deney planında standart numarası 1 olan deneyden 12 numaralı deneye kadar olan deneyler  $2^2$  tam faktöriyel tasarımın 3 tekrara ait deneyleri göstermektedir. 13 numaralı deneyden 24 numaralı deneye kadar olan 12 deney ise MKT'de yer alan (-) ve (+) eksen noktalarını ifade etmektedir. 25 ile 29 numaralı deneyler arasındaki son 5 deney ise merkez noktada gerçekleştirilen tekrar deneyleridir.

29 deney sonucunda elde edilen DR yanıt değerleri Denklem 6.6'daki gibi karesel bir modele uydurulmuştur.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{j>i}^n \sum_{i=1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (6.6)$$

Denklem 6.6'daki karesel model n tane değişkenin doğrusal etkilerini, karesel etkilerini ve aralarındaki etkileşimlerini dikkate alan bir modeldir. Bu modelde  $\beta_i$  parametresi faktörlerin ana etkilerini göstermektedir. Bu etki doğrusallık anlamına gelmektedir.  $\beta_{ii}$  parametresi ise, eğrinin şeklini ifade etmektedir. Bu etki de karesel etki anlamına gelmektedir.  $\beta_{ij}$  parametresi ise, i ve j değişkenleri arasındaki etkileşimin etkisini göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ve regresyon analizi ile de ikinci derece modeldeki katsayılar tahmin edilerek regresyon denklemi oluşturulmaktadır. Oluşturulan denklem yardımı ile yanıtlar için tahmin sonuçları elde edilerek, tahminlerin doğruluğu ve modelin tahmin etmede yeterli olup olmadığı kontrol edilmektedir.

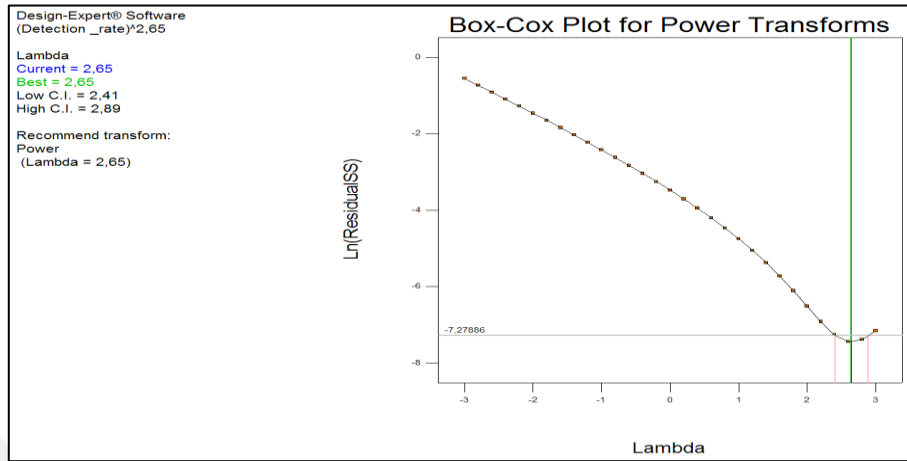
Analizde kullanılacak değerlerde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç olup olmadığı durumu Box–Cox analizi ile araştırılmıştır. DR yanıtı için oluşturulan Box–Cox grafiği Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.20. DR yanıtı için Box–Cox grafiği

Artıkların kareler toplamının doğal logaritması alınarak oluşturulan bu eğrinin en küçük noktası en iyi lamda değerini göstermektedir. Şekil 6.20'den de görüldüğü gibi, lambda değerinin 1 ve en iyi değer tahmin aralığı sınırları içinde olmadığı görülmektedir. Bu durum, kullanılacak değerlerde bir dönüşüme gerek olduğunu göstermektedir. Programın önerdiği “Lambda=2,65” Power dönüşümü değerlere uygulanmış, dönüşümden sonra en iyi

değerin güven sınırları içerisinde yer aldığını gösteren Box–Cox grafiği Şekil 6.21’de verilmiştir.



Şekil 6.21. DR yanıtı için yenilenen Box–Cox grafiği

DR yanıtı için sonuçlar analiz edildiğinde ilgili yanıt için Çizelge 6.33’teki gibi yüksek  $R^2$ , düşük standart sapma değerlerine sahip karesel model önerilmiştir.

Çizelge 6.33. DR yanıtı için model seçimi

Lack of Fit Tests						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Linear	0,35	6	0,058	684,32	< 0.0001	
2FI	0,29	5	0,059	688,72	< 0.0001	
<u>Quadratic</u>	<u>7,036E-004</u>	<u>3</u>	<u>2,345E-004</u>	<u>2,76</u>	<u>0,0690</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	6,433E-004	1	6,433E-004	7,57	0,0123	Aliased
Pure Error	1,700E-003	20	8,499E-005			

\*Lack of Fit Tests\*: Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0,12	0,8439	0,8319	0,8034	0,44	
2FI	0,11	0,8689	0,8532	0,8345	0,37	
<u>Quadratic</u>	<u>0,010</u>	<u>0,9989</u>	<u>0,9987</u>	<u>0,9983</u>	<u>3,787E-003</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	0,011	0,9990	0,9986	0,9980	4,409E-003	Aliased

DR yanıtı için elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.34'de verilmiştir.

Çizelge 6.34. DR yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response	1	Detection_rate				
Transform:	Power	Lambda:	2,65	Constant:	0	
<b>ANOVA for Response Surface Quadratic model</b>						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	2,24	5	0,45	4294,40	< 0.0001	significant
A-H	0,16	1	0,16	1546,36	< 0.0001	
B-Bump_size	1,73	1	1,73	16592,87	< 0.0001	
AB	0,056	1	0,056	538,70	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	4,521E-003	1	4,521E-003	43,27	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	0,24	1	0,24	2260,69	< 0.0001	
Residual	2,403E-003	23	1,045E-004			
Lack of Fit	7,036E-004	3	2,345E-004	2,76	0,0690	not significant
Pure Error	1,700E-003	20	8,499E-005			
Cor Total	2,25	28				

Çizelge 6.34'deki modelin F değerinin 4294,4 ve Prob>F değerinin <0,05 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Model terimlerinin Prob>F değerlerine bakıldığında A (H), B (BS), AB (H\*BS), A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> faktörlerinin kritik olduğu görülmektedir. Burada A, B ana etkileri, AB, A ve B terimlerinin etkileşim etkisini, A<sup>2</sup> ve B<sup>2</sup> terimleri de A ve B terimlerinin karesel etkilerini göstermektedir. Model için gerçekleştirilen uyumsuzluk testi sonucunda Prob > F değerinin >0,05 olması nedeniyle anlamsız çıkmaktadır. Bu istenen bir durumdur.

Modele ait R<sup>2</sup> değerleri Çizelge 6.35'te verilmiştir. Modelin R<sup>2</sup> değeri 0,9989 ile 1 değerine oldukça yakın çıkmıştır. R<sup>2</sup> değeri modelin, %99,89 oranında veriler tarafından açıklanabildiği anlamına gelmektedir. Adj-R<sup>2</sup> ve Pred-R<sup>2</sup> değerleri de R<sup>2</sup> değerine yakın ve yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.35. DR yanıtı için R<sup>2</sup> değerleri

<b>R-Squared</b>	0,9989
<b>Adj R-Squared</b>	0,9987
<b>Pred R-Squared</b>	0,9983

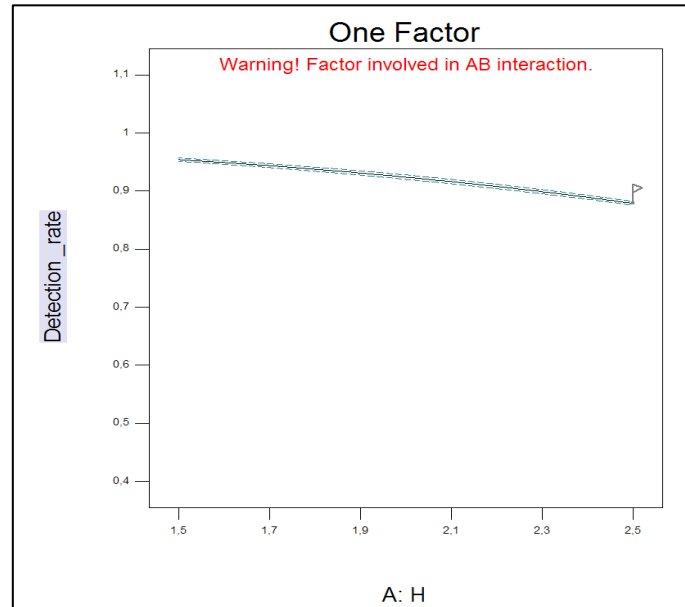
DR yanıtı için regresyon modeli,

$$(DR)^{2,65} = -0,62309 - (0,46697*A) + (1,60625*B) + (0,27397*A*B) - (0,057583*A^2) - (0,41622*B^2) \quad (6.7)$$

Denklem 6.7’de verilmiştir.

Faktörlerin diğer faktörler en iyi düzeylerindeyken DR yanıtına etkisi, ana faktör etkileri grafikleri kullanılarak incelenmiştir.

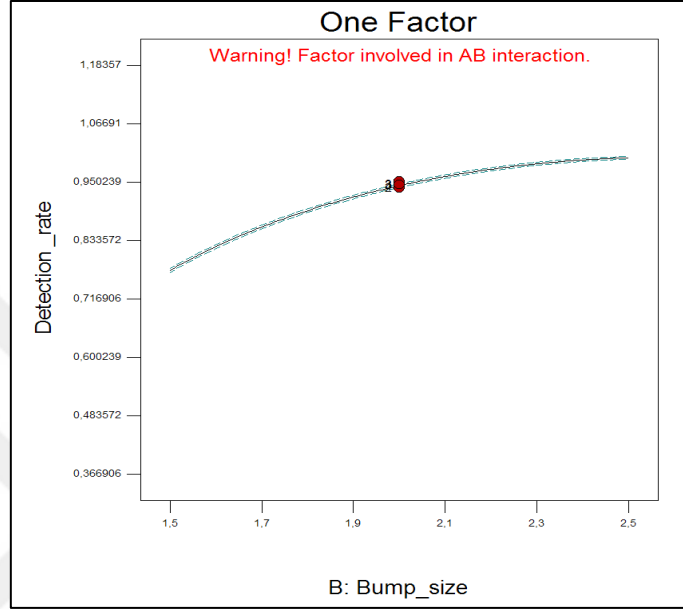
H faktörünün DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22. H faktörünün DR yanıtına etkisi

Şekil 6.22'den de görüldüğü gibi, H değeri arttıkça DR yanıt değeri azalmaktadır. Ayrıca Şekil 6.22'de, H faktörünün etkileşimde olduğu uyarısı da yapılmaktadır.

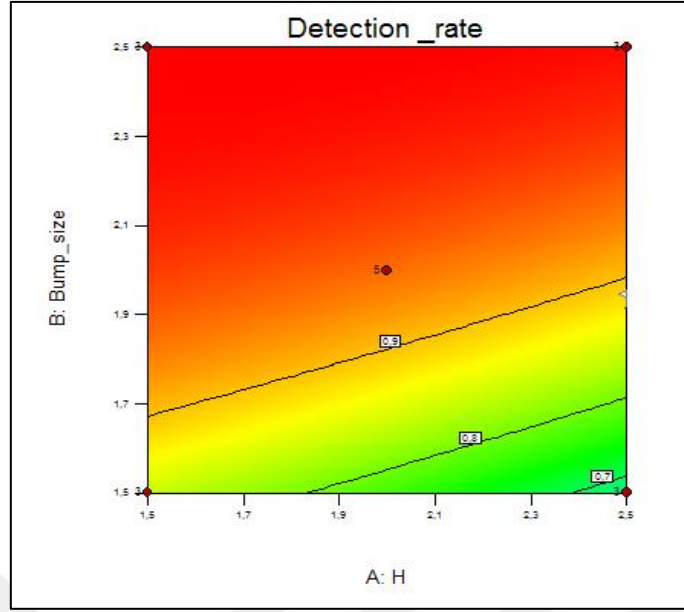
BS faktörünün DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.23'te verilmiştir.



Şekil 6.23. BS faktörünün DR yanıtına etkisi

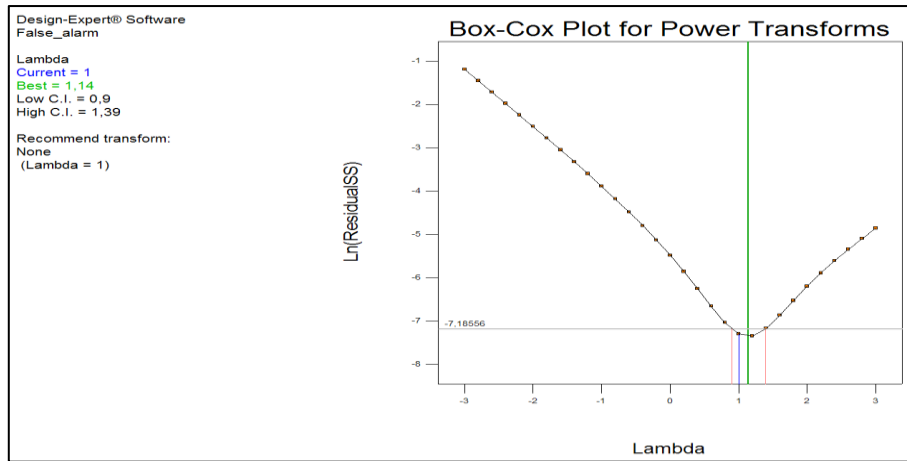
Şekil 6.23'te de görüldüğü gibi, BS değeri arttıkça DR yanıt değeri artmaktadır. Grafikte doğru yerine bir eğrinin olması BS faktörünün karesel etkisinin de anlamlı olduğunu göstermektedir. BS ana faktör grafiğindeki eğrinin eğiminin H ana faktör grafiğindeki eğrinin eğiminden fazla olması BS faktörünün H faktörüne göre daha kritik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, BS faktörünün etkileşimde olduğu uyarısı da yapılmaktadır.

H\*BS etkileşiminin DR yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.24'de verilmiştir. Şekil 6.24'den de görüldüğü gibi H değerinin en küçük, BS değerinin en büyük olduğu durumda DR yanıt değeri en büyük değerini almaktadır.



Şekil 6.24. H\*BS etkileşiminin DR yanıtına etkisi

FA yanıtı için sonuçlar DR yanıtına benzer bir şekilde analiz edilebilir. Analizde kullanılacak değerlerde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç olup olmadığı DR yanıtındaki gibi Box–Cox analizi ile araştırılmıştır. FA yanıtı için oluşturulan Box–Cox grafiği Şekil 6.25’te verilmiştir.



Şekil 6.25. FA yanıtı için Box–Cox grafiği

Şekil 6.25’te de görüldüğü gibi, artıkların kareler toplamının doğal logaritması alınarak oluşturulan bu eğrinin en küçük noktası en iyi lambda değerini göstermektedir. Ayrıca, lambda değerinin 1 ve en iyi değerinin tahmin aralığı sınırları içinde olduğu



görülmektedir. Bu durumda, değerlerde herhangi bir dönüşüme gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

FA yanıtı için sonuçlar analiz edildiğinde Çizelge 6.36'daki gibi yüksek  $R^2$ , düşük standart sapma değerlerine sahip karesel model önerilmiştir.

Çizelge 6.36. FA yanıtı için model seçimi

<b>Lack of Fit Tests</b>						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Linear	0,021	6	3,533E-003	145,40	< 0.0001	
2FI	0,019	5	3,780E-003	155,58	< 0.0001	
<u>Quadratic</u>	<u>1,921E-004</u>	<u>3</u>	<u>6,403E-005</u>	<u>2,64</u>	<u>0,0779</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	1,369E-005	1	1,369E-005	0,56	0,4616	Aliased
Pure Error	4,860E-004	20	2,430E-005			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

<b>Model Summary Statistics</b>						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0,029	0,9641	0,9614	0,9535	0,028	
2FI	0,028	0,9679	0,9641	0,9581	0,025	
<u>Quadratic</u>	<u>5,430E-003</u>	<u>0,9989</u>	<u>0,9986</u>	<u>0,9982</u>	<u>1,094E-003</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	4,878E-003	0,9992	0,9989	0,9983	1,004E-003	Aliased

FA yanıtı için elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 6.37'de verilmiştir. Çizelge 6.37'deki modelin F değerinin 2899,79 ve Prob>F değerinin <0,05 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Model terimlerinin Prob>F değerlerine bakıldığında A (H), B (BS), AB ve B<sup>2</sup> faktörlerinin kritik olduğu görülmektedir. Burada A, B ana etkileri, AB bileşik etkiyi, B<sup>2</sup> terimi de B teriminin karesel etkisini göstermektedir. Model için gerçekleştirilen uyumsuzluk testi sonucunda Prob>F değerinin >0,05 olması nedeniyle anlamsız çıkmaktadır. Bu istenen bir durumdur.

Çizelge 6.37. FA yanıtına ilişkin ANOVA tablosu

Response 2		False_alarm				
ANOVA for Response Surface Reduced Quadratic model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,58	4	0,15	2899,79	< 0.0001	significant
A-H	0,28	1	0,28	5576,99	< 0.0001	
B-Bump_size	0,29	1	0,29	5696,70	< 0.0001	
AB	1,953E-003	1	1,953E-003	38,81	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	0,014	1	0,014	286,68	< 0.0001	
Residual	1,208E-003	24	5,033E-005			
Lack of Fit	4,389E-004	4	1,097E-004	2,85	0,0507	not significant
Pure Error	7,691E-004	20	3,846E-005			
Cor Total	0,59	28				

Modele ait  $R^2$  değerleri Çizelge 6.38’de verilmiştir. Modelin  $R^2$  değeri 0,9979 ile 1 değerine oldukça yakın çıkmıştır.  $R^2$  değeri modelin, %99,79 oranında veriler tarafından açıklanabildiği anlamına gelmektedir. Adj- $R^2$  ve Pred- $R^2$  değerleri de  $R^2$  değerine yakın ve yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.38. FA yanıtı için  $R^2$  değerleri

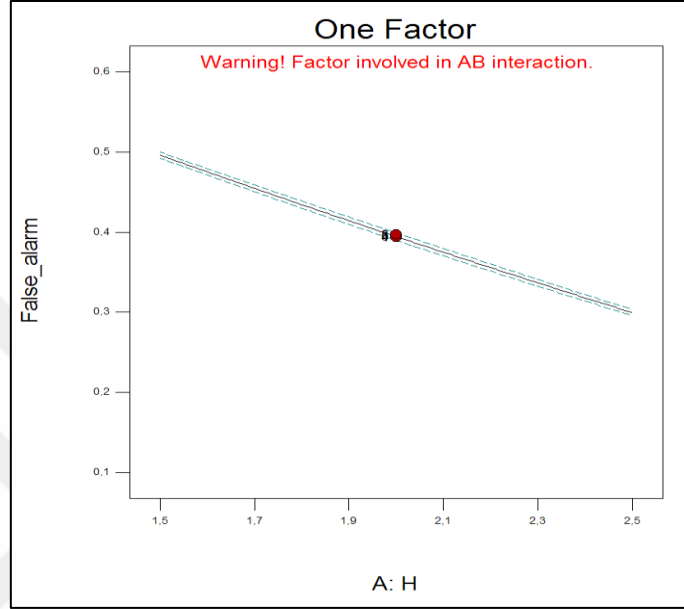
<b>R-Squared</b>	0,9979
<b>Adj R-Squared</b>	0,9976
<b>Pred R-Squared</b>	0,9969

FA yanıtı için regresyon modeli Denklem 6.8’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{FA} = & + 021475 - (0,30714 \cdot A) + (0,48389 \cdot B) \\
 & + (0,055333 \cdot A \cdot B) - (0,097506 \cdot B^2)
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

Faktörlerin diğer faktörler en iyi düzeylerindeyken FA yanıtına etkisi ana faktör etkileri grafikleri kullanılarak incelenmiştir.

H faktörünün FA yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.26'da verilmiştir.

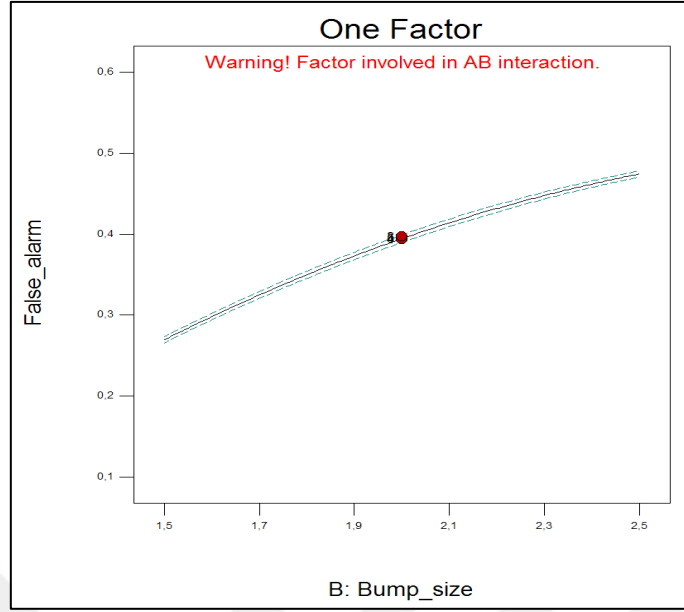


Şekil 6.26. H faktörünün FA yanıtına etkisi

Şekil 6.26'dan da görüldüğü gibi, H değeri arttıkça FA yanıt değeri azalmaktadır.

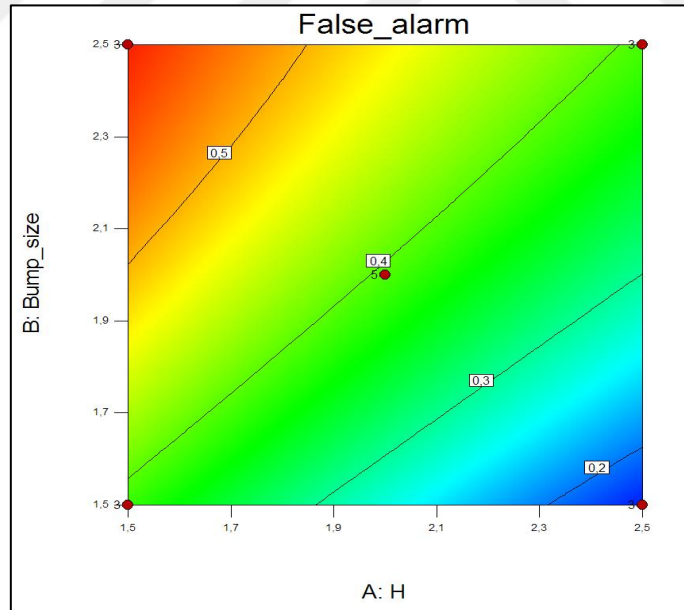
BS faktörünün FA yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.27'de verilmiştir. Şekil 6.27'den de görüldüğü gibi, BS değeri arttıkça FA yanıt değeri artmaktadır.

Grafikte doğru yerine bir eğrinin olması BS faktörünün karesel etkisinin de anlamlı olduğunu göstermektedir. Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'deki grafiklerde; eğrilerin eğimlerinin birbirlerine benzer olması, H ve BS faktörlerinin etkilerinin birbirine yakın ve kritik olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.27. BS faktörünün FA yanıtına etkisi

H\*BS etkileşiminin FA yanıtına etkisini gösteren grafik Şekil 6.28’de verilmiştir.



Şekil 6.28. H\*BS etkileşiminin FA yanıtına etkisi

Şekil 6.28’den de görüldüğü gibi, H değerinin en küçük, BS değerinin en büyük olduğu durumda FA yanıt değeri en büyük değerini almaktadır.

## İstek Fonksiyonları ile Eş Zamanlı Yerel Eniyileme

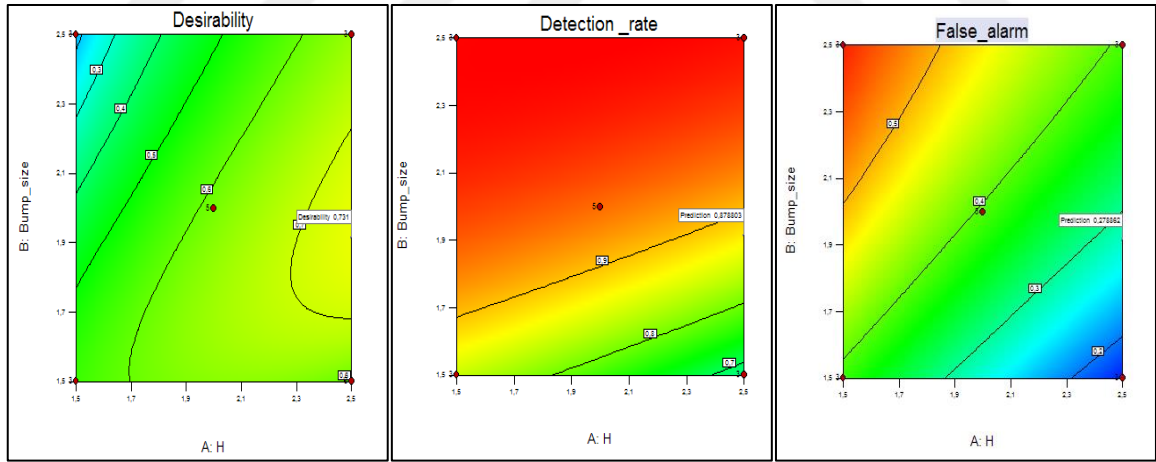
Bir önceki uygulama örneğinde olduğu gibi, çalışmada kullanılan DR ve FA yanıtlarının eş zamanlı olarak eniyilenmesi için İstek Fonksiyonları kullanılmıştır. Elde edilen yerel eniyi sonuçlar Çizelge 6.39’da verilmiştir.

Çizelge 6.39. DR ve FA yanıtları için elde edilen istek değerleri

Solutions						
Number	H	Bump_size	Detection_ra	False_alarm	Desirability	
1	<u>2.500</u>	<u>1.914</u>	<u>0.879</u>	<u>0.279</u>	<u>0.731</u>	<u>Selected</u>

1 Solutions found

Çizelge 6.39’da da görüldüğü gibi, DR ile FA yanıtlarının ağırlıkları eşit alınarak, 1 adet yerel eniyi çözüm elde edilmiştir. İlgili çözüme ait yüzey grafikleri Şekil 6.29’da verilmiştir.



Şekil 6.29. İstek değeri, DR ve FA yanıtları için yüzey grafikleri

Şekil 6.29’daki yüzey grafiklerine bakıldığında, H faktörünün düşük ve BS faktörünün yüksek düzey kesişimlerinde istek değerinin 1’e en yakın olduğu görülmektedir.

DR ve FA yanıtları için tahmin edilen değerler ve bunlara ait güven aralıkları Çizelge 6.40’da verilmiştir.

Çizelge 6.40. DR ve FA yanıtları için tahmin aralıkları

Response	Predicted		Std Dev	SE Mean	CI for Mean		99% Population	
	Mean	Median1			95% CI low	95% CI high	95% TI low	95% TI high
DR	0,8788	0,8782	0,00477	N/A	0,8754	0,8822	0,8594	0,8976
FA	0,2789	0,2789	0,00543	0,002	0,2751	0,2827	0,2572	0,3006

H=2,5 ve BS=1,914 değerleri kullanılarak benzetim kodları tekrar çalıştırılmış, bulunan DR=0,8812 ve FA=0,2807 değerlerinin, Çizelge 6.40'da verilen tahmin aralıkları içinde çıktığı görülmüştür.

İstek fonksiyonları kullanılarak her iki amacın (DR ve FA) farklı ağırlık değerleri için (w1, w2) yerel en iyi çözümler elde edilmiş, bu çözümler içerisinde programın önerdiği ilk çözüm değerleri Çizelge 6.41'de verilmiştir.

Çizelge 6.41. DR ve FA yanıtları için farklı ağırlık değerlerine göre istek değerleri

(DR için) w1	(FA için) w2	H	BS	DR	FA	D
5	1	2,5	2,5	0,991	0,393	0,859
4	2	2,5	2,187	0,949	0,340	0,768
3	3	2,5	1,914	0,879	0,279	0,731
2	4	2,5	1,695	0,791	0,220	0,745
1	5	2,5	1,508	0,679	0,164	0,825

Çizelge 6.41'de, DR ve FA yanıtlarının birbiriyle çelişen amaçlar olduğu görülmekte ve karar vericiye amaçların ağırlıklarına göre farklı çözümler sunmaktadır.

Örneğin, Çizelge 6.41'e göre DR yanıtının FA yanıtına göre çok önemli olduğu düşünülüyorsa, w1=5 ve w2=1 seçilerek istek değerinin 0,859 olduğu H ve BS kombinasyonu seçilebilir. Eğer her iki amacın da eşit ağırlıkta önemli olduğu düşünülüyorsa, bu sefer de w1=3 ve w2=3 seçilerek istek değerinin 0,731 olduğu H ve BS kombinasyonu seçilebilir. İki amacın da aynı ağırlık değerine sahip olduğu bu çözümde, H=2,5 ve BS=1,914

değerlerini almaktadır. Bu çözüm yerel eniyi çözümdür ancak bütünsel eniyi çözüm olduğu garanti edilemez.

DR yanıtını enbüyükleyen ve aynı zamanda FA yanıtını da enküçükleyen bütünsel eniyi bir çözüm bulmak istenilmiş, bunun için iki amaç arasındaki farkı enbüyükleyen tek bir amaç fonksiyonu kullanılarak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan model Şekil 6.30'da verilmiştir.

```

Model:
max=f1-f2;

f1= (- 0.62309 - (0.46697*H) + (1.60625*BS) + (0.27397*H*BS) - (0.057583*H^2) - (0.41622*BS^2))^(1/2.65);

f2= 0.21475 - (0.30714*H) + (0.48389*BS) + (0.055333*H*BS) - (0.097506*BS^2);

@free(f1);
@free(f2);

@BND(0,f1,1);
@BND(0,f2,1);

@BND(1.5,H,2.5);
@BND(1.5,BS,2.5);

END

```

Şekil 6.30. Oluşturulan matematiksel model

Şekil 6.30'daki modelde f1(DR) ve f2(FA) fonksiyonları bir olasılık değerine karşı geleceğinden bu fonksiyonların değerleri 0 ile 1 arasında olmalıdır.

Şekil 6.30'da da görüldüğü gibi, ilgili kısıtlar da modele eklenerek oluşturulan model, Lingo 11 paket programı kullanılarak çözdürülmüş ve elde edilen eniyi sonuç Şekil 6.31'de verilmiştir.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                0.6073272
Objective bound:                0.6073272
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         1
Total solver iterations:       85

```

Variable	Value	Reduced Cost
F1	0.9468322	-0.1757059E-06
F2	0.3395050	0.000000
H	2.500000	-0.1212871
BS	2.177707	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.6073272	1.000000
2	0.000000	0.9999998
3	0.000000	-1.000000

Şekil 6.31. Matematiksel modelin bütünsel eniyi çözümü

Bulunan çözüme göre  $H=2,5$  ve  $BS=2,178$  değerleri ile DR (F1) yanıt değeri 0,9468 ve FA (F2) yanıt değeri 0,3395 olarak hesaplanmıştır. DA ile FA yanıt değerlerinin farkı ise 0,6073 olarak bulunmuştur.

Bu çözümler, karar vericinin farklı amaçlar için bir aralık tanımlayabilmesine imkân sağlamamaktadır. Buna karşılık her bir hedefi hafife almayarak karar vericinin çok tercihli istek düzeylerini ayarlamasına imkân sağlayan bir eniyileme yöntemi olan ÇSKHP ile bütünsel eniyi çözümler elde edilmiş, sonuçlar izleyen bölümde tartışılmıştır.

Çalışmada Üstün'ün önerdiği (2012) ÇSKHP yöntemi kullanılarak oluşturulan model Şekil 6.32'de verilmiştir. Modelde, H ve BS aralığı literatürde daha önceden belirtildiği şekilde  $[0,5-3,5]$  olarak alınmıştır. Bu modelde karar vericinin istek sınırları da DR için  $[0,9-1]$ , FA için ise  $[0-0,20]$  aralığı olarak belirlenmiştir.



```

Model:
-1*((-0.62309-(0.46697*H)+(1.60625*BS)+(0.27397*H*BS)-(0.057583*H^2)-(0.41622*BS^2))^(1/2.65))-d12+d11=y1;

0.21475-(0.30714*H)+(0.48389*BS)+(0.055333*H*BS)-(0.097506*BS^2)-d22+d21=y2;

y1>=-1;
y1<=-0.9;
y2<=0.2;
y2>=0;

min=0.99*d12-0.01*d11+0.99*d22-0.01*d21;

f1=(-0.62309-(0.46697*H)+(1.60625*BS)+(0.27397*H*BS)-(0.057583*H^2)-(0.41622*BS^2))^(1/2.65);
f2=0.21475-(0.30714*H)+(0.48389*BS)+(0.055333*H*BS)-(0.097506*BS^2);

@free(f1);
@free(f2);
@free(y1);
@free(y2);
@BND(0,f1,1);
@BND(0,f2,1);

@BND(0.5,H,3.5);
@BND(0.5,SS,3.5);

END

```

Şekil 6.32. DR ve FA yanıtları için oluşturulan ÇSKHP modeli

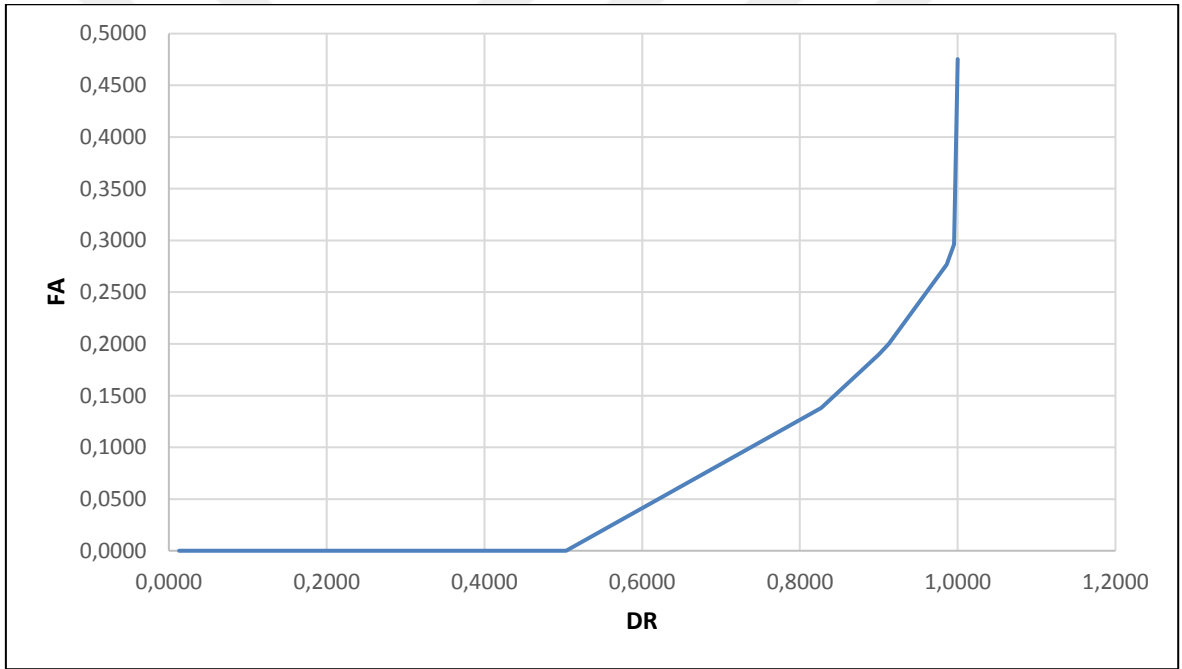
Şekil 6.32'deki model kullanılarak; farklı  $\beta$ ,  $w1$  ve  $w2$  değerleri için elde edilen etkin çözümler Çizelge 6.42'de verilmiştir.

Çizelge 6.42. Farklı  $\beta$ ,  $w1$  ve  $w2$  değerleri için elde edilen etkin çözümler

$\beta$	$w1$	$w2$	$\beta - w1$	$\beta + w1$	$\beta - w2$	$\beta + w2$	DR	FA	H	BS
0	0	1	0	0	-1	1	0,0130	0,000	2,998	1,3667
0,09	0,1	0,9	-0,01	0,19	-0,81	0,99	0,5035	0,000	3,500	1,6719
0,19	0,2	0,8	-0,01	0,39	-0,61	0,99	0,8271	0,138	3,500	2,1201
0,29	0,3	0,7	-0,01	0,59	-0,41	0,99	0,9000	0,190	3,500	2,3333
0,39	0,4	0,6	-0,01	0,79	-0,21	0,99	0,9000	0,190	3,500	2,3333
0,49	0,5	0,5	-0,01	0,99	-0,01	0,99	0,9125	0,200	3,500	2,3799
0,39	0,6	0,4	-0,21	0,99	-0,01	0,79	0,9125	0,200	3,500	2,3799
0,29	0,7	0,3	-0,41	0,99	-0,01	0,59	0,9125	0,200	3,500	2,3799
0,19	0,8	0,2	-0,61	0,99	-0,01	0,39	0,9861	0,277	3,500	2,8325
0,09	0,9	0,1	-0,81	0,99	-0,01	0,19	0,9953	0,296	3,500	3,0151
0	1	0	-1	1	0	0	1,0000	0,475	2,655	2,5695

Çizelge 6.42'deki ağırlıklar kullanılarak elde edilen etkin çözümlerin pareto yüzey grafiği Şekil 6.33'de verilmiştir. Çizelge 6.42'de gösterilen ilk satırdaki çözümde DR, son satırdaki çözümde ise FA yanıtının amaçları gözardı edilmektedir. Bu nedenle ilk satırda DR yanıtı için bulunan çözüm karar vericinin istediği aralığın dışında çıkmıştır.

Ağırlık değerlerinin eşit olduğu durumda  $H=3,5$  ve  $BS=2,3799$  değerleri için  $DR=0,91255$  ve  $FA=0,2$  bulunmuştur. Bu durum, istek seviyeleri dikkate alındığında Çizelge 41'deki eşit ağırlıklar için daha önceden hesaplanan istek değerlerinden daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır.  $H=2,5$  ve  $BS=2,187$  değerleri için Çizelge 6.41'de hesaplanan istek değerleri ile Şekil 6.30'daki matematiksel modelin çözümleri birbirine yakın çıkmıştır.



Şekil 6.33. Etkin çözümler için pareto yüzey grafiği

DR ve FA yanıtlarının birbiriyle çelişen amaçlar olduğu Şekil 6.33'ten de açıkça görülmektedir. DR yanıt değeri artarken FA yanıt değerinin de aynı oranda arttığı gözlenmektedir. FA yanıt değerinin artması ise istenmeyen bir durumdur. Ayrıca, FA yanıt değeri 0,5'e yaklaştıkça DR yanıt değeri de 1'e yaklaşmaktadır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, CuScore kontrol grafiklerinin H ve SigS gibi parametrelerinin eniyi değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla literatürde kullanılan sezgisel yaklaşıma karşı, sürece özel sinyallerin eklendiği durumdaki DR'yi enbüyükleyen, bu sinyallerin eklenmediği durumdaki FA'yı enküçükleyen sistematik bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk adımında, kimyasal bir süreçten elde viskozite değerleri kullanılarak bu değerlere uygun zaman serisi modeli, model seçim kriterleri de dikkate alınarak ARIMA(0,1,1) olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu zaman serisi modelinin katsayıları paket program yardımıyla belirlenerek, kimyasal sürecin zaman serisi modeli oluşturulmuştur. CuScore kontrol grafiğinin H ve SigS parametrelerinin eniyi değerlerini bulabilmek amacıyla DT'den yararlanılmıştır.

DT'de kullanılacak DR ve FA yanıt değerleri, CuScore kontrol grafiğinin parametrelerinin farklı düzeyleri için hesaplanan değerlerdir. Oluşturulan deney planında, TFT deney planı kullanılmıştır. Bu deney planında, H ve SigS faktörlerinin literatürde kullanılan düzeyleri dikkate alınarak uç sinyali için DR ve FA yanıt değerleri SAS programında oluşturulan benzetim kodlarıyla hesaplanmıştır. Olasılık değerleri, benzetim kodu çalıştırıldığında, her bir çevrimde hesaplanan CuScore istatistiğinin H değerini aşanların sayısının toplam çevrim sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Burada, CuScore istatistiğinin H değerinden büyük çıkması, sürece eklenen sinyalin tespit edildiği anlamındadır.

Yapılan ön denemeler sonucunda, H ve SigS faktörlerinin doğrusal etkilerinin yanısıra eğrisel etkilerinin de anlamlı olduğu görülmüş, sürece ilişkin modelde ikinci ve daha yüksek dereceden terimlerin de yer alması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle YYY'nin MKT deney stratejisinin kullanılmasına karar verilmiştir. MKT'ye göre yeniden bir deney planı oluşturularak DR ve FA yanıt değerleri benzetim kodları yardımıyla tekrar elde edilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen ikinci dereceden regresyon modelleri amaç fonksiyonlarını oluşturacak şekilde ödünleşik çözümler bulunmuştur. İstek fonksiyonları kullanarak DR ve FA yanıt değerlerinin farklı ağırlık değerlerine göre yerel eniyi çözümler elde edilmiştir.

DR'yi enbüyüklerken FA'yı enküçükleyen bütünsel eniyi bir çözüm bulabilmek amacıyla birbiriyle çelişen bu iki amaç arasındaki farkı enbüyükleyen tek bir amaç fonksiyonu oluşturulmuş ve bazı kısıtlar dikkate alınarak model çözdürülmüştür. Amaçların ağırlıklarının eşit olması durumunda bu modelden elde edilen ile istek fonksiyonları kullanılarak elde edilen çözümlerin aynı olduğu görülmüştür.

Matematiksel model ve istek fonksiyonlarının, farklı amaçlar için, karar vericinin bir aralık tanımlayabilmesine imkân vermemesinden dolayı farklı bir çözüm arayışına gidilmiştir. Bu amaçla, her bir hedefi hafife almayarak karar vericinin çok tercihli istek düzeylerini ayarlamasına olanak sağlayan ÇSKHP eniyileme yöntemi, diğer yöntemlere alternatif olarak sunulmuştur. Bu yöntemle, karar vericinin DR ve FA yanıt değerleri için bir aralık belirlemesi sağlanmış ve bütünsel eniyi çözümler elde edilmiştir.

ARIMA(0,1,1) zaman serisine uygun kimyasal sürece eklenen uç sinyal türü için yapılan bu çalışma, ARIMA(1,0,1) zaman serisine uygun finansal bir sürece eklenen yumru sinyal türü için de tekrarlanmış, benzer sonuçlar elde edilmiştir.

İzleyen çalışmalarda, farklı zaman serileri ve farklı özel sinyaller için eniyileme yapmak mümkündür. Ayrıca farklı eniyileme yöntemleri kullanılarak elde edilecek sonuçlar mevcut çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Akay, U., 2013, Tekstil Endüstrisindeki Atıksulardan Renk ve KOİ Gideriminin Yanıt Yüzey Yöntemi İle Eniyilenmesi, Yüksek lisans tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 90 s.
- Box G., Ramirez J., 1992, Cumulative Score Charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 8, p. 17-27
- Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., 2008, *Time Series Analysis*, Wiley & Sons, USA
- Capizzi, G., & Masarotto, G., 2010, Self-Starting CUSCORE Control Charts For Individual Multivariate Observations, *Journal of Quality Technology*, 42(2), p. 136-151
- Capizzi, G., & Masarotto, G., 2012), An Enhanced Control Chart For Start-Up Processes and Short Runs. *Quality Technology & Quantitative Management*, 9(2), p. 189-202
- Changpetch, P., & Nembhard, H.B., 2008, Periodic Cuscore Charts to Detect Step Shifts in Autocorrelated Processes, *Quality and Reliability Engineering International*, 24(8), p. 911-926.
- Chatfield, C., 2003, *The Analysis of Time Series: An Introduction*. CRC press
- Chang, C.T., 2007, Multi-Choice Goal Programming. *Omega*, 35(4), p. 389-396
- Chang, C.T., 2008, Revised Multi-Choice Goal Programming, *Applied Mathematical Modelling*, 32(12), p. 2587-2595
- Chen S., Nembhard H.B., 2011, Multivariate CuScore Control Charts for Monitoring The Mean Vector in Autocorrelated Processes, *IIE Transactions*, 43, p. 291-307
- Cornell, J.A., 1981, *Experiments With Mixtures: Designs, Models, and The Analysis of Mixture Data*, John Wiley & Sons, p. 1-4.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Deka S.D., Gogoi B., 2014, Cumulative Sum, Cumulative Score And Nonparametric Cusum Control Charts For Detecting Mean/Median Change, International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology, 2(1), p. 33-39
- Erbaş, S., O., Olmuş, H., 2006, Deney Düzenleri ve İstatistik Analizleri, Gazi Kitabevi, , s. 155-175
- Han D., Tsung F., 2005, Comparison of The CuScore, GLRT and CUSUM Control Charts for Detecting A Dynamic Mean Change, The Institute of Statistical Mathematics, 57(3), p. 531-552
- Han D., Tsung F., 2006, A Reference-Free CuScore Chart for Dynamic Mean Change Detection and a Unified Framework for Charting Performance Comparison, Journal of the American Statistical Association, 101 (473), p. 368-386
- Işığışok, E., 2012, Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol, Ezgi Kitabevi Yayınları, s. 199-334
- Işık A., 2006, İstatistik II, Beta Yayınevi, s. 427-490
- Kadılar C., 2005, SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş, Bizim Büro Basımevi, s. 187-263
- Luceno A., 1999, Average Run Lengths and Run Length Probability Distributions for CuScore Charts to Control Normal Mean, Computational Statistics & Data Analysis, 32, p. 177-195
- Luceno A., 2004, CUSCORE Charts to Detect Level Shifts in Autocorrelated Noise, Quality Technology & Quantitative Management, 1(1), p. 27-45
- Ma, Y. Z., Wu, F., & Liu, L. P., 2011, Cuscore Charts Detecting Spike Signals in Feedback Control Scheme, Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), IEEE 18Th International Conference, September, p. 1010-1013

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Montgomery D.C., Runger G.C., Hubele N.F., 2007, Engineering Statistics, John Wiley & Sons, p. 341-413
- Montgomery, D.C., 2012, Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, p. 478-553
- Montgomery D.C., 2009, Statistical Quality Control A Modern Introduction, John Wiley & Sons
- Myers R.H., Montgomery D.C., Cook C.M.A., 2016, Response Surface Methodology, Wiley & Sons, p. 341-342.
- Ncube M., Li K., 1999, An Ewma-CuScore Quality Control Procedure for Process Variability, Mathematical and Computer Modelling, 29, p. 73-79
- Nembhard H.B., Chen S., 2007, CuScore Control Charts for Generalized Feedback-Control Systems, Quality and Reliability Engineering International, 23, p. 483-502
- Nembhard H.B., Valverde-Ventura R., 2007, CuScore Statistics to Monitor a Non-stationary System, Quality and Reliability Engineering International, 23, p. 303-325
- Nembhard H.B., Changpetch P., 2007, Directed Monitoring using CuScore Charts for Seasonal Time Series, Quality and Reliability Engineering International, 23, p. 219-232
- Pan X., 2006, A Simple Method Using CuScore to Monitor Changes in ARMA Coefficients, Communications in Statistics-Simulation and Computation, 35, p. 515-530
- Pham H., 2006, Springer Handbook of Engineering Statistics, Springer, p. 249-261
- Ramirez J., 1998, Monitoring Clean Room Air Using CuScore Charts, Quality and Reliability Engineering International, 14, p. 281-289

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Runger, G.C., Testik, M.C., 2003, Control charts for monitoring fault signatures: Cuscore versus GLR, *Quality and Reliability Engineering International*, 19(4), p. 387-396.
- Shu L., Apley D.W., Tsung F., 2002, Autocorrelated Process Monitoring Using Triggered CuScore Charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 18, p. 411-421
- Singh S., Sonia S., 2017, Multi-Choice Programming: An Overview of Theories and Applications, *A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*, 66, p. 1713-1738
- Şenoğlu, B., Acıtaş, Ş., 2011, İstatistiksel Deneysel Tasarımı: Sabit Etkili Modeller, Nobel Akademik Yayıncılık, s.147
- Şenol, Ş., 2012, İstatistiksel Kalite Kontrol, Nobel Akademik Yayıncılık, 439 s.
- Taha, H.A., 2007, *Operations Research: An Introduction*, Pearson Education India, p. 333
- Üstün, Ö., 2007, Çok Amaçlı Portföy Optimizasyon Problemi ve Çözüm Yaklaşımları, Doktora tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 165 s.
- Üstün Ö., 2012, Multi-Choice Goal Programming Formulation Based on the Conic Scalarizing Function, *Applied Mathematical Modelling*, 36, 974-988
- Valverde-Ventura R., Nembhard H.B., 2008, Robustness Properties of CuScore Statistics for Monitoring a Nonstationary System, *Quality and Reliability Engineering International*, 24, p. 817-841
- Wheeler D.J., D.S. Chambers, 1992, *Understanding Statistical Process Control*, SPC Press
- Woodall W.H., Castillo E.D., 2014, An Overview of George Box's Contributions to Process Monitoring and Feedback Adjustment, *Applied Stochastic Models Business and Industry*, 30, p. 53-61



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Zhang, L., & Yang, J. F., 2010,. CUSCORE Control Chart for IMA(1,1) Process,  
In Management and Service Science (MASS) International Conference, August  
p. 1-4)

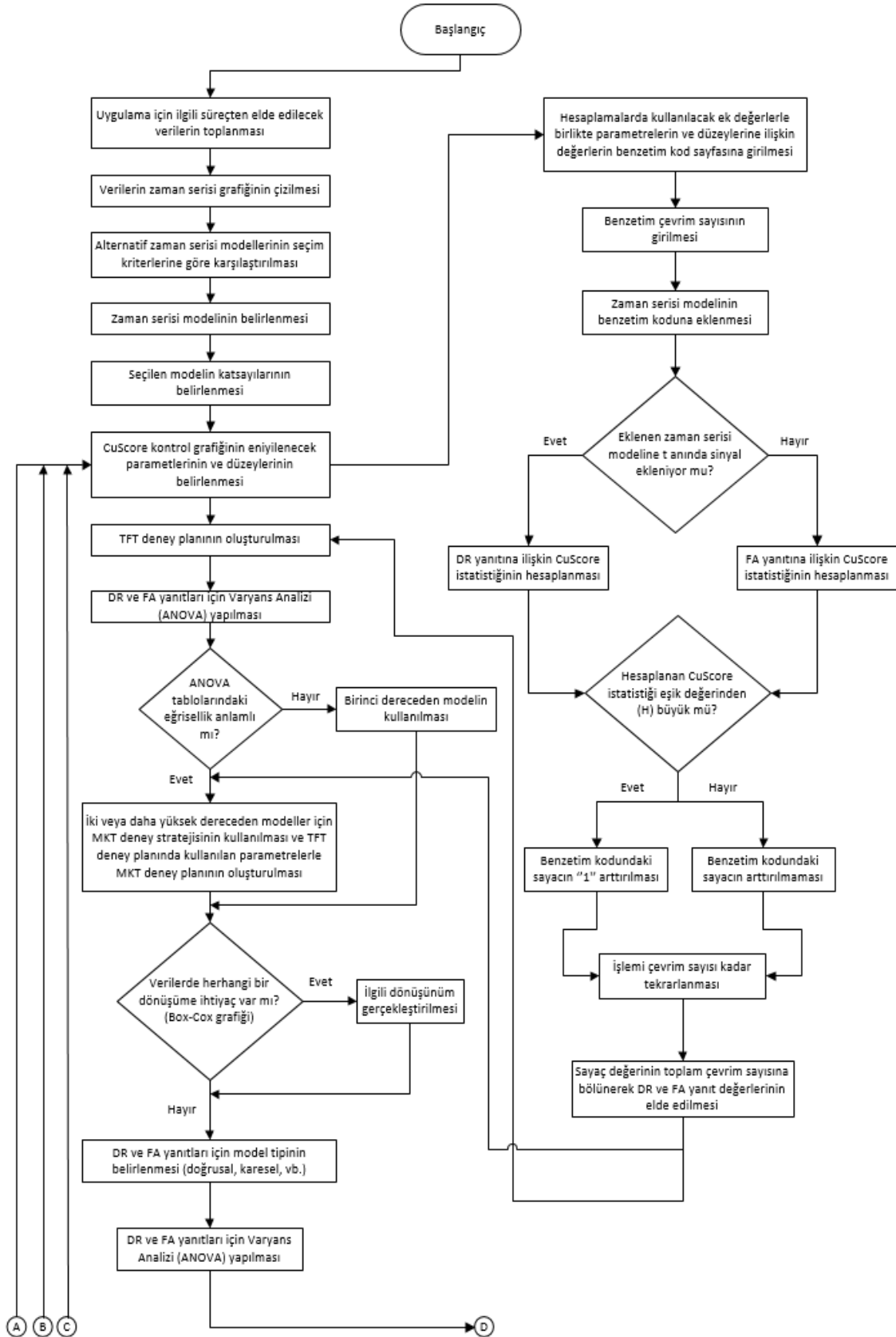


**EK AÇIKLAMALAR****Sayfa**

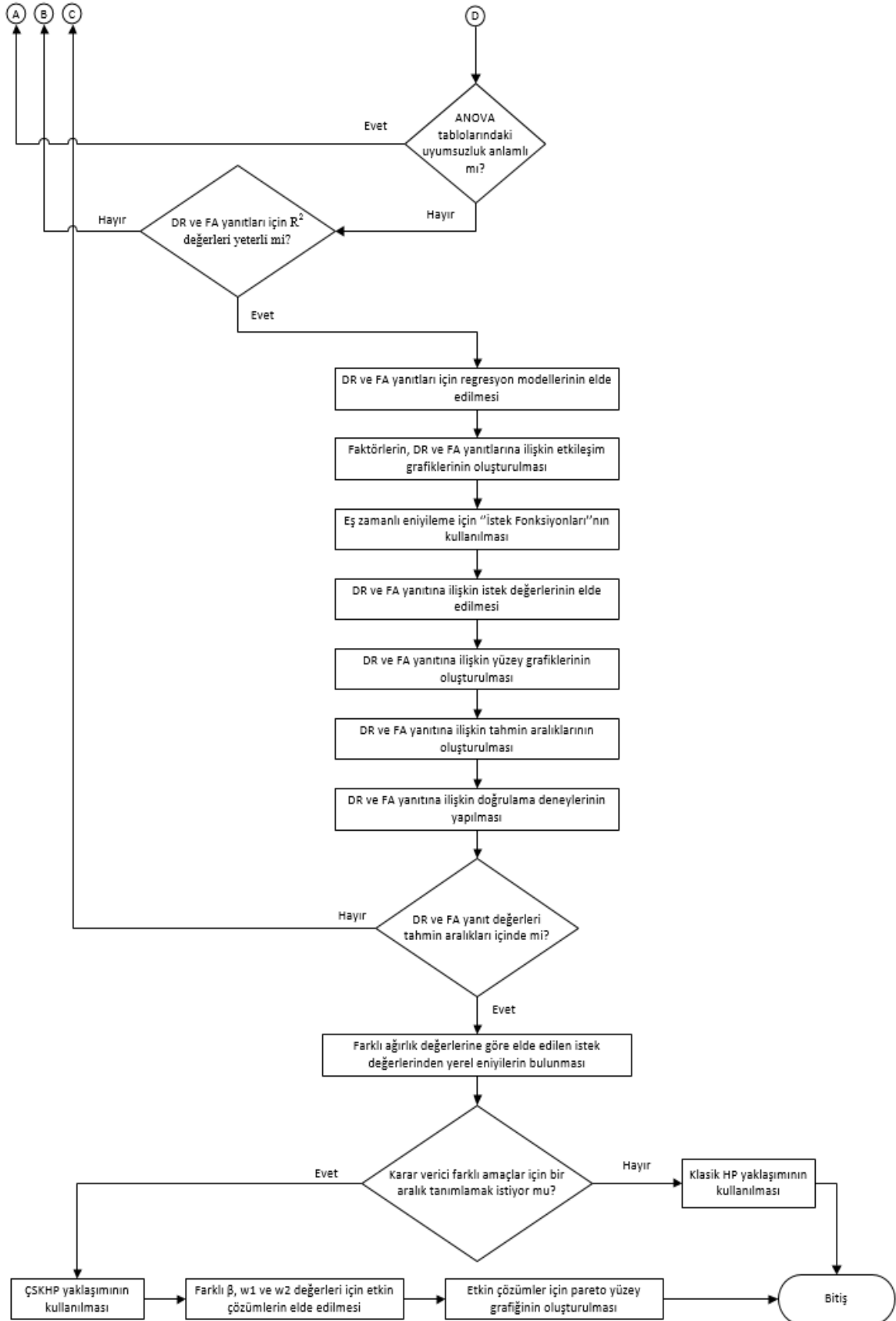
<b>Ek Açıklama –A : CuScore Kontrol Grafiği Parametrelerinin Eniyilenmesinde</b>	
<b>Kullanılan Akış Diyagramı .....</b>	<b>99</b>



## Ek Açıklama – A : CuScore Kontrol Grafiği Parametrelerinin Eniyilenmesinde Kullanılan Akış Diyagramı



**Ek Açıklama – A : CuScore Kontrol Grafiği Parametrelerinin Eniyilenmesinde Kullanılan Akış Diyagramı (devam)**



## ÖZGEÇMİŞ

23.10.1978 tarihinde Eskişehir’de dünyaya gelen Özgür Cem IŞIK; ilk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. 1996 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazanarak 2000 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2001 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi. 2002 yılında Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2005 yılında tamamladı. 2006 yılında doktora yapmak amacıyla Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik–Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne 35.madde ile görevlendirildi. Halen Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Özgür Cem IŞIK, evli ve bir çocuk babasıdır.