

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**HAZIR BETONUN OPTİMAL KARIŞIM ORANLARININ BELİRLENMESİ  
İÇİN BİR ÇOK YANITLI MODELLEME VE ENİYİLEME UYGULAMASI:  
TOPSIS TABANLI TAGUCHI YAKLAŞIMI İLE CEVAP YÜZEY YÖNTEMİ**

**Bariş ŞİMŞEK**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2014**

**Her hakkı saklıdır**

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

18.04.2014

Barış ŞİMŞEK

## ÖZET

Doktora Tezi

### HAZIR BETONUN OPTİMAL KARIŞIM ORANLARININ BELİRLEMESİ İÇİN BİR ÇOK YANITLI MODELLEME VE ENİYİLEME UYGULAMASI: TOPSIS TABANLI TAGUCHI YAKLAŞIMI İLE CEVAP YÜZEY YÖNTEMİ

Barış ŞİMŞEK

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Emir H. ŞİMŞEK  
Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Y. Tansel İÇ

Genellikle, eniyileme problemleri birbirleri ile çatışma içinde olan birden fazla yanıt içermektedir. Bu çalışmada; normal hazır betonun TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) tabanlı Taguchi yaklaşımı ile Cevap Yüzey Metodu kullanarak, optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve yanıtlar üzerinde etkili karışım parametreleri ile beton kalite karakteristiklerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Normal hazır betonun kalite karakteristikleri ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı, hava içeriği, çökme değeri, teorik ile pratik birim ağırlık farkı, su emme yüzdesi, iki günlük basınç dayanımı, yedi günlük basınç dayanımı, yirmi sekiz günlük basınç dayanımı, yirmisekiz günlük yarmada çekme dayanımı ve üretim maliyeti olarak belirlenmiştir. Bu performans kriterleri üzerinde etkili faktörler ise çimento miktarı, su bağlayıcı oranı, kırma kumun toplam agregaya oranı, I nolu iri agreganın toplam agregaya karışım oranı, süperakışkanlaştırıcı içeriği, uçucu kül miktarı, taze beton karıştırma süresi, polikarboksilat eter bazlı süper akışkanlaştırıcı tipi olarak tanımlanmıştır. Kurumda mevcut durum ile optimal koşullar arasındaki iyileşme oranının önemli düzeyde olduğu TOPSIS-Taguchi çok yanıtli eniyileme yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Yanıtlar üzerinde etkili olan faktörler ile beton kalite karakteristiği olarak tanımlanan tüm yanıtların cevap yüzey yöntemi kullanarak modellenmesi sağlanmıştır. Çökme değeri, 2 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı, 28 günlük çekmede yarma dayanımı ve üretim maliyeti için %95 güven seviyesinde modeller önemli bulunmuştur. Daha sonra kullanışlı olan modeller ile istenirlik fonksiyonu yaklaşımı ve karesel programlama yaklaşımları kullanılarak eniyileme çalışması yapılmıştır ve karesel programlamanın eniyileme çalışmasında daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak laboratuvar personeli için Matlab tabanlı grafiksel kullanıcı arayüzü inşa edilmiştir.

**Nisan 2014, 207 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Cevap Yüzey Yöntemi, Çok Yanıtlı Eniyileme, Hazır Beton, Konvektif Isı Aktarım Katsayısı, Modelleme, Taguchi Yöntemi, TOPSIS, Grafiksel Kullanıcı Arayüzü.

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### A MULTI-RESPONSE OPTIMIZATION AND MODELING APPLICATION FOR DETERMINING OPTIMAL MIX PROPORTIONS OF READY-MIXED CONCRETE: RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) WITH A TOPSIS BASED TAGUCHI APPROACH

Barış ŞİMŞEK

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Emir H. ŞİMŞEK  
Co-Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Yusuf T. İÇ

Generally, the optimization problems contain more than one response, which often conflict with each other. In this study, it was aimed to determine optimal mixture parameters of standard weight concrete and modeling the quality characteristics of concrete with mixture parameters effect on the responses using TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) based Taguchi approach and Response Surface Methodology (RSM). The quality criteria are identified as the average convective heat transfer coefficient, the percentage of air content, the slump flow, the theoretical and practical difference in unit weight, the percentage of water absorption, the 2<sup>nd</sup>- the 7<sup>th</sup>- the 28<sup>st</sup> compressive strength, the 28<sup>st</sup> splitting tensile strength, and the production cost. Factors affect these performance criteria were identified as cement amount, water to binder ratio, fine aggregate to total aggregate ratio, coarse aggregate (I) to total aggregate ratio, superplasticizer content, fly ash amount, mixture time and the superplasticizer type. The difference in the performance between the optimal conditions and the estimated conditions was found to be significant using TOPSIS-Taguchi method. All responses were defined as concrete quality criteria were modeled using RSM with factors affect the responses. The models were significant at %95 confidence level for the slump flow, the 2<sup>nd</sup>- 7<sup>th</sup>-28<sup>th</sup> compressive strength, the 28<sup>th</sup> splitting tensile strength and production cost. Optimization study was conduct by useful models utilizing desirability function approach and quadratic programming (QP). QP is more effective in the optimization study. Finally, The Graphical User Interface based MATLAB was built for laboratuary personels.

**April 2014, 207 pages**

**Key Words:** Response Surface Methodology, Multi-Response Optimization, Ready-Mixed Concrete, The Convective Heat Transfer Coefficient, Modelling, Taguchi Method, TOPSIS, Graphical User Interface.

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinde değerli bilgilerini ve kaynaklarını benimle paylaşan danışmanlarım Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Emir H. ŞİMŞEK ve Başkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğretim Görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Y. Tansel İÇ'e; çalışmalarım sırasında önemli katkılarda bulunan ve yönlendiren Çankaya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Sayın Prof. Dr. Taner ALTUNOK'a; çalışmalarım süresince manevi desteklerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Eski Başkanımız Sayın Prof. Dr. Taner TOĞRUL'a; grafiksel kullanıcı arayüzünün oluşturulmasında Aselsan A.Ş MGE0 Elektrik ve Elektronik Mühendisi Sayın Dr. Ali Bilge GÜVENÇ'e; çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen değerli OYAK Beton Genel Müdürü Sayın Ramazan YÜCEL'e; çalışmam süresince değerli bilgilerini ve imkanlarını benimle paylaşan başta Laboratuvar Sorumlusu Sayın Dursun KARADAĞ olmak üzere tüm OYAK Beton Ankara Laboratuvarı personeline, OYAK Çimento Grubu Bolu Laboratuvarı Üretim Müdürü Sayın Alihan DİNÇ'e; OYAK Çimento Grubu Bolu Laboratuvarı Beton Laboratuvarı Sorumlusu Sayın Erkan BEKTAŞ'a; değerli bilgi ve tecrübelerini aktaran OYAK Mardin Çimento Genel Müdür Yardımcısı Sayın Hüseyin UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi katkılarını benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması hayatım boyunca bana olan desteğini ve inancını hiç yitirmeyen sevgili babam merhum Muhammet Hanefi ŞİMŞEK'e ithaf edilmiştir.

Barış ŞİMŞEK

Ankara, Nisan 2014

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Taraması .....	4
1.1.1 Hazır beton optimal karışım oranları ile ilgili kaynaklar .....	4
1.1.2 Bütünleşik eniyileme yaklaşımı ile ilgili kaynaklar .....	14
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	16
2. KURAMSAL TEMELLER.....	18
2.1 Temel Kavramlar .....	18
2.1.1 Beton.....	19
2.1.2 Hazır beton .....	19
2.1.3 Taze ve sertleşmiş beton .....	19
2.1.4 Normal beton .....	20
2.1.5 Yüksek dayanımlı beton .....	20
2.1.6 Bir metreküp beton .....	20
2.1.7 Beton sıcaklığı.....	20
2.1.8 Kalite kavramı.....	21
2.1.9 Kalite iyileştirme .....	22
2.1.10 Kalite mühendisliği terimleri .....	22
2.1.11 Kalite karakteristikleri .....	23
2.2 Hazır Beton Bileşenleri.....	24
2.2.1 Agregası .....	24
2.2.2 Çimento .....	25
2.2.3 Karma suyu .....	27
2.2.4 Kimyasal katkıları .....	27
2.2.5 Mineral katkıları .....	32

2.3 Hazır Beton Üretimi.....	35
2.3.1 Agrega üretimi.....	36
2.3.2 Çimento üretimi .....	38
2.3.3 Çimento hidratasyonu .....	42
2.3.4 Süper akışkanlaştırıcıların etki mekanizması .....	45
2.4 Hazır Beton Özellikleri.....	46
2.4.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı .....	47
2.4.2 Akışkanlaştırma .....	47
2.4.3 Hava içeriği.....	48
2.4.4 Birim ağırlık .....	49
2.4.5 Dayanım .....	49
2.4.6. Dayanıklılık.....	49
2.4.7 Su emme oranı.....	50
2.4.8 Üretim maliyeti.....	51
2.5. Deney tasarımı.....	52
2.5.1 Deney tasarımı ilkeleri.....	54
2.5.2 Deney tasarımı aşamaları.....	55
2.5.3 Deney tasarım türleri.....	58
2.5.4 Deney tasarım uygulamaları .....	60
2.6 Taguchi Deney Tasarımı.....	61
2.6.1 Taguchi yöntemi felsefesi.....	62
2.6.2 Taguchinin kalite sistemi.....	63
2.6.3 Kayıp fonksiyonu .....	65
2.6.4 Performans karakteristiği (kalite karakteristiği).....	67
2.6.5. Performans istatistiği ve sinyal gürültü oranı .....	68
2.6.6 Ortogonal dizinler .....	69
2.6.7 Taguchi yönteminin uygulama adımları.....	71
2.6.7.1 Problemin tespiti ve ifade edilmesi .....	71
2.6.7.2 Kalite karakteristiklerinin tespiti .....	72
2.6.7.3 Kontrol ve gürültü faktörlerinin tespiti .....	72
2.6.7.4 Faktör düzeylerinin tespiti .....	73
2.6.7.5 Ortogonal dizinin seçimi.....	73
2.6.7.6 Deneyin yapılması .....	75
2.6.7.7 İstatistiksel analiz ve sonuçların yorumlanması .....	76

2.6.7.8 Deney doğrulaması.....	76
2.7 Cevap Yüzey Yöntemi.....	76
2.7.1 Cevap yüzey yönteminin uygulama adımları .....	78
2.7.2 Cevap yüzey modelleri.....	79
2.7.3 Cevap yüzey yöntemi ve merkezi karma tasarım .....	81
2.7.4 Cevap yüzey yöntemi analizi .....	82
2.7.4.1 Varyans analizi (ANOVA).....	83
2.7.4.2 Olasılık değeri (p-value) .....	83
2.7.4.3 Kodlama .....	83
2.7.4.4 Model uyumu için test.....	84
2.8 Çok Yanıtlı Eniyileme.....	85
2.8.1 Doğrusal olmayan programlama .....	86
2.8.1.1 Eniyileme bileşenleri .....	86
2.8.1.2 Dış bükey-iç bükey kavramı.....	87
2.8.1.3 Karesel programlama .....	87
2.8.2 İstenirlik (desirability) fonksiyonu yaklaşımı.....	88
2.8.3 TOPSIS yöntemi.....	90
2.9 Hipotez Testi .....	93
2.9.1 I. tip ve II. tip hatalar .....	95
2.9.2 Hipotez testine p-değeri yaklaşımı.....	97
2.9.3 Bilinmeyen varyansla normal dağılımlı bir kitlenin ortalaması için hipotez testi.....	98
2.9.4 Normal dağılımlı iki kitlenin ortalamaları farkı için hipotez testi .....	100
2.9.5 Veri çiftleri için hipotez testi .....	102
2.9.6 Normal dağılımlı iki kitlenin varyanslarının eşitliği için hipotez testi .....	104
2.10 Grafikselleştirilmiş Kullanıcı Arayüzü .....	105
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	109
3.1 Malzemeler.....	109
3.1.1 Çimento .....	109
3.1.2 Uçucu kül .....	109
3.1.3 Su .....	110
3.1.4 Agrega .....	110
3.1.5 Süper akışkanlaştırıcı .....	111
3.2 Metot .....	112



3.2.1 Çok yanıtli eniyileme ve modelleme .....	112
3.2.1.1 Hazır beton performans eniyilemesi amaçları .....	115
3.2.1.2 Hazır beton kalite karakteristikleri.....	115
3.2.1.3 Faktör ve seviyelerinin belirlenmesi.....	117
3.2.1.4 Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması...	118
3.2.1.5 Deney koşulları ve kısıtlar .....	119
3.2.2 Deneysel çalışmalar .....	120
3.2.2.1 Sıcaklık ölçümü .....	120
3.2.2.2 Çökme-yayılma deneyi .....	121
3.2.2.3 Birim ağırlık tayini.....	121
3.2.2.4 Hava içeriği.....	121
3.2.2.5 Basınç dayanımı .....	122
3.2.2.6 Su emme deneyi.....	124
4. BULGULAR .....	126
4.1 Çok Yanıtli TOPSIS Tabanlı Taguchi Eniyilemesi .....	126
4.1.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı .....	126
4.1.2 Üretim maliyeti tahmini .....	127
4.1.3 Deney sonuçları .....	129
4.1.4 Doğrulama deneyi .....	133
4.1.5 Modellemede kullanılacak ve sabit alınacak faktörler .....	134
4.2 Cevap Yüzey Yöntemi ile Modelleme.....	134
4.2.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı .....	135
4.2.2 Üretim maliyeti tahmini .....	136
4.2.3 İkinci dereceden modeller ve varyans analizi.....	137
4.2.3 Meta-modellerin doğrulanması .....	140
4.2.4 Faktör etkilerinin tahmin edilmesi.....	142
4.2.5 Cevap yüzey grafikleri.....	144
4.3 Kullanışli Modeller ile Eniyileme .....	146
4.3.1 İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı.....	146
4.3.3 Karesel programlama .....	148
4.3.4 Eniyileme için onay deneyleri .....	148
4.3.5 İki yöntemin kesinliğinin karşılaştırması .....	149
4.4 MATLAB Aracı ile Grafikselle Kullanıcı Arayüzü İnşası .....	150
4.5 Grafikselle Kullanıcı Arayüzünün Doğrulması .....	153

<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>155</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>161</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>176</b>
<b>EK 1 Taguchi deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri .....</b>	<b>177</b>
<b>EK 2 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri .....</b>	<b>182</b>
<b>EK 3 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen etkileşim grafikleri .....</b>	<b>187</b>
<b>EK 4 Tüm yanıtlar için cevap yüzey grafikleri .....</b>	<b>192</b>
<b>EK 5 Çökme-yayılma sınıfları (TS-EN 206-1, 2002).....</b>	<b>202</b>
<b>EK 6 Basınç dayanım sınıfları (TS-EN 206-1, 2002).....</b>	<b>203</b>
<b>EK 7 Student-t tablosu .....</b>	<b>204</b>
<b>EK 8 F tablosu .....</b>	<b>205</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>206</b>

## SİMGELER DİZİNİ

### Simgeler

A	Isı aktarım yüzey alanı
$\alpha$	İstatistiksel anlam düzeyi
D	İstenirlik değeri
hc	Konvektif ısı aktarım katsayısı
L	Örnek uzunluğu
k	Termal iletkenlik
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
Q	Toplam ısı kaybı
Tw	Beton yüzey sıcaklığı
T $\infty$	Ortam sıcaklığı
u $\infty$	Rüzgar hızı
$\nu$	Kinematik vizkosite
$\eta$	Sinyal gürültü oranı

### Kısaltmalar

ASTM	American society for testing and materials
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
D.T.	Deney tasarımı
DOP	Doğrusal olmayan programlama
GRA	Gri ilişkisel analiz
GKA	Grafiksel kullanıcı arayüzü
KYB	Kendinden yerleşen beton
MKT	Merkezi karma tasarımı
PÇ	Portland çimentosu
PCE	Polikarboksilat eter bazlı
RSM	Response surface methodology- cevap yüzey yöntemi
Sd	Serbestlik derecesi
SP	Süperplastikleştirici
S/N	Sinyal gürültü oranı
TS	Türk standardı
TOPSIS	İdeal çözümlere yakınlık yoluyla tercihlerin sıralanması tekniği
OD	Ortogonal dizin
VIKOR	Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Hazır beton bileşenleri.....	24
Şekil 2.2 Hazır beton için kullanılan kimyasal katkıları.....	30
Şekil 2.3 Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi a) topaklaşmış hamur; b) katkılı hamur.....	31
Şekil 2.4 Katkıları stearik etkisi.....	32
Şekil 2.5 Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri.....	32
Şekil 2.6 Hazır beton üretim akış şeması.....	36
Şekil 2.7 Agregat üretim akış şeması.....	38
Şekil 2.8 Çimento üretim akış şeması.....	42
Şekil 2.9 Çimento hamurundaki hidrate yapı gelişimi.....	43
Şekil 2.10 Şematik olarak bir proses.....	53
Şekil 2.11 Taguchi'nin kayıp fonksiyonu.....	66
Şekil 2.12 Sağ taraflı testler için red bölgeleri.....	97
Şekil 2.13 Çift taraflı testler için red bölgeleri.....	97
Şekil 2.14 Grafikselleştirilmiş kullanıcı arayüzü tasarımı taslak görüntüsü.....	106
Şekil 3.1 Agregalar.....	111
Şekil 3.2 Hazır Betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için bir çok yanıtli modelleme ve eniyileme uygulaması akış şeması.....	114
Şekil 3.2 Hazır Betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için bir çok yanıtli modelleme ve eniyileme uygulaması akış şeması (devam).....	107
Şekil 3.3 Deneylerde elde edilen bazı numuneler.....	119
Şekil 3.4 Döner karıştırıcı.....	120
Şekil 3.5 Daldırma-batırmalı termometre.....	120
Şekil 3.6 Hava içeriğinin tespiti.....	122
Şekil 3.7 Kür havuzu.....	123
Şekil 3.8 Basınç dayanımı test cihazı.....	124
Şekil 3.9 Etüv.....	125
Şekil 4.1 Faktör etkileri için vektör normalizasyonu ile ana etkiler grafiği.....	132
Şekil 4.2 R3 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	140
Şekil 4.3 R6 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	140
Şekil 4.4 R7 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	141
Şekil 4.5 R8 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	141
Şekil 4.6 R9 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	142
Şekil 4.7 R10 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği.....	142
Şekil 4.8 Çökme-yayıma değeri için cevap yüzey grafikleri.....	144
Şekil 4.9 İki günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri.....	145
Şekil 4.10 Yedi günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri.....	145
Şekil 4.11 28 günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri.....	145
Şekil 4.12 28 günlük yarmada çekme basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri.....	145
Şekil 4.13 Üretim maliyeti için cevap yüzey grafikleri.....	146
Şekil 4.14 MINITAB® programında elde edilen optimizasyon grafiği.....	147
Şekil 4.15 Programlama yöntemi ile oluşturulan MATLAB® tabanlı arayüzünün bir parçası.....	151
Şekil 4.16 Geliştirilen esnek grafikselleştirilmiş kullanıcı arayüzü.....	152
Şekil 4.17 Beton laboratuvar personeli için geliştirilen esnek grafikselleştirilmiş kullanıcı arayüzü.....	152

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Uçucu küllerin tipik kimyasal kompozisyonları.....	35
Çizelge 2.2 Klinkerin oluşum tepkimeleri ve sıcaklık dereceleri.....	39
Çizelge 2.3 Portland çimentosu ana bileşenleri.....	40
Çizelge 2.4 Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları.....	40
Çizelge 2.5 Hazır beton sektöründe sinai ve ticari maliyetler.....	51
Çizelge 2.6 İki düzeyli OD'lerin seçimi.....	75
Çizelge 2.7 Üç düzeyli OD'lerin seçimi.....	75
Çizelge 2.8 Hata tipleri ve hipotez testindeki kararların tipleri.....	96
Çizelge 2.9 Varyansları bilinen normal dağılımlı iki kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları.....	100
Çizelge 2.10 Varyansları bilinmeyen fakat eşit kabul edilen iki kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları.....	101
Çizelge 2.11 Varyansları bilinmeyen fakat eşit kabul edilen iki kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları.....	102
Çizelge 2.12 Veri çifti için hipotezler ve karar kuralları.....	103
Çizelge 2.13 Normal dağılımlı iki kitlenin varyanslarının eşitliği için hipotezler ve karar kuralları.....	104
Çizelge 3.1 Çimentonun kimyasal bileşimi.....	109
Çizelge 3.2 Uçucu kül kimyasal bileşimi.....	110
Çizelge 3.3 Agregata elek analizi.....	111
Çizelge 3.4 20 °C'deki süperplastikleştiricilerin özellikleri.....	112
Çizelge 3.5 Kalite karakteristikleri ve atanan değerleri.....	117
Çizelge 3.6 Kalite karakteristiklerini etkileyen faktörler ve seviyeleri.....	118
Çizelge 4.1 Taguchi deneylerinde elde edilen ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı.....	127
Çizelge 4.2 Taguchi deneyleri için üretim maliyeti.....	128
Çizelge 4.3 Taguchi deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen bulgular.....	129
Çizelge 4.4 Taguchi deneylerinde ikinci beş yanıt için elde edilen bulgular.....	129
Çizelge 4.5 Taguchi deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen S/N değerleri.....	130
Çizelge 4.6 Taguchi deneylerinde ikinci beş yanıt için elde edilen S/N değerleri.....	130
Çizelge 4.7 Vektör normalizasyonu kullanılarak elde edilen TOPSIS değerleri.....	131
Çizelge 4.8 Optimum faktör seviyeleri.....	132
Çizelge 4.9 Optimum koşullarda beklenen iyileşme oranları.....	133
Çizelge 4.10 Onay deneyi sonuçları.....	134
Çizelge 4.11 Cevap yüzey yöntemi için faktör ve seviyeleri.....	134
Çizelge 4.12 Cevap yüzey deneylerinde elde edilen ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı.....	136
Çizelge 4.13 Cevap yüzey yöntemi deneyi için üretim maliyeti.....	137
Çizelge 4.14 Cevap yüzey deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen bulgular.....	138
Çizelge 4.15 Cevap yüzey deneylerinde diğer beş yanıt için elde edilen bulgular.....	138
Çizelge 4.16 İlk beş yanıt için varyans analizi.....	139
Çizelge 4.17 Diğer beş yanıt için varyans analizi.....	139
Çizelge 4.18 Tüm yanıtlar için elde edilen regresyon eşitlikleri.....	139
Çizelge 4.19 R3, R6 ve R7 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri.....	143
Çizelge 4.20 R8 ve R9 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri.....	143
Çizelge 4.21 R1, R2 ve R4 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri.....	143
Çizelge 4.22 R5 ve R10 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri.....	144
Çizelge 4.23 Hazır beton için RSM kullanarak tahmin edilen optimum seviyeler.....	147
Çizelge 4.24 Karesel programlama için amaç fonksiyonları.....	148
Çizelge 4.25 Sonuçların onayı için t- test sonuçları (istenirlik fonksiyonu yaklaşımı).....	149

Çizelge 4.26 Sonuçların onayı için t- test sonuçları (doğrusal programlama yaklaşımı).....	149
Çizelge 4.27 İki metodun karşılaştırılması için F- testi sonuçları.....	150
Çizelge 4.28 R1, R2 ve R3 için GKA modeli ve deney sonuçları kullanarak hesaplanan R <sup>2</sup> sonuçları.....	153
Çizelge 4.28 R4, R5 ve R6 için GKA modeli ve deney sonuçları kullanarak hesaplanan R <sup>2</sup> sonuçları.....	154

## 1. GİRİŞ

Beton tarih boyunca insanoğlunun vazgeçemediği bir yapı malzemesidir. Bugün sudan sonra en çok tüketilen ürün olan beton medeniyetlerin kurulmasında temel malzemelerden biridir. Ülkemizde son 30 yılda kullanılmaya başlanan hazır beton ile sektör bir ciddiyet kazanmış ve yüksek hacimlerle birlikte yapıları üretmek çok daha kolay hale gelmiştir (Demiryürek 2007). Son beş yılda yaklaşık 20 milyon m<sup>3</sup> artışla 90 milyon m<sup>3</sup>'lere ulaşan beton üretiminin, önümüzdeki dönemde Türkiye'de büyüme hızlarında artmaya devam edeceği öngörülmektedir (Anonim 2012a). Temel yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşan hazır betonun, yapısal özellikleri de sürekli geliştirilmekte, üniversitelerde ve tesis laboratuvarlarında bu konuda yeni çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek nitelikli çimentolar, yeni geliştirilen kimyasal katkıları, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, transmikserler ve beton pompaları gibi yüksek kapasiteli araç üretimi vb. unsurlar, hazır beton endüstrisinin ilerlemesini hızlandırarak, daha modern yapıların meydana getirilmesini mümkün kılmaktadır (Demiryürek 2007). C 20 ve altındaki sınıflardaki betonların üretimi yıllar itibarı ile düşmekte buna mukabil C 25 ve üzeri sınıflardaki beton üretim miktarlarında ise gözle görülür bir artış yaşanmaktadır (Anonim 2012a). Hazır beton uygulamasının yaygınlaşması ve gerekli şartların yerine getirilmesi zorunluluğu beton bileşenlerinin incelenmesine ve analiz edilmesine neden olmuştur. Ayrıca betonun ticari bir boyutunun olması da standartlara uygun daha ekonomik beton üretimi için araştırmaları beraberinde getirmiştir. Modern malzeme bilimi sayesinde yol betonu, eğilebilen beton, kendinden yerleşen beton, yüksek dayanımlı betonlar, renkli betonlar, su altı betonları, lifli betonlar vb. gibi çok çeşitli niteliklerde ve tiplerde beton üretimi yapılabilmektedir.

Beton, kum (ince agrega), çakıl/taş (kaba agrega), çimento ve kimyasal katkı maddelerinin karıştırılması ile oluşan, başlangıçta plastik kıvamlı olup, zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşıp sertleşen yapı malzemesidir (Anonim 2002a , Deligiannis ve Manesis 2008). Hazır beton genellikle bilgisayarlı beton karma santrallerinde, plastik kıvamlı şekilde şantiye alanına teslim edilmek üzere hazırlanır. Hazır Beton üretiminde kullanılan malzemeler otomatik cihazlar tarafından tartılır ve karılır. Farklı uygulamalar için niteliklerini özelleştirme yeteneğine sahip olması bakımından beton, en popüler yapı malzemelerinden biridir (Arıöz vd. 2007). Betonda

istenilen kaliteyi elde etmek için Hazır Beton karışım oranlarının eniyilemesi, malzeme ve tasarım mühendisliğinde oldukça önemli bir konudur (Yan vd. 2011, Chang vd. 2011). Özellikle betonun kullanım alanlarının ve buna bağlı olarak üretim miktarının artması ile Hazır Beton karışım oranlarının eniyilemesi ile ilgili çalışmalar artış göstermektedir.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ilk defa TOPSIS tabanlı Taguchi yöntemi, Cevap yüzey yöntemi ile beraber kullanılmıştır (Web of Science 2012). Yanıtlar üzerinde etkili olan parametre sayısının çok olmasından dolayı, sadece cevap yüzey yöntemi ile eniyileme ve modelleme için çok fazla deney yapılması gerekmektedir. Çok fazla deney de zaman ve maddi imkan gerektirecektir. Kullanılacak olan hibrid TOPSIS&Taguchi tabanlı cevap yüzey yöntemi, deney sayısını mümkün olduğu kadar azaltarak eniyileme ve modelleme imkanı verecektir. Kullanılan yöntem birçok araştırmacı için teşvik edici nitelikte olacaktır. Özellikle kimyasal proseslerde belirlenen yanıtlar üzerinde çok sayıda faktörün etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada geliştirilecek olan sistematik eniyileme ve modelleme yapısı bir çok alana uygulanabilir nitelikte olacaktır.

Bu çalışmanın literatürdeki çok yanıtlı eniyileme çalışmalarından bir farkı da beton kalite karakteristiği olarak ortalama konvektif ısı aktarım katsayısının, (yapılarda ısı kaybının ve ısıl zararların azaltılması bakımından) eniyileme ve modelleme aşamasına katılmasıdır. Isıtılmış sertleşmiş beton silindirden doğal konveksiyon ile ısı aktarımı ve taze beton konvektif ısı aktarım katsayısı için bazı çalışmalar yapılmıştır (Atayılmaz 2010, Demir 2010, Lee vd. 2009). Özellikle sert rüzgarlara maruz kalan bölgelerdeki yapılarda konvektif ısı aktarımı ile oluşan ısıl zarar çok yaygın olabilmektedir. Bu çeşit ısıl zararları daha iyi değerlendirmek için konvektif ısı aktarım katsayısı gibi ısıl özellikleri düşünmek gereklidir (Lee vd. 2009). Büyükcalaca ve Bulut'a (2004) göre Türkiye'de toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 30 ila 35 kadarı konut sektörü tarafından kullanılmaktadır. Yapı tasarımcıları, yapı bileşenlerinin birleştirilmesi ve seçilmesi aşamasını dikkate alarak tasarımı gerçekleştirirlerse enerji tasarrufuna katkıda bulunabilirler (Santin 2011, Şimşek vd. 2013). Bu nedenle deneysel çalışma; betonda konveksiyon ile ısı kaybını etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve bu ısı kaybı ile ısıl



zararları azaltacak optimal karışım parametrelerin bulunması açısından önemlidir (Şimşek ve Şimşek 2012a, b).

Bu tez çalışmanın literatürdeki optimal karışım parametrelerinin araştırılması çalışmalarından bir farkı da betonun üretim maliyetinin, beton kalite karakteristiği olarak çok yanıtli eniyileme ve modellemeye dahil edilmesidir. Şirketler ürün ve süreçlerinin kalitesini iyileştirerek ve maliyetleri azaltarak müşterilerinin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamakta ve piyasadan en önemli pazar payını almaya çalışmaktadırlar (Can 2007). Hazır beton sektöründe betonun toplam maliyetinin %71.4'ünü hammadde ve malzeme giderleri oluşturmaktadır (Anonim 2008a). Yüksek kalitede düşük maliyet ile beton üretimi için üretim maliyetinin de diğer beton kalite karakteristikleri ile beraber eniyilemesi bu çalışmayı önemli kılan diğer bir faktördür.

Bu çalışmanın sağlayacağı diğer bir katkı ise, literatürdeki çalışmalara ek olarak çok fazla sayıda yanıtın aynı anda eniyilenmesini ve modellerini içermesi olacaktır. Elde edilecek çıktılar kurumla paylaşılıp, sistem performans iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Çalışmada; hazır betonun TOPSIS tabanlı Taguchi yaklaşımı ile Cevap Yüzey Metodu kullanarak, optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak 2 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, beton hava içeriği, teorik ile pratik birim ağırlık farkı, su emme yüzdesi, ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı, üretim maliyeti, çökme değeri gibi beton kalite karakteristiklerini etkileyen çimento miktarı, su bağlayıcı oranı, kırma kumun toplam agregaya oranı, I nolu iri agreganın toplam agregaya karışım oranı, süperakışkanlaştırıcı içeriği, uçucu kül miktarı, taze beton karıştırma süresi, polikarboksilat eter bazlı süper akışkanlaştırıcı tipi gibi faktörlerin, optimal karıştırma oranları Taguchi&TOPSIS yöntemi ile MINITAB® programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu kısım bir nevi cevap yüzeyi yöntemi ile modelleme ve eniyilemenin ilk aşaması olan eleme denemeleri ve bölge araştırması bölümünü kapsamaktadır. Böylece, cevap yüzey yönteminin en büyük dezavantajı olan, yanıtların ikinci dereceden çok terimli bir modele daha uyumlu bir hale gelmesi hedeflenmiştir.

Daha sonra yanıtlar üzerinde etkili faktörler ile cevap yüzey yöntemi uygulanarak tüm yanıtların modellenmesi sağlanmıştır. Bu aşamada faktörlerin yanıtlar üzerindeki etkisi ikinci dereceden varyans analizleri ile MINITAB® programında belirlenmiştir. Son olarak kullanışlı olan modeller ile “desirability” (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak ikinci eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir. İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı için MINITAB® programı, doğrusal olmayan programlama için ise MATLAB® programı uygulanmış ve onay deneylerinde doğrusal olmayan programlama yaklaşımının optimal karışım oranlarının bulunmasında daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Deneyler ile onaylanan ve karesel programlama için oluşturulan MATLAB kodu grafiksel kullanıcı arayüzünün oluşturulması için kullanılmıştır.

## **1.1 Literatür Taraması**

### **1.1.1 Hazır beton optimal karışım oranları ile ilgili kaynaklar**

Literatürde değişik beton tipleri için optimal karışım oranlarının belirlenmesine yönelik birçok eniyileme ve modelleme çalışması mevcuttur. Hinişlioğlu ve Bayrak (2004), Taguchi yöntemini kullanarak, silis dumanı ve uçucu kül ile kaldırım betonu erken eğilme mukavemeti eniyilemesi üzerinde çalışma yapmıştır. Beton kaldırımının erken eğilme dayanımı üzerinde etkili her biri dört seviyeye sahip dört faktör (su/çimento oranı, uçucu kül, silis dumanı ve agrega karışım oranı) belirlemiştir. Dört faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analiz etmiştir. Analiz sonucunda Silis dumanı ve su/çimento oranının, kaldırım betonu erken eğilme mukavemeti üzerinde etkili olduğunu belirlemiştir. Yine Taguchi yöntemi ile maksimum mukavemeti elde eden karışım parametrelerini elde etmiştir.

Muthukumar vd. (2003), mineral agrega katkılı polimer betonun boşluk içeriğini minimize eden bir çalışma yapmış ve Box-Behnken tabanlı bir deney tasarımı uygulamışlardır. Polimer betonun boşluk içeriğini etkileyen 6 değişik agrega parçacığı içeren değişken tanımlamıştır. Mineral agrega katkılı polimer betonun boşluk içeriğini

minimize eden optimal parametreleri Box- Behnken tabanlı bir cevap yüzey yöntemi ile hesaplamışlardır. Ayrıca, mineral agrega katkılı polimer betonun boşluk içeriğini yanıt üzerinde etkili faktörler ile ikinci dereceden karesel olarak modellemişlerdir.

Lin vd. (2004), geri dönüşümlü beton agregaları ile oluşturulan betonun optimal karışım parametrelerinin değerlendirilmesinde Taguchi yöntemini kullanmıştır. Betonun yanıtları basınç dayanımı ve çökme-yayıma değeri olarak seçilmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili her biri iki seviye beş faktör (su/çimento oranı, geri dönüşümle kaba agrega oranı, nehir kumu içeriği, ezilmiş tuğla içeriği ve agrega temizliği) belirlenmiştir. Beş faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturulmuştur. Taguchi yöntemi ile çok yanıtlı varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analiz edilmiştir. Yine Taguchi yöntemi ile yanıtların her birini optimize eden, arzu edilen mühendislik özelliklerine sahip karışım parametreleri de elde edilmiştir.

Muthukumar ve Mohan (2004), polimer betonun mekanik özelliklerini optimize eden bir çalışma yapmış ve deney tasarımı tabanlı bir karışım-tasarımı önermişlerdir. Deney tasarımı kavramları ile farklı bileşenler için oluşturulmuş polimer betonların basınç dayanımını optimize eden karıştırma zamanı ve polimerik bağlayıcı gibi faktörlerin seviyelerini elde etmiştir. Bu faktörlerin yanıt üzerindeki etkileri varyans analizleri ile tahmin edilmiştir. Ayrıca çalışmalarında, polimer betonların 7 günlük basınç dayanımı için ikinci dereceden regresyon eşitliği elde edilmiştir.

Tan vd. (2005), çimento temelli sıvalarda kanamanın eniyilemesi için Taguchi yaklaşımı önermişlerdir. Çimento temelli sıvalarda kanamaya etkileyen silis dumanı, uçucu kül ve bentonit etkisini araştırmışlardır. Her biri dört seviyeli üç faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analizlemiştir. Çimento temelli sıvalarda kanamanın üzerinde en etkili parametre silis dumanı olarak bulunmuştur. Çalışmada silis dumanı ve bentonit miktarının artışı ile kanamanın azaldığı, ancak uçucu külün dikkate değer bir etkisinin olmadığı sonucuna varmıştır. Taguchi yöntemi ile minimum kanama için optimal karışım oranlarını elde edilmiştir.

Nambiar ve Ramamurthy (2006), köpük betonun dayanımı ve yoğunluğu için karışım parametreleri ile ilgili bazı modeller önermişlerdir. Köpük Betonun 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük basınç dayanımı üzerinde etkili her biri beş seviyeye sahip üç faktör (dolgu maddesi/çimento oranı, uçucu kül miktarı, köpük hacmi) belirlenmiştir. Cevap yüzeyine dayalı deney tasarım ile Köpük Betonun 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük basınç dayanımını maksimum yapan optimal karışım oranları bulunmuştur. Köpük betonun basınç dayanımı ve yoğunluğu için ikinci dereceden modeller elde edilmiştir.

Nunes vd. (2006), kendinden yerleşen beton karışımlarının duyarsızlığının değerlendirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. KYB performans yanıtları şekil değiştirebilme, doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili parametreler her biri beş seviye olarak su/toz oranı, doldurucu/çimento oranı, ağırlıkça akışkanlaştırıcı/toz oranı, kum/sıva oranı ve katı hacmi olarak belirlenmiştir. Kendinden yerleşen betonun belirtilen özellikleri üzerindeki etkileri bir istatistiksel deney tasarım tekniği olan “merkezi karma tasarım” yöntemi kullanılarak oluşturulan deney programı çerçevesinde araştırılmış ve modellenmiştir.

Castilho vd. (2007), yapı mühendisliğinde önerilmeli betonarme kirişlerin üretim maliyetini düşürmek amacı ile modifiye edilmiş bir Genetik Algoritma yöntemi kullanmışlardır. Çalışmada montaj, taşıma ve üretim maliyetini toplam maliyeti oluşturan değişkenler olarak tanımlanmıştır. Üretim maliyeti ise, hammadde maliyeti, fabrika aktiviteleri ve idari harcamalar olarak belirlenmiştir. Toplam maliyet fonksiyonu değişkenlerini çelik miktarı, beton döküm yeri basınç dayanımı, donatı düzeyi mesafesi ve beton döküm mesafesi olarak tanımlayarak maliyet eniyilemesi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir.

Eroğlu vd. (2007), karışım parametrelerinin kendinden yerleşen betonun taze özellikleri üzerindeki etkilerini bir istatistiksel deney tasarım tekniği olan “merkezi karma tasarım” yöntemini kullanılarak oluşturulan deney programı çerçevesinde araştırmıştır. Karışımlarda uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı miktarları deneysel programın değişkenleri olarak belirlenmiş ve yayılma çapı, V hunisi, L-kutusu ve ayrışma deneyleri “merkezi karma tasarım”

yöntemi yardımıyla oluşturulan 21 farklı beton karışımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlardan elde edilen deney sonuçları kullanılarak bahsi geçen deneylerde ölçülen taze beton özelliklerini matematiksel olarak ifade eden anlamlı istatistiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı oranlarının KYB'nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Elde edilen modeller incelendiğinde, beton karışımının su-bağlayıcı oranı, bu çalışmada kullanılan parametreler ile oluşturulan modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme özeliği üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür.

Yeh (2007), betonun çökme-yayılma değerini (slump flow) yapay sinir ağları ve ikinci dereceden regresyon eşitlikleri ile modellemiştir. Çimento miktarı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, su miktarı, ince agrega ve kaba agregayı çökme-yayılma değerini modellemek için kullanmıştır. Bu faktörlerin herbirini iki seviye olarak çalışmayı gerçekleştirmiştir. Betonun işlenebilirliğinin bir ölçüsü olan çökme-yayılma değerini (slump flow) modellemede yapay sinir ağlarının kullanılmasının daha etkili sonuç verdiği görülmüştür.

Tanyıldızı ve Coşkun (2008a, b), yüksek sıcaklığa tabi tutulan silis dumanı ve uçucu kül ile üretilen hafif betonun performans eniyilemesi için Taguchi yaklaşımını kullanmışlardır. Hafif betonun basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımını etkileyen faktörleri mineral katkı oranı ve ısıtma sıcaklığı olarak belirlemişlerdir. Her biri dört seviyeli iki faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analizlemiştir. Maksimum beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı için optimum koşulların eldesi için Taguchi yöntemini kullanmıştır.

Türkmen vd. (2008), mineral katkı ile üretilen betonun bazı fiziksel özelliklerinin eniyilemesi için Taguchi yaklaşımını kullanmışlardır. Mineral katkı olarak silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanmışlardır. Betonun kalıcılığını etkileyen faktörleri mineral katkı oranı, su/bağlayıcı oranı ve kür rejimi ve kür zamanı olarak belirlemiştir. Her biri dört seviyeli dört faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını

oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analiz etmiştir. En dayanıklı beton karışımını elde edebilecek karışımın ve optimum koşulların eldesi için Taguchi yöntemini kullanmıştır.

Narendra vd. (2008), kendinden yerleşen beton karışımlarının eniyilemesi için Taguchi yaklaşımını kullanmışlardır. Kendinden yerleşen beton için gerekli olan performans kriterlerini çökme-yayılma değeri, t50 zamanı, U-hunisi yayılma değeri ve basınç dayanımı olarak belirlemiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili biri iki seviye yedi faktör (çimento miktarı, su miktarı, uçucu kül miktarı, ince agrega miktarı, kaba agrega miktarı, süperplastikleştirici katkı miktarı ve viskozite ayarlayıcı katkı miktarı) belirlemiştir. Yedi faktör için L18 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile tek yanıtlı varyans analizi tekniği kullanarak basınç dayanımı verilerini analiz etmiştir. Yine Taguchi yöntemi ile basınç dayanımını optimize eden karışım parametrelerini elde etmiştir.

Özbay vd. (2009), yüksek dayanımlı kendinden yerleşen betonun optimal karışım parametrelerinin araştırılmasında Taguchi yöntemini kullanmıştır. Kendinden yerleşen beton için gerekli olan, pratik ve teknik yeterlilikleri (Ultras ses geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, hava içeriği, su emme ve su geçirgenliği) yanıt olarak seçmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili biri iki seviye, diğerleri üç seviyeye sahip altı faktör (su/çimento oranı, su içeriği, uçucu kül içeriği, hava sürükleyici katkı ve süperplastikleştirici katkı) belirlemiştir. Altı faktör için L18 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile çok yanıtlı varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analiz etmiştir. Yine Taguchi yöntemi ile yanıtların her birini optimize eden karışım parametrelerini elde etmiştir.

Akçay ve Taşdemir (2009), betonda otojen deformasyonu azaltmak için hafif agregaların kullanılmasında bir eniyileme çalışması yapmıştır. Çalışmasında doymuş hafif agregaların yüksek dayanımlı betonda otojen deformasyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Betonda kırılma ve dayanım üzerinde etkili optimal faktör seviyelerini cevap yüzey yöntemi ile belirlemiştir. Beton karışımında normal agrega yerine belli oranlarda doymuş hafif agregalar kullanmışlardır. Kaba agregaya kıyasla ince

agregaların betonda otojen deformasyonu azaltmakta daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Akram vd. (2009), küspe külü kullanarak kendinden yerleşen betonda üretim maliyetini düşürmek için bir çalışma yapmıştır. Su/bağlayıcı oranı, süperakışkanlaştırıcı yüzdesi ve küspe külünü ana parametreler, çimento ve su miktarını çalışmasında sabit tutmuştur. Akram çalışmasında küspe külünün kendinden yerleşen betonlar için kullanılabilir nitelikte olduğunu belirlemiştir ve yaklaşık %35 daha düşük maliyet ile 28 günlük dayanımı 34MPa'dan büyük basınç dayanımına sahip betonu elde etmiştir.

Lee vd. (2009), taze beton konvektif ısı aktarım katsayısını etkileyen faktörlerin belirlenmesine yönelik bir deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmasında rüzgar hızının, kür koşullarının ve hava sıcaklığının taze beton konvektif ısı aktarım katsayısının üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kür koşulları ve rüzgar hızının etkili olduğunu, buna karşın 200C ve 300C arasındaki hava sıcaklığının çok önemli bir etkiye sahip olmadığını belirlemiştir. Konvektif ısı aktarım katsayısının ısı dağılımını etkilediği için yapıda çekme gerilimine neden olmakta olduğunu, bu nedenle beton için önemli bir malzeme özelliği olarak düşünülmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Vieira vd. (2010), kauçuk katkılı betonun proses değişkenleri ile karışım oranlarını simultane optimize eden tamamen rastsal deney tasarımı çalışması yapmışlardır. Karışım oranlarını çimento miktarı, agrega miktarı ve su miktarı olarak belirlemiştir. İki proses değişkeni ise kauçuk büyüklüğü ve miktarı olarak belirlenmiştir. Üç faktör için full faktoriyel ile deney tasarımını oluşturmuştur. Basınç dayanımı yanıtı için karışım oranlarını ve proses değişkenlerini kullanarak modelleme çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarından iki modelinde oldukça kullanışlı olduğu belirlenmiştir. Bu modeller ile basınç dayanımı optimize eden proses değişkenlerinin seviyesini belirlemiştir.

Koçkal ve Özturan (2011), yüksek dayanımlı hafif beton üretimi için uçucu kül agregalarının özelliklerinin eniyilemesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Hafif betonda bağlayıcı tipi ve içeriğini kirlenme parametreleri olarak belirlemiştir. Beton performans parametrelerini su emme yüzdesi, özgül ağırlık ve kırılma dayanımı olarak

belirlenmiştir. Bu yanıtlar üstünde etkili parametrelerin optimal seviyelerinin bulunması için cevap yüzey yöntemi kullanılmıştır. Deneysel verilerin analizi, kirlenme prosesinin optimize edilmesi ve deney matrisinin oluşturulmasında Design-Expert yazılımını kullanmışlardır.

Dvorkin vd. (2011), çelik lifler ile güçlendirilmiş yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve karışım sertliği üzerinde etkili parametrelerinin eniyileme çalışmasında cevap yüzey yöntemini kullanmışlardır. Beton basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve karışım sertliği üzerinde etkili üç seviyeye sahip beş faktör su çimento oranı, çelik lif içeriği, çelik lif inceliği, kum miktarı, kum çimento oranı olarak belirlemiştir. Beş faktör için merkezi karma tasarımına dayalı cevap yüzey metodu ile deney tasarımını oluşturmuştur. Çalışmalarında, betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve karışım sertliği için ikinci dereceden regresyon eşitlikleri elde etmiştir.

Ayan vd. (2011), çelik lifler ile güçlendirilmiş yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımı üzerinde etkili parametrelerinin eniyileme çalışmasında Taguchi yöntemini kullanmıştır. Beton basınç dayanımı üzerinde etkili üç seviyeye sahip beş faktör (bağlayıcı tipi, bağlayıcı miktarı, karma zamanı, çelik lif hacim oranı ve test yaşı) belirlemiştir. Beş faktör için L27 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analizlemiştir. Yine Taguchi yöntemi ile yanıtların her birini optimize eden karışım parametrelerini elde etmiştir.

Chang vd. (2011), geri kazanılmış agregada destekli beton karışımlarının optimal parametrelerinin bulunması için ağırlıklı Gri-Taguchi yöntemi kullanmıştır. Geri kazanılmış agregada beton karışımı için yanıtlar; ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, özdirenç, çökme değeri olarak seçilmiş ve her bir yanıt için bir ağırlık değeri atanmıştır. Bu yanıtlar üzerinde etkili her biri iki seviyeye sahip beş faktör (su/çimento oranı, geri kazanılmış agregada içeriği, ezilmiş tuğla içeriği, agregada temizliği ve nehir kumu miktarı) belirlenmiştir. Beş faktör için L16 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analizlemiştir. Yine Taguchi yöntemi ile yanıtların tamamını optimize eden karışım parametrelerini elde etmiştir.



Olivia ve Nikraz (2012), uçucu kül jeopolimer betonun özelliklerini Taguchi yöntemi ile tasarlamıştır. Beton basınç dayanımı, çekmede yarma dayanımı, eğilme dayanımı, su emme, kılcal geçirimsizlik gibi yanıtlar üzerinde etkili üç seviyeye sahip dört faktör (agrega içeriği, alkali çözücü/uçucu kül oranı, karma tipi, sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı) belirlemiştir. Dört faktör için L9 ortogonal deney dizini ile deney tasarımını oluşturmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verilerini analizlemiş ve yanıtlar için beklentileri sağlayan üç karışım belirlemiştir. Bu karışımların yanıtlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Lovato vd. (2012), geri kazanılmış agrega destekli betonun durabilite ve mekanik özelliklerinin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Geri kazanılmış agrega destekli beton için karbonatlaşma derinliği ve su emme oranı durabilite yanıtları, elastik modülü ile basınç dayanımı ve çekme dayanımı mekanik yanıtları olarak seçilmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili her biri üç seviyeye sahip üç faktör (kuru agrega/çimento oranı, geri kazanılmış ince agrega oranı, geri kazanılmış kaba agrega oranı) belirlenmiştir. Üç faktör için cevap yüzey metodu ile deney tasarımını oluşturmuştur. Çalışmalarında, agrega destekli beton için karbonatlaşma derinliği, su emme oranı, elastik modülü, basınç dayanımı ve çekme dayanımı için ikinci dereceden regresyon eşitlikleri elde etmiştir.

Mohammed vd. (2012), kağıt fabrikası atıkları içeren betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesinde cevap yüzey yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada proses değişkenleri su çimento oranı, atık kağıt kalıntısı içeriği ve uçucu külün toplam bağlayıcıya oranı olarak belirlenmiştir. Beton performans kriterleri de çökme-yayıma değeri ve basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Bu iki performans kriteri cevap yüzey yöntemi ile modellenmiştir. Yine bu performans kriterlerini optimize eden karışım oranları cevap yüzey yöntemi ile hesaplanmıştır.

Alqadi vd. (2012), kendinden yerleşen betonun basınç dayanımını artırmak için karşıt sabit faktoriyel tasarım ve cevap yüzey yöntemi kullanmışlardır. Kendinden yerleşen betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler çimento içeriği, su/toz oranı, süperplastikleştirici içeriği ve uçucu kül içeriği olarak belirlemiştir. Faktoriyel tasarım için bu dört faktör iki seviye alınarak  $2^4$  tam faktoriyel deney matrisi oluşturulmuştur.

Daha sonra yüksek basınç dayanımı için optimal karışım parametreleri elde edilmiş ve basınç dayanımı karışım parametreleri ile tam karesel olarak modellenmiştir.

Albuquerque vd. (2012), öndökümlü beton zeminler için genetik algoritma kullanarak maliyet eniyilemesi temelli bir tasarım gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında toplam maliyeti üretim maliyeti, beton döküm maliyeti, beton taşıma maliyeti, iletişim maliyetleri ve montaj maliyetleri olarak belirlemiştir. Toplam maliyet fonksiyonu değişkenlerini beton yapısal boyutu, beton basınç dayanımı, beton döküm sırasında basınç dayanımı, betonun öndökümlü olup olmadığı olarak tanımlayarak maliyet eniyilemesi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir.

Xu vd. (2012), polistiren ilave edilmiş hafif agregalı betonun mekanik özelliklerinin eniyilemesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Hafif betonda için performans kriterleri olarak yoğunluk, basınç dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme davranışı olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar üstünde etkili parametrelerin (su/çimento oranı, çimento miktarı, polistiren içeriği ve kum miktarı) optimal seviyelerinin bulunması için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Su/çimento oranından sonra polistiren içeriğinin basınç dayanımı ve yoğunluk üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Rahim vd. (2013), yüksek performanslı betonun yangın sonrası basınç dayanımını eniyilemesi için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Betonun yangın sonrası kalıntısının basınç dayanımı üzerinde etkili üç seviyeye sahip dört faktör (çimento içeriği, uçucu kül miktarı, ince agrega içeriği, süperplastikleştirici içeriği) belirlenmiştir. Dört faktör için L9 ortogonal deney dizini ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Taguchi yöntemi ile varyans analizi tekniği kullanarak yanıt verileri analiz edilmiş ve beton yangın sonrası basınç dayanımı en büyük yapan optimal karışım parametreleri tespit edilmiştir.

Sonebi ve Bassuoni (2013), gözenekli (ince agre katılmamış) betonun karışım parametrelerinin etkisinin araştırılmasına yönelik bir istatistiksel modelleme tekniği kullanmışlardır. Gözenekli beton için boşluk oranı, yoğunluk, sızma hızı ve basınç dayanımı performans kriteri olarak seçilmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili her biri iki seviyeye sahip üç faktör (su çimento oranı, çimento miktarı ve kaba agrega oranı) belirlenmiştir. Üç faktör için full faktoriyel deney tasarımı oluşturmuştur. Gözenekli

beton için boşluk oranı, yoğunluk, sızma hızı ve basınç dayanımı istatistiksel olarak modellenmiştir.

Cihan vd. (2013), betonun basınç dayanımının eniyilenmesi için kesikli faktoriyel tasarım ve cevap yüzey yöntemi tabanlı D-optimal tasarım kullanmışlardır. Basınç dayanımı üzerinde etkili her biri iki seviyeye sahip yedi faktör olarak; su çimento oranı, çimento miktarı, çimento basınç dayanımı, agrega karışımının incelik modülü, agrega tipi ve süperplastikleştirici oranı ve agrega karışımındaki ince dane oranı belirlenmiştir. Betonun basınç dayanımına bazalt ve kireç taşı etkilerini cevap yüzey grafikleri ile analiz etmişlerdir.

Siddique (2013), kömür taban külü içeren kendinden yerleşen betonun; basınç dayanımı, su emme yüzdesi, kılcal geçirimsizlik katsayısı, su geçirimsizliği ve yıpranma direnci gibi her bir kriterini optimize eden karışım parametrelerini belirlemiştir. Kömür taban külü içeren kendinden yerleşen betonun çok düşük klorür geçirgenlik direncine sahip olduğunu belirlemiştir. Ayrıca araştırmasında, kömür taban külünün su emme yüzdesi, kılcal geçirimsizlik katsayısı ve yıpranma direncine olumlu etkisi olduğu sonucuna varmıştır.

Aldahdooh vd. (2013), ultra yüksek performanslı lif takviyeli betonun akışkanlaştırma ve mekanik özelliklerinin eniyilenmesi ve faktör etkilerinin bu yanıtlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi için merkezi karma tasarımına dayalı cevap yüzey yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak belirli bir su çimento oranı ve süperplastikleştirici içeriği için lif takviyeli betonun basınç dayanımının, bağlayıcı miktarından bağımsız olduğunu, bununla birlikte işlenebilirliğin bağlayıcı miktarı arttıkça arttığı belirlenmiştir.

Köksal vd. (2013), çelik lif katkılı betonun mekanik davranışı üzerinde; lifin hacimsel oranı, lifin çekme gerilimi ve su çimento oranının bütünleşik etkisini incelemek ve mekanik davranışını eniyilemek için cevap yüzey yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çelik liflerin performansı üzerinde su çimento oranının çok etkili olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, lifin çekme dayanımında çelik lif katkılı betonun mekanik davranışı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Güneyişi vd. (2014), metakalin ve uçucu kül karışımı içeren betonların optimal karışım oranların belirlemek için cevap yüzey yöntemi kullanmışlardır. Metakalin ve uçucu kül karışımı içeren betonların performans kriteri olarak basınç dayanımı, su emme yüzdesi, kılcal geçirimsizlik katsayısı ve klorür geçirgenliği olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar üzerinde etkili olan parametreler uçucu kül ve metakaolin miktarı olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarında uçucu kül ve metakaolin miktarının performans kriterleri üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Performans kriterlerini optimize eden çimento miktarı yerine geçen metakalin ve uçucu kül karışım oranları sırası ile % 13,3 ve % 10 olarak belirlenmiştir.

Yu vd. (2014), ultra yüksek performanslı lif takviyeli betonun karışım tasarımı ve özelliklerinin incelenmesine yönelik bir eniyileme çalışması yapmışlardır. Kalite karakteristikleri akışkanlaştırma, hava içeriği, porozite, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı olarak belirlenmiştir. Eniyileme tekniği olarak en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine eklenen kireç taşı ve lif katkısının, özellikle betonun işlenebilirliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Çelik lifler ise nispeten işlenebilirliği düşürürken sertleşmiş betonun hava içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu bulgulara ek olarak, lif katkısının mikro silika ihtiyacını düşürdüğünden hem ekonomik hem de çevresel anlamda katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

### **1.1.2 Bütünleşik eniyileme yaklaşımı ile ilgili kaynaklar**

Taguchi yöntemi tek başına sadece tek performans yanıtının eniyilemesinde kullanılan bir yöntemdir. Çok yanıtlı eniyileme çalışmalarında, ÇKKV(Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleri ile Taguchi yöntemi bütünleşik olarak uygulanmaktadır. Literatürde, ÇKKV yöntemlerinden en çok Gri İlişkisel Analiz (GRA), TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) ve VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I

Kompromisno Resenje-Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm) Taguchi yöntemi ile birlikte kullanılmıştır (İç ve Yıldırım 2012).

Liao (2003), çok yanıtli benzetim eniyilemesinde Taguchi tasarımı ile TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) yöntemini birlikte kullanmıştır. Diğer taraftan Huang ve Liao (2003), elektrik teli boşaltım mekanizması parametrelerinin eniyilemesinde GRA (Gri İlişkisel Analiz) ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır. Yang ve Chou (2005), çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak, çok yanıtli benzetim eniyilemesi gerçekleştirmişlerdir. Tong vd. (2007), çok yanıtli süreç eniyilemesi çalışmasında, VIKOR (Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm) metodu ile Taguchi yönteminin birlikte kullanmışlardır. Kuo vd. (2008), çok kriterli benzetim problemlerinin eniyilemesinde gri ilişkisel derece tabanlı Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Biswas vd. (2009), çok yanıtli toz altı ark kaynağı eniyilemesi çalışmasında VIKOR (Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm) metodu ile Taguchi yönteminin birlikte kullanmışlardır. Datta vd. (2009), entropi ölçüm tekniği eniyilemesi için GRA (Gri İlişkisel Analiz) ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır. Lan (2009), bir frezeleme işlemindeki çok yanıtli eniyileme probleminin çözümünde TOPSIS yöntemiyle Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yang vd. (2011), tedarik zinciri bilgi paylaşım stratejilerinin duyarsızlığının değerlendirilmesinde hem TOPSIS hemde VIKOR ile taguchi yöntemini bütünleşik kullanmıştır. İç (2012), TOPSIS yöntemiyle tam faktöriyel deney tasarım yöntemini bütünleşik kullanarak bilgisayar ile entegre üretim teknolojileri için bir eniyileme uygulaması gerçekleştirmiştir. Lau vd. (2012), lehimleme prosesi soğutma süreci eniyilenmesinde GRA (Gri İlişkisel Analiz) ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır.

Çok yanıtli eniyileme problemleri veri toplama, modelleme ve eniyileme aşamasından oluşur. Çoğu çok yanıtli eniyileme yaklaşımında modelleme aşaması ihmal edilir (Ramezani vd. 2011). Modellemenin dahil edildiği yaklaşımlarda cevap yüzey yöntemi ile Taguchi yönteminin beraber uygulandığı bazı çalışmalar literatürde mevcuttur. Kwak (2005), yüzey taşlama prosesinde bir uyg lama için cevap yüzey yöntemi ile Taguchi metodunu beraber uygulamıştır. Jean vd. (2006), plazma spreyleri ile takviyeli zirkonya çökeltileri için eniyileme çalışmasında Taguchi yöntemi ile bulanık mantık metodunu tümleşik kullanmışlardır. Hou vd. (2007), Taguchi yöntemi, genetik algoritma ve cevap yüzey yöntemini kullanarak bir nano-parçaçık ıslak öğütme süreci için parametre

eniyilemesi çalışması yapmıştır. Tsao ve Hocheng (2008), sondaj kompozit malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti için eniyileme çalışmasında Taguchi yöntemi ile yapay sinir ağlarını tümleşik kullanmıştır. Dellino vd. (2009), simülasyonda duyarsız eniyileme için Taguchi yöntemi ile cevap yüzey yöntemini bütünleşik kullanmışlardır. Chong vd. (2010), H-titanate nanolif katalizör kullanarak kongo kırmızısının bozunması için fotokatalitik prosesin eniyilemesi çalışmasında Taguchi yöntemi ile cevap yüzey yöntemini beraber kullanmıştır. Chang (2011), membranlı yakıt hücrelerinin optimal tasarımı için Taguchi yöntemi ile genetik algoritmayı bütünleşik uygulamıştır. Asiltürk ve Neşeli (2012), Taguchi yöntemi ile cevap yüzey yöntemini CNC torna parametrelerinin çok yanıtı eniyilemesi için kullanmıştır. O'Mahoney (2013), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek yönlü tabakalı kompozit bağlantılarda hasar analizi için Taguchi yöntemi ile cevap yüzey yöntemini bütünleşik kullanmıştır. Wang vd. (2013), inek gübresinin anaerobik fermentasyonu ile hidrojen üretiminin onaylanması için cevap yüzey yöntemi ile Taguchi yöntemini beraber kullanmışlardır.

## **1.2 Çalışmanın Kapsamı**

Bu çalışmada; kendinden yerleşen ve normal hazır betonun TOPSIS tabanlı Taguchi yaklaşımı ile Cevap Yüzey Metodu kullanarak, optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve yanıtlar üzerinde etkili karışım parametreleri ile beton kalite karakteristiklerinin modellenmesi amaçlanmıştır.

Bu itibarla, normal hazır betonun kalite karakteristikleri ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı, hava içeriği, çökme değeri, su emme yüzdesi, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı olarak belirlenmiştir. Bu performans kriterleri üzerinde etkili faktörler ise çimento miktarı, su bağlayıcı oranı, agrega karışım oranı, süperakışkanlaştırıcı içeriği, uçucu kül miktarı, karıştırma zamanı olarak tanımlanmıştır. Beton kalite karakteristikleri olarak elde edilen veriler Taguchi tasarımında faktör seviyelerinin kombinasyonu olan senaryoların işletilmesi ile elde edilmiştir. Sinyal gürültü oranları (S/N) bu veriler için hesaplanmıştır. Sinyal gürültü oranları ile bir karar matrisi oluşturduktan sonra TOPSIS yöntemi çok yanıtı eniyileme problemini tek yanıtı hale

getirmek için kullanılmıştır. Taguchi'nin tek yanıtli eniyileme yöntemi ile yanıtlar üzerinde etkili olan faktörler varyans analizi ile bulunmuş, beklenen iyileşme oranları hesaplanmış ve optimal karışım oranları belirlenmiştir.

Yanıtlar üzerinde etkili olan faktörler ile beton kalite karakteristiği olarak tanımlanan tüm yanıtların cevap yüzey yöntemi kullanarak modellenmesi sağlanmıştır. Çökme değeri, basınç dayanımı ve çekmede yarma dayanımı için %95 güven seviyesinde modeller anlamlı bulunmuştur. Yine ikinci derece varyans analizi ile yanıtlar üzerinde faktör etkilerinin tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir. Son olarak kullanışlı olan modeller ile istenirlik fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımlarını kullanarak eniyileme çalışması yapılmıştır.

Hazır betonun optimal karışım oranlarının bulunması ve beton kalite karakteristiklerinin modellenmesi üzerine bir özet niteliği taşıyan ve günümüz çalışmalarına kaynaklık eden, teori ve metodların geçmişi hakkında bilgi verilen tezin birinci bölümünü takip eden tezin ikinci bölümünde, konuyla ilgili temel kavramlar açıklanmış ve tanımlar verilmiştir. Öncelikle deneyde kullanılan malzemelere ilişkin temel tanımların yer aldığı bu bölümde, deney tasarımı kavramı üzerinde durulmuş, bu kavramla ilişkili çalışmada kullanılan deney tasarım teknikleri olan cevap yüzey yöntemi ve Taguchi yöntemi ele alınmıştır. Tezin üçüncü bölümünde deneyde kullanılan malzeme ve metoda ilişkin bilgi verilmiştir. Deneylerde elde edilen bulgular tezin dördüncü bölümünde yer almaktadır. Son olarak sonuçlar ve tartışma tezin beşinci bölümünde sunulmuştur.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

Temel bir yapı malzemesi olan beton, yapısı bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Beton özelliklerinin tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi, zamanla gelişme gösterdiği tespit edilmiştir (Türkel 2006).

### **2.1 Temel Kavramlar**

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. M.Ö. 3000 yılından itibaren kalsiyum esaslı bağlayıcı maddeler, insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcılar kullanılmış, Pantheon ve Coliseum gibi yapılar doğal hidrolik bağlayıcı özelliği olan puzzolanlarla yapılmış ve Orta Asya ile Anadolu'da Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılmış olması beton olarak nitelendirilebilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. Modern Portland çimentosunun ilk kez 1824 yılında üretilmesine rağmen ilk betonarme yapı ancak 1857 yılında yapılmıştır (Demiryürek 2007).

Çağdaş beton kronolojisinin ise 1800'lü yılların başında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin in Portland Çimentosunun patentini almasıyla başladığı düşünülmektedir. Betonarme yapı sistemlerinin bulunmasıyla, beton yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1900'lü yılların başında ilk "hazır beton" patenti alınmıştır. Beton üretim teknolojisinde yaşanan gelişmeler, kullanılan hammaddeler ve özellikle kimyasal katkılarda yaşanan gelişmelerle, günümüzde çok geniş kullanım alanı olan beton, sudan sonra dünyada en fazla tüketilen malzeme haline gelmiştir (Demiryürek 2007).

Hazır beton ise dünyada ilk kez 1903 yılında Almanya'da ortaya çıkmış daha sonra birkaç yıl içinde ABD de kullanılmaya başlanmıştır. 1914 yılında Stephanian adında bir Türkiye göçmeni tarafından beton taşıma amaçlı transmikser aracının geliştirilmesi ile hazır beton endüstrisinin Amerika'daki yaygınlığı artmış, özellikle savaş yıllarından sonra pek çok hazır beton firması kurulmuştur. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısıyla



birlikte hız kazanan kentleşme ve alt yapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip yaygınlaşmasını sağlamıştır (Demiryürek 2007).

Ülkemizde son 30 yılda kullanılmaya başlanan hazır beton ile sektör bir ciddiyet kazanmış ve yüksek hacimlerle birlikte yapıları üretmek çok daha kolay hale gelmiştir (Demiryürek 2007).

### **2.1.1 Beton**

Beton; çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilâve edilerek veya edilmeden karıştırılması ile oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliklerini kazanan malzemedir (Anonim 2002a).

### **2.1.2 Hazır beton**

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup, zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşıp sertleşen bir yapı malzemesidir. Geleneksel beton, şantiyede veya sokak aralarında kontrolsüz şekilde; çimento, kum, çakıl ve suyun göz kararıyla bir araya getirilerek, insan gücüyle karıştırılmasından oluşur. Bu şartlarda yapılan betonun laboratuvarlarda test edilmesi olanak dışıdır. Dolayısıyla hem çevreye zarar vermekte hem de kontrolsüz ve tehlikeli şekilde yapılarda kullanılmaktadır. Hazır beton ise bileşenleri beton santralında, bilgisayar kontrolüyle, istenilen oranlarda bir araya getirilerek, mikserde karıştırılır ve tüketiciye “taze beton” olarak teslim edilir (Demiryürek 2007).

### **2.1.3 Taze ve sertleşmiş beton**

Betonun, karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, seçilen metotla sıkıştırılabilir haldeki durumu taze beton, katı fazda ve belirli seviyede dayanım kazanmış beton ise sertleşmiş beton olarak adlandırılır (Anonim 2002a).

#### **2.1.4 Normal beton**

Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 2000 kg/m<sup>3</sup>'den büyük olup, 2600 kg/m<sup>3</sup>'ü geçmeyen beton normal beton olarak adlandırılır.

#### **2.1.5 Yüksek dayanımlı beton**

Türk Standartı TS EN 206-1'e göre basınç dayanım sınıfı C 50/60'dan daha yüksek olan normal beton veya ağır beton ve basınç dayanım sınıfı LC 50/55 den daha yüksek hafif betonlar yüksek dayanımlı betonlardır (Anonim 2002a).

Yüksek dayanımlı betonlar, gelişen beton endüstrisine paralel olarak ortaya çıkan yeni tekniklerin uygulanması ve bazı farklı malzemelerin kompozit yapının oluşturulmasında kullanılması ile meydana gelen, normal betonlardan daha üstün iç yapı ve mekanik davranışa sahip betonlardır (Aitcin 1998). Küp basınç dayanımı 60–115 N/mm<sup>2</sup>, silindir basınç dayanımı 50–100 N/mm<sup>2</sup> arasında değişen betonlar, günümüz standartlarına göre yüksek dayanımlı betonlar sınıfını oluştururlar (Anonim 2002a, Türkel 2006).

#### **2.1.6 Bir metreküp beton**

TS EN 12350-6'da tarif edilen işleme uygun olarak sıkıştırılmış halde bir metreküp hacim işgal eden taze beton miktarı (kg olarak) bir metreküp beton olarak adlandırılır (Anonim 2002a, Anonim 2010a).

#### **2.1.7 Beton sıcaklığı**

Taze beton sıcaklığı teslim anında 5°C'den daha düşük olmamalıdır. Bu sıcaklıktan farklı en düşük veya en yüksek taze beton sıcaklığı şartı bulunan durumlarda bu sıcaklıklar sapma sınırları da verilerek belirlenmelidir. Taze betonun teslimden önceki herhangi ısıtma veya soğutma işlemine ait şart imalâtçı ve kullanıcının ortak kararıyla belirlenmelidir (Anonim 2002a).

### 2.1.8 Kalite kavramı

Kapsamlı bir kalite tanımı oluşturmadan önce kalitenin kesinlikle ne olmadığını belirtmek yerinde olacaktır. Kalite pek çok kişinin bildiği veya tanımlamaya çalıştığı gibi “mutlak anlamda en iyi” demek değildir. Kalite, ancak mamülün fonksiyonuna, diğer bir deyişle hizmet ettiği amaca göre bir anlam taşıyabilir (Kobu 1998).

Kalite birçok şekilde tanımlanabilir. Kalitenin geleneksel tanımı “kullanıma uygunluktur”. Kullanıma uygunluk tanımının, tasarım kalitesi ve uygunluk kalitesi olarak iki bakış açısı vardır. Genellikle insanlar kaliteyi bir ürünün işlevine ait istenen, bir veya birden çok özelliğe ilişkilendirerek tanımlarlar. Bu kavramsal tanım iyi bir başlangıç olsa da daha kesin ve yararlı tanımlar vardır (Montgomery 2009). Kalite, pazara uyan makul bir fiyatta, güvenilir ve benzer olmanın önceden bilinebilme derecesidir (Gitlow vd. 1995).

“Kalite değişkenlikle ters orantılıdır” tanımı ise daha moderndir ve daha sık kullanılır. Kalite, rekabet halindeki ürün ve servisler için en önemli müşteri karar faktörü olmuştur. Bu olgu müşterinin birey olup olmadığı, endüstriyel bir organizasyon olup olmadığı, perakende dükkanı ya da askeri savunma programı olup olmadığına göre genişler. Bu yüzden kaliteyi anlamak ve kalitenin geliştirilmesi, iş başarısı, büyümesi ve rekabetsel konum açısından anahtar bir faktördür. Bütün şirket politikasının bir parçası olarak uygulanan kalite iyileştirilmesi anlayışının yapılan yatırımlarda çok fazla geri dönüşümleri olmaktadır (Montgomery 2009).

Kalite kavramı insanlığın doğuşu kadar eski bir tarihe sahiptir. Tarih boyunca çeşitli şekillerde kalite kavramı önem kazanmıştır. İlk başlarda müşteri odaklılık bir gereklilik iken, zamanla kitle üretiminin yaygınlaşması bunu zor bir hale getirmiştir. Artan rekabet şartları nedeniyle “müşteri odaklı kalite” kavramı günümüzde yeniden önem kazanmıştır. Kalite, genel olarak üretim işletmeleri için, süreç içi ve süreç dışı olarak iki şekilde kontrol altında tutulmaya çalışılsa da daha çok tasarımı ilgilendiren süreç dışı kalite kontrolü günümüzde oldukça önem kazanmıştır.

Kalite kavramı çoğu kez insan duygularının algılarıyla karıştırılmaktadır. Örneğin güzel, iyi gibi kavramlar kişiden kişiye göre değişmesine karşın belirli bir mal veya hizmetin kalitesinin aldığı değerin değişiklik göstermemesi gerekir. Kişiler talep ettikleri kalite düzeyini bilmediklerinden dolayı “olabildiğince iyi (kaliteli) olsun” anlayışı içinde mal ve hizmet talep etmektedirler (Özdemir 2006).

Kalite, bir ürün veya hizmetin belirlenen ya da olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır (Hoyland ve Rausand 2003). Taguchi kaliteyi, ürünün sevkiyattan sonra toplumda neden olduğu en az zarar olarak tanımlamıştır (Phadke 1989).

### **2.1.9 Kalite iyileştirme**

Kalite iyileştirme ürün veya süreçlerdeki değişkenliğin azaltılmasıdır. İşletmelerin başarısı, büyümesi ve rekabet edebilmeleri için KALİTENİN ANLAŞILMASI ve İYİLEŞTİRİLMESİ bir gerekliliktir. Genellikle kalite iyileştirmenin maliyeti verimlilik artışından sağlanacak faydaya kıyasla düşüktür. Kalitenin iyileştirilmesi, verimliliğin artmasına ve maliyetlerin düşmesine katkı sağlar (Montgomery 2009).

### **2.1.10 Kalite mühendisliği terimleri**

Kalite Mühendisliği; bir işletmede üretilen ürünlerin kalite özelliklerinin belirlenmiş ölçütlere uygunluğunu sağlamak için gerçekleştirilen operasyonel, yönetsel ve mühendislik faaliyetleridir.

İstatistik bilim dalı problem çözme ve karar verme için veri toplanması, sunumu, analizi ve kullanımı ile ilgilidir. Mühendislik uygulamaları çoğu zaman veri ile çalışmayı gerektirdiğinden mühendisler için istatistik bilgisi gereklidir. İstatistiksel teknikler ürünlerin ve sistemlerin geliştirilmesi, mevcut tasarımın iyileştirilmesi, üretim proseslerinin tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için kullanılabilir.

Rassal değişken; rassal bir mekanizmaya göre (olasılık dağılımı) yığında değişik değerler alan değişken olarak tanımlanabilir. Sürekli rassal değişken Őyle tanımlanabilir; rassal değişkene ait ölümlerin bir gerçek sayı olduğu varsayılır ve ölümler istenilen hassasiyetle yapılabilir. Değişkenin alabileceği değerler sayılamayacak kadar çoktur.

Kesikli rassal değişkene ait ölümler ise tam sayıdır veya gerçek ekseninde kesikli noktalarla kısıtlıdır. Genellikle sayım veya oran şeklindedir. Rassal değişkenin alabileceği değerler kısıtlı olsa bile olası değerler aralığı geniŐse sürekli rassal değişken olarak kabul edilmesi uygun olabilir.

Bir yığından (population) seçilen ölümler koleksiyonuna örnek (sample) denir. Bir yığından seçilen örnek ile yığın hakkında yargıda bulunmaya veya karar vermeye istatistiksel sonuç çıkarma (statistical inference) denilir. rnek verinin bilinmeyen parametreler içermeyen herhangi bir fonksiyonu istatistik olarak adlandırılır. Kalite karakteristiği için bir veri rneği mevcutsa örneğin merkezi eğilimi ve yayılımı hakkında sayısal veya grafiksel yöntemlerle bilgi sahibi olunabilir.

### **2.1.11 Kalite karakteristikleri**

Tüketiciler veya kullanicıların kalite olarak düŐündüęü ve bir ürünü tanımlayan bazı özellikler vardır, bunlara *kalite karakteristikleri* (quality characteristics) veya *kalite-için-kritik* (critical-to-quality, CTQ) zellikler denilir. Kalite karakteristiklerine fiziksel olarak uzunluk, ağırlık, voltaj, yoğunluk; duysal olarak tat, görüntü, renk; zamansal olarak güvenilirlik, dayanıklılık, bakım-onarım örnekleri verilebilir (Montgomery 2009).

Kalite mühendisliğinde istatistiksel metodlar kullanılırken kalite karakteristikleri aşağıdaki Şekilde sınıflandırılır (Montgomery 2009);

Niceliksel Veri (Quantative data): Uzunluk, voltaj, akışkanlık gibi sürekli ölümlerdir.

Niteliksel Veri (Attributes data): Sayım gibi kesikli veridir.

## 2.2 Hazır Beton Bileşenleri

Betonu oluşturan ham maddeler agrega (ince ve kaba), su, çimento, kimyasal ve mineral katkılarıdır (Şekil 2.1).

<b>% 10</b> <b>ÇİMENTO</b>
<b>% 15</b> <b>SU</b>
<b>% 75</b> <b>AGREGA</b>

Şekil 2.1 Hazır beton bileşenleri

Bileşen malzemeler, betonun dayanıklılığını olumsuz etkileyebilecek veya donatı korozyonuna sebep olabilecek miktarda zararlı madde içermemeli ve betonda kullanım amacına uygun olmalıdır. Beton mutlak hacim olarak, %75 oranında agrega, %10 oranında çimento ve %15 oranında sudan oluşur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %2'sinden fazla olmamak kaydı ile katkı maddesi ilave edilebilir (Demiryürek 2007).

### 2.2.1 Agrega

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm'yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen) büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır. Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden

elde edilen uçucu kül agregası. Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75'ini oluşturur (Demiryürek 2007).

Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve kaba (çakıl, kırmataş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.

Agreganın kirliliği (kil, silt, mil, toz,...) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620+A1'e uygun olmalıdır (Demiryürek 2007).

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun 'hacim değişikliğini' önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun 'aşınmaya karşı dayanımını' arttırması, çevre etkilerine karşı 'dayanıklılığını' arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı 'dayanımı' sağlayabilmesi gelir. Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, granülometrisi, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir (Demiryürek 2007).

### **2.2.2 Çimento**

Çimento; başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri içeren hammaddelerin sinterleşme derecelerine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamül

madde klinkerin, tek veya daha fazla katkı maddesi katılarak öğütülmesi ile üretilen hidrolik bağlayıcı maddelere denir (Özgür 1996). Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket ..vs) yapıştırma kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve / veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) eklenip (%4-5) oranında, çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürufu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu, ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır (Demiryürek 2007).

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan CaO için kalker (kireçtaşı);  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Anonim 2001).

Çimentolarda dört ana bileşen vardır. Bunlar karma oksitlerdir.

- 1-  $\text{C}_2\text{S}$  olarak kısaltılan  $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ (bikalsiyum silikat)
- 2-  $\text{C}_3\text{S}$  olarak kısaltılan  $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ (trikalsiyum silikat)
- 3-  $\text{C}_3\text{A}$  olarak kısaltılan  $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ (trikalsiyum alüminat)
- 4-  $\text{C}_4\text{AF}$  olarak kısaltılan  $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetrakalsiyum alümino ferrit)

Bunların dışında alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve minör oksitler dediğimiz birleşmemiş CaO, MgO, bazı durumlarda  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve erimeyen maddeler (çoğunlukla  $\text{SiO}_2$ ) de bulunur



### 2.2.3 Karma suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlelerin sertleşmesini sağlamak gibi iki önemli işlevi vardır. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır (<http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=26>, 2012). TS EN 206'ya göre karma suyu TS EN 1008 'e uygun olmalıdır (Anonim 2003a).

### 2.2.4 Kimyasal katkılar

Katkılar, su, çimento, agrega ve liflerin dışında betona veya harca, karıştırma esnasında veya hemen öncesinde eklenen malzemedir. Günümüzde fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı, kaliteli ve yüksek performanslı beton üretimi, gerek kimyasal gerekse mineral katkıların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Katkılar, taze veya sertleşmiş betonun bir veya birden fazla özelliğini geliştirebilir. Katkılar, genel olarak belirli bir uygulama için daha uygun beton üretmek, ekonomik nedenler ve enerji veya doğal kaynaklarda tasarruf sağlamak gibi amaçlarla betonda kullanılır (Ramyar 2007). Katkıların betonda yaratacağı etki, a) çimento kompozisyonu ve inceliği gibi özellikleri; b) betonun çimento içeriği; c) agreganın granülometrisi, içerdiği safsızlıklar ve diğer özellikleri; d) betonun karışım oranları; e) betonda kullanılan diğer katkıları; f) karıştırıcının türü ve karışım süresi; g) katkının betona eklenme yöntemi; h) betonun sıcaklığı ve i) kür koşulları gibi çok sayıda faktöre bağlıdır (Erdoğan 1997). Beton katkı

maddeleri genel olarak dört ana sınıfa ayrılır: hava sürükleyici katkılar, kimyasal katkılar, mineral katkılar ve bunların dışındaki diğer katkılar (Ramyar 2007).

Günümüzde, beton özelliklerinde sağladığı iyileştirmelerden dolayı betonun vazgeçilmez bileşenlerinden biri haline gelen kimyasal katkılar, betonun karıştırma ve yerleştirme sürelerindeki sınırlamalarda, olumsuz hava koşullarında, yerleştirme sırasındaki problemlerde, pompalanabilir, yüksek dayanımlı ve durabilitesi yüksek beton üretiminde etkin bir rol oynarlar. Kimyasal katkı maddeleri, çimento ile etkileşerek fiziksel, kimyasal, ya da fizikokimyasal bir reaksiyona girip betonun özelliklerini değiştirirler (Yıldırım 2007, Demiryürek 2007). TS EN 934-2 standardına göre, kimyasal katkı; a) su azaltıcı, b) priz geciktirici, c) priz hızlandırıcı, d) su azaltıcı ve priz geciktirici, e) su azaltıcı ve hızlandırıcı, f) yüksek oranda su azaltıcı ve g) yüksek oranda su azaltıcı ve priz geciktirici h) hava sürükleyici i) su tutucu j) sertleşmeyi hızlandırıcı k) su geçirimsizlik olarak onbir sınıfa ayrılır (Anonim 2013).

a) Su Azaltıcılar: (Akışkanlaştırıcılar): Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.

b) Priz Geciktiriciler: Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.

c) Priz Hızlandırıcılar: Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d) Antifrizler: Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

e) Hava Sürükleyici Katkılar: Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve donatıya karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

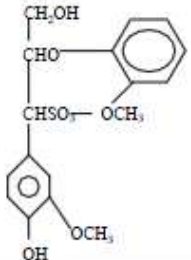
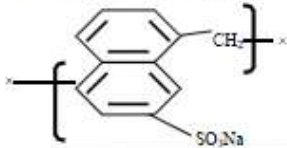
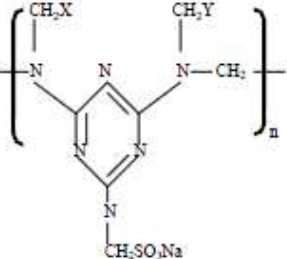
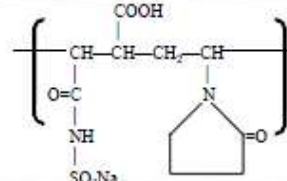
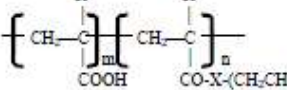
f) Su Geçirimsizlik Katkıları: Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır (<http://www.kalitekontrol.net/beton/beton-katki-maddeleri.html>).

Bu incelemede dikkate alınacak su azaltıcı katkıları, organik veya organik ve inorganik bileşenlerden oluşmakta ve betonda belli bir kıvam için gereken su miktarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Azalan su miktarına bağlı olarak bu katkıları, akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır. Normal dozajlarda, akışkanlaştırıcılar karışım suyu miktarını %5-11 arasında, süperakışkanlaştırıcılar ise %12 ve üzerinde azaltabilmektedir (Anonymous 2002).

Yüksek performanslı beton üretiminde iki ana hedef, su/bağlayıcı oranını olabildiğince azaltmak ve betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerine yerleştirmektir. Bu iki istek klasik beton teknolojisinde en önemli çelişkidir. Ancak süperakışkanlaştırıcıların bulunması ile bu çelişki ortadan kalkmıştır (Akman 1999). Süperakışkanlaştırıcıları diğer katkılardan ayıran en önemli özelliği çok fonksiyonlu iyileştirme sağlamasıdır. Sabit bir işlenebilirlik değerinde, süperakışkanlaştırıcının su azaltıcı olarak kullanılması durumunda, su/çimento oranının azalmasıyla kapiler boşluk ve geçirimsizlik azalır. Böylece dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlanır (Collepardi 2005). Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanarak, karışım su/çimento oranı sabit kalacak şekilde su ve çimento içeriği azaltılabilir. Böylece, karışımın dayanım ve işlenebilirlik özelliklerinde çimentonun azalmasıyla hidrasyon ısı azalır. Katkının bu amaçla kullanımı, özellikle sıcak iklimlerde ve kütle beton uygulamalarında kolaylık sağlayabilir. Bu gibi uygulamada, karışımda azalan hamur hacminin yerini agrega alması sonucunda agrega/çimento oranı artar ve karışımın büzülmesi azalır. Kontrol karışımına, karışım oranlarına dokunmadan süperakışkanlaştırıcı eklenmesi durumunda ise dayanım ve durabilite özelliklerinde değişim olmadan, işlenebilirlikte artış gözlenir (Ramyar 2007).

Süperakışkanlaştırıcı katkılar, kimyasal kökenlerine bağlı olarak dört ana sınıfa ayrılır (Aitcin 1998). Bazı beton kimyasallarının kimyasal yapısı ve % 40'lık çözeltileri Şekil 2.2'de verilmiştir ([http://www.dicleeseryapi.com/documents/Beton\\_Katkileri.pdf](http://www.dicleeseryapi.com/documents/Beton_Katkileri.pdf) 2012).

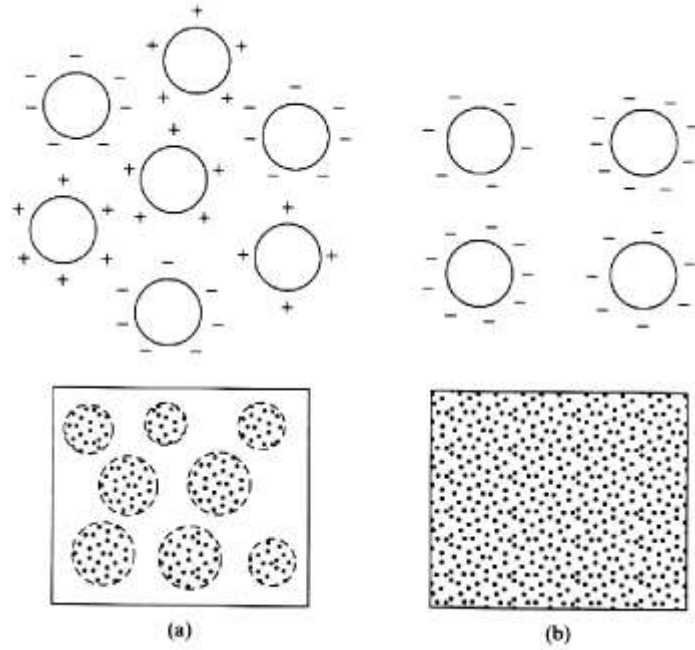
1. Polinaftalin sülfonatlar (sülfone naftalin formaldehit kondensesi-SNF)
2. Polimelamin sülfonatlar (sülfone melamin formaldehit kondensesi- SMF)
3. Modifiye lignosülfonatlar (MLS)
4. Poliakrilat ve polikarboksilatlar (PK).

Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Yoğunluk
1-Lignin Çözeltisi		1.1800g/ml
2-Melas Çözeltisi	Yan ürün olduğundan kimyasal yapısı gösterilmemiştir	1.1740g/ml
3-Naftalin Sülfonat Çöz.		1.2200g/ml
4-Melamin Sülfonat Çöz.		1.2368g/ml
5-Vinil kopolimer Çözeltisi		1.2100g/ml
6-Modifiye Karboksilat çöz.		1.1027g/ml

Şekil 2.2 Hazır beton için kullanılan kimyasal katkılar

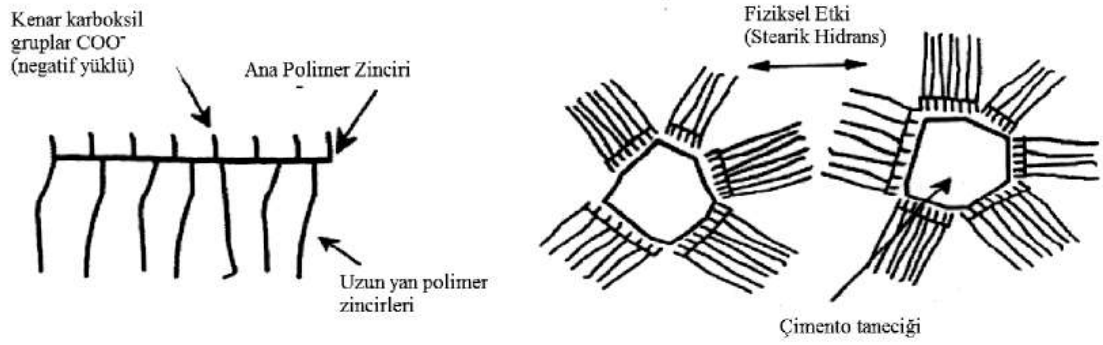
Süperakışkanlaştırıcı içeren çimentolu sistemde, çimento tanelerinin dağılma özeliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla açıklanır.

Elektrostatik etki mekanizmasında süperakışkanlaştırıcı, çimento tanelerinin topaklaşmasını önler. Bu etkiyle çimento hamurunun akışkanlığı artar. Çimento tanelerinin topaklaşmasına neden olan çekim kuvvetleri, negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması sonucu, nötr veya negatif yüklü hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmektedir (Collepardi 2005, Mindess 2003). Katkının etkisiyle katı-sıvı arayüzeyinde oluşan kuvvetler, karışımın kararlılığını etkiler. Askıdaki çimento tanesi benzer elektriksel yük taşır ve bunların arasında bir itme kuvveti oluşur. Bu elektriksel yükler yeterince fazla ise taneler birbirinden ayrı kalır ve topaklaşma oluşmaz. Şekil 2.3.a b’de su azaltıcı katkının çimento tanelerinin dağıtılmasında olan etkisi gösterilmiştir (Mindess 2003).



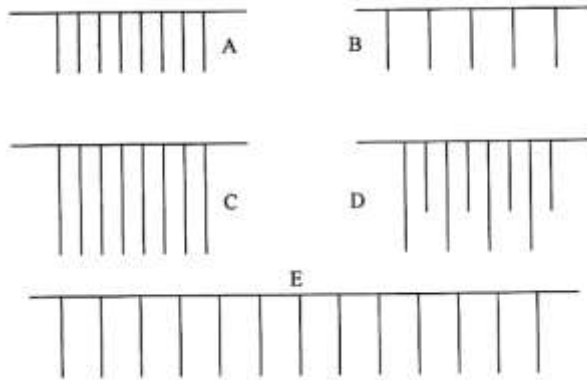
Şekil 2.3 Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi  
a. topaklaşmış hamur, b. katkılı hamur

Polikarboksilat esaslı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik etkiden çok, stearik (fiziksel-geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında fiziksel bir etki oluşturmakta ve topaklaşmayı önlemektedir (Collepardi 2005, Ramyar 2007)



Şekil 2.4 Katkıların stearik etkisi

Stearik etki, elektrostatik etkinin tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, boşluk çözeltisindeki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenebilir. Stearik etkide önemli rol oynayan parametreler ana zincir uzunluğu, yan zincirlerin uzunluğu ve yan zincirler arası mesafe olarak verilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri Yan zincirler arasındaki mesafe farklılığı A-B, yan zincir uzunluğu farklılığı C-D, ana zincir uzunluğu farklılığı A, B, C, D-E.

### 2.2.5 Mineral katkıları

Çimento su ile karıştırıldığında kalsiyum silikatlar bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat, C-S-H, jelini oluştururlar ve bir miktar kireç hidrat, CH açığa çıkar. C3S erken dayanıma ve hidrasyon ısısına daha fazla katkıda bulunur. Daha fazla kireç açığa çıkar. Kalsiyum alüminatlar da jel meydana getirirler. C3A hidrasyon ısısını artırır, sülfatlara karşı direnci azaltır. Bağlayıcı özellikteki C-S-H jelleri ile kalsiyum alüminat jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmakta, kireç hidrat CH açığa çıkmakta ve

gözenekler oluşmaktadır. CH ve gözenekler dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkiler. Mineral katkıları CH'ı zamanla bağlayarak yeni C-S-H jeline dönüştürecek ve gözenekleri tıkayacaktır. Dolayısıyla zamana bağlı dayanım ve dayanıklılık artacaktır (Yeğinoğlu ve Ertün 2005). Betonun değişik özelliklerini ve ekonomisini olumlu yönde etkileyebilmek amacıyla çoğu zaman uçucu kül ve silis dumanı gibi doğal olarak ince taneli durumda olan veya granüle yüksek fırın cürufu ve doğal puzolan gibi öğütülerek ince taneli duruma getirilmiş mineral katkı maddeleri kullanılmaktadır (Kılınç 2007)

İnce taneli mineral katkı maddelerinin kullanılması, sabit bir çökme değeri için, betonda kullanılacak karma suyu ihtiyacını az miktarda arttırmaktadır (Erdoğan 2003). Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi mineral bağlayıcı katkıların beton üretiminde kullanılması, mekanik dayanım, işlenebilirlik, dayanıklılık gibi betondan beklenen temel özellikleri geliştirebilmektedirler. Bu katkıları puzolan özelliğe sahip olduklarından dayanım üzerine olumlu etkileri vardır. İşlenebilirliğe etkileri ise inceliklerine ve tane geometrilerine bağlıdır. Betona uçucu kül katılması, çökmeyi azaltır ve vebe zamanını kısaltır. Silis dumanı ise, çökmeyi artırır ve vebe zamanını kısaltır. Çökme deneyi viskozite ile vebe deneyi akma sınırı ile ilişkilidir. Brown' a göre uçucu kül kullanılması, akma sınırını düşürerek olumlu etki yaparken, viskoziteyi azaltır. Mineral katkı miktarı arttıkça yayılma değerindeki azalma, uçucu küle göre silis dumanında daha fazla olur. Yüksek fırın cürufu (YFC) genellikle portland çimentosu klinkerine ilave edilerek katkılı cüruf çimentoları üretilmesi ve betonda bu tip çimentoların kullanılması yolu ile beton bileşimine girmektedir (Kılınç 2007).

Uçucu kül terimi 1930'lu yıllarda elektrik enerjisi endüstrisinin yayılmasıyla ortaya çıkmış ve uçucu külün Portland çimentosu içinde kullanımı yine bu tarihlerde başlamıştır. 1937 yılında R.E Davis Kaliforniya Üniversitesinde uçucu küllü betonla ilgili araştırma sonuçlarını yayımlamış ve bu çalışma ilk şartnamelerin, test metodlarının ve uçucu kül kullanımının temelini oluşturmuştur. 1970'li yıllarda yaşanan enerji maliyetindeki hızlı artış sonucunda, elektrik santrallerinde daha fazla kömür kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda uçucu kül üretiminde bir artış meydana gelmiş, uçucu kül kullanımı tüm dünya genelinde kabul görmeye başlamıştır (Karahana 2006). Uçucu küllerin önemli miktarda kullanılmaya başlanması ise baraj inşaatları

sırasında ve betonda hidratasyon ısısının düşürmek amacı ile olmuştur. 1940'lı yıllarda ABD'de ilk kullanım Hoover ve Hungry Horse barajlarında olmuştur. Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında kullanılması planlanmıştır. Daha sonraki yıllarda uçucu küllü betonların daha kolay işlenebilir, geçirimsiz ve ekonomik oluşları sebebiyle diğer ülkelerde de kullanımları hızla yaygınlaşmıştır (Türker vd. 2003).

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve kömür hazırlama, yanma, toz toplama gibi koşullara bağlıdır. Uçucu küllerin kimyasal yapılarında ana elementler olarak Si, Al, Ca, Fe ve S bulunur. Bu elementleri yanma biçimine bağlı olarak oluşan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  ve  $\text{SO}_3$  olup, diğerleri  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  ve benzeri oksitler bulunabilir. Uçucu küllerin karbon içeriği termik santrallerin verimine bağlı olmakla birlikte yaklaşık %3 civarındadır. Diğer oksitlerden  $\text{MgO}$  en fazla %5, alkali oksitler ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) %5'in altında bulunmaktadır.  $\text{SO}_3$  genellikle %0.2-%2.5 arasında değişmekle birlikte %10'a kadar yükselmektedir. TS EN 450 (2008)  $\text{SO}_3$  değerini en fazla %3 olarak sınırlamaktadır. Kızdırma kaybı, esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekle birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozunması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya  $\text{CO}_2$  kaybını da içine almaktadır. Kızdırma kaybı % 1-% 10 arasındadır. Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır (Anonymous 2000; Anonim 2002b). ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar (Anonymous 2000). F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi % 70'den fazla olan uçucu küller girmektedir (Anonymous 2000). Çizelge 2.1'de F sınıfı ve C sınıfı uçucu küllerin kimyasal bileşenlerinin yüzdelerinin hangi sınırlar civarında olabileceği gösterilmiştir (Türker vd. 2003, Anonim 2008b).



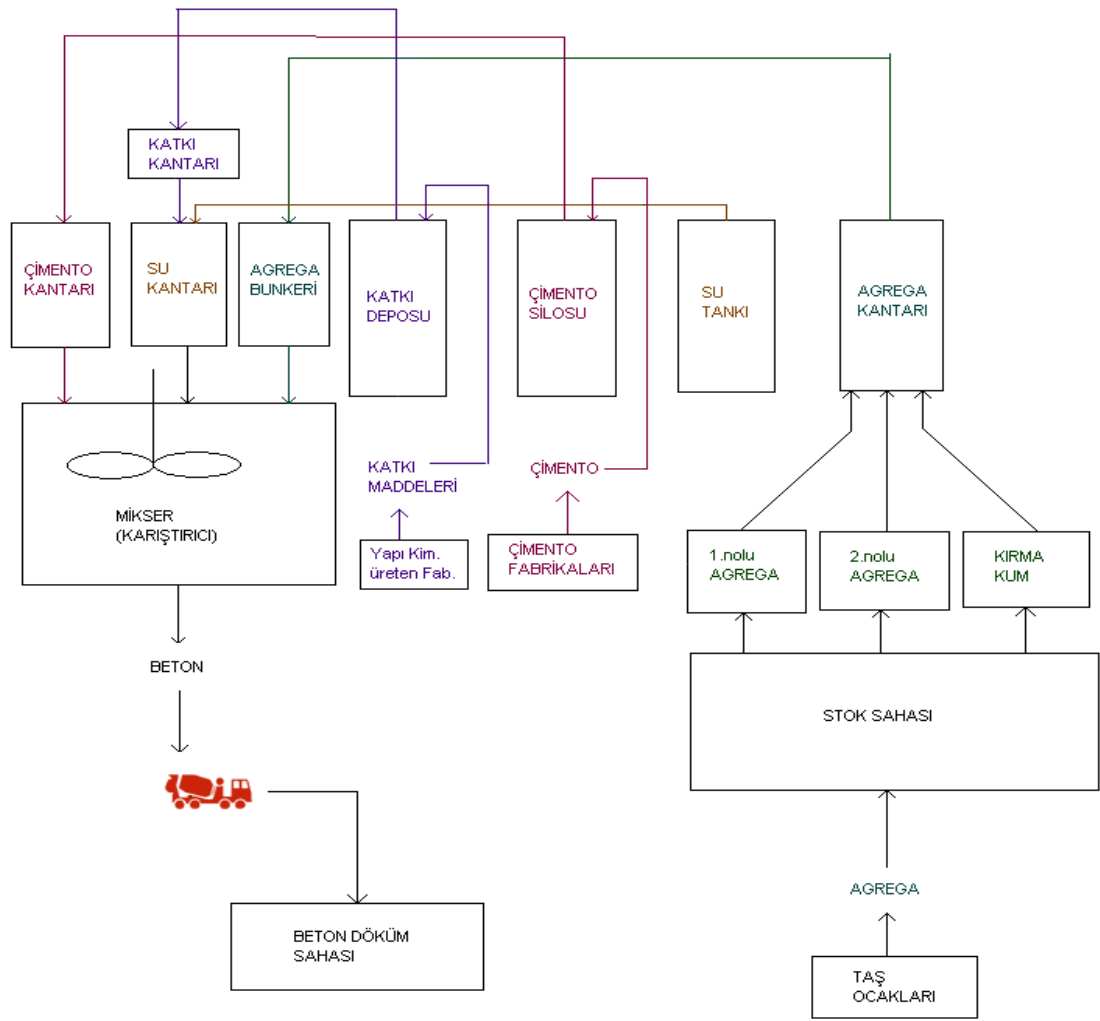
Çizelge 2.1 Uçucu küllerin tipik kimyasal kompozisyonları

Oksit	F Sınıfı	C Sınıfı
SiO <sub>2</sub>	43.6- 64.4	23.1 - 50.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.6- 30.1	13.3 - 21.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.8 -23.9	3.7 - 22.5
CaO	0.7 -11.5	11.5 - 29.0
MgO	0.9 -1.5	1.5 - 7.5
Na <sub>2</sub> O	0.0 -0.4	0.4 - 1.9
KK	0.4 -0.3	0.3 - 1.9

### 2.3 Hazır Beton Üretimi

Hazır betonun başlıca iki üretim sistemi vardır: Yaş sistem ve kuru sistem. Kuru sistemde beton üretimi, özellikle 30 km.'nin üzerinde uzun taşıma mesafeleri söz konusu olduğunda kullanılmaktadır. Bu sistemde, beton bileşenleri su katılmaksızın transmikseler araçlarına yüklenir ve karışıma, betonun döküleceği yerde gerekli miktarda su ilave edilerek imalat gerçekleştirilir. Yaş sistem beton üretiminde ise su dâhil tüm bileşenler beton üretim tesisinde karıştırılarak transmiksere yüklenir ve 0–30 km. uzaklıktaki döküm yerine gönderilir (Anonim 2008a).

Her iki sistemde de, üretim tesisine getirilen mıcır, kum boyutlarına göre ayrı ayrı sınıflandırılarak, yıldız veya bunker tipi depolarda stoklanır. Çimento ve katkıları ise özel imal edilmiş silo ve tanklarda stoklanır. Beton cinsine göre hammaddelerin kullanım miktarları bilimsel yöntemlerle saptanır ve ilgili veriler otomasyon sistemindeki bilgisayara yüklenir. Üretim, bu bilgisayarlar vasıtasıyla gerçekleştirilir ve hata oranı sıfırlanır. Bilimsel metodlar kullanılarak oluşturulan beton bileşim formüllerine göre üretim santrallerinde bu hammaddeler özel pan mikserlerde karıştırılır ve transmiksere yüklenir ve döküm yapılacağı mahale gönderilir ve çoğunlukla pompalanarak kalıba dökülür. Herhangi bir önlem alınmadığında iki saat içerisinde tüketilmesi gerekmektedir (Anonim 2008a). Her iki sistemde de çimento, mıcır, kum, katkı ve su oranları bilgisayarla kumanda edilen üretim tesislerinde karıştırılır (Şekil 2.5).



Şekil 2.6 Hazır beton üretim akış şeması

### 2.3.1 Agregatın üretimi

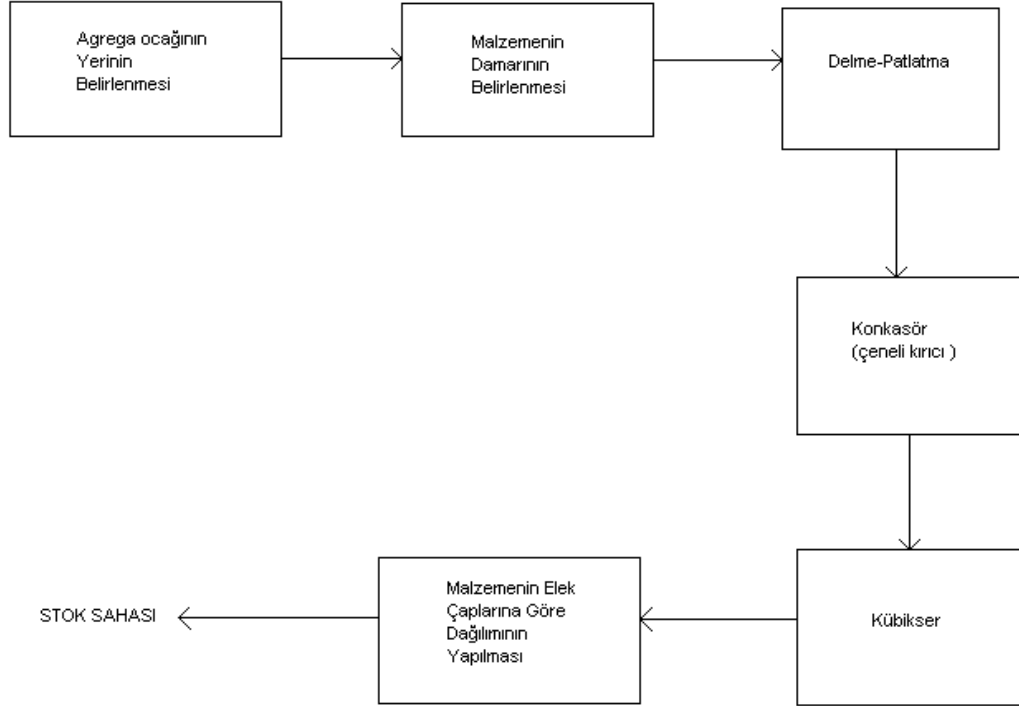
Hazır betonun üretiminde, öncelikle hazır betonu oluşturan bileşenlerin üretimini açıklamak gerekir. Kum ve çakıl genelde aynı yatakta bulunur, fakat bunların birbirine oranı ve tane boyutu dağılımı her yatakta değişir. Bu nedenle spesifikasyonlarına uygun agregatın üretimi için uygun yıkama-eleme teçhizatının kullanılmasını gerektirmektedir. Mıçır için açık ocak işletmeciliği yapılmakta olup, ocaktan elde edilen malzeme uygun primer-sekonder kırıcılardan geçirilir ve sonra uygun eleme sonucu tüketiciye arz edilir. Kırılmış agreganın ekonomik nakliye mesafesi yaklaşık 50 km kabul edilmektedir. Türkiye’de kırmataş üretiminin tamamı açık ocak işletmeciliği ile elde edilmektedir (Anonim 1996).

Taşocaklarından üretim sistemi muhtelif olabilmektedir. Bunda belirleyici faktörler, kayacın sökülebilirliğinden çevresel etkilere kadar çok değişkendir. Sökülebilir kayalar ripperli dozerle sökme ve yükleme yerinde kürüme yapılarak üretilir. Sökme işlemi yapılan mesafenin 50-100 m arasında olması gerekmektedir. Taşocaklarında üretim yöntemi olarak uygulanan galeri patlamasıyla üretim sistemi teknolojinin gelişimi ile delme-patlama yöntemine bırakılmaktadır. Galeri patlaması fazla patlayıcı gerektirmesi, düzgün patlayıcı sistemi oluşturmaması ve şiddetli sarsıntıların çevresel etkileri nedeniyle uygulanmamalıdır. Delme-patlama yönteminde bir yada birden fazla sıralı delikler açılarak patlayıcılarla doldurulur ve ateşleme yapılır. Delinen deliklerin çapları, derinliği ve aralarındaki uzaklık formasyonu niteliğine, basamak yüksekliğine günlük üretime göre değişir (Anonim 1996).

Agrega'nın üretim basamakları şöyle sıralanabilir:

- Hazır betonda kullanılacak agrega ocağının yerinin belirlenmesi
- Alınacak malzemenin kalite veya çalışma sahası açısından damarının belirlenmesi
- Malzemenin büyük kaya parçaları halinde bölünmesi için patlatma yapılması
- Büyük kaya parçalarının konkasör (çeneli kırıcı ) de ufalanması ( ceviz veya yumruk büyüklüğünde kırılması )
- Konkasörden çıkan malzemenin daha ufak parçalara bölünmesi için kübiksere gönderilmesi
- Kübikserden çıkan malzemenin elek çaplarına göre dağılımının yapılması ( 0-4 mm, 4-11 mm, 11-22 mm vb. )

Elek çaplarına göre ayrılan agregalar 1 nolu agrega ( apı 4 mm altında ince agrega ), 2nolu agrega ( apı 4 mm üstünde kaba agrega ) ve kırma kum olmak üzere hazır beton yapımında kullanılmak üzere fabrika stok sahasına taşınır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Agrega retim akış Şeması

### 2.3.2 Çimento retimi

Portland imentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmesi ile ortaya çıkan ve “klinker” olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan 2003).

Portland imentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, imento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirmek için seçilen hammadde de demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen portland çimentosunun rengi beyaz ve beyaza yakın olmaktadır. Boyutları 1–200 µm arasında olmaktadır (Erdoğan 2003). 20.

yüzyılda iyice yaygınlaşan dönel fırınlar esas olarak silika, kireç, alümina ve demir oksitten oluşan çimento hammadde karışımlarının yüksek sıcaklıklara kadar (1500°C) pişirilmesine imkân sağlamışlardır. Hammadde karışımının içerisinde bulunan kil, 500-600°C sıcaklıkta ayrılarak SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitlere dönüşmektedir. Kalker, 900°C sıcaklık seviyelerinde CaO ve CaCO<sub>2</sub> haline dönüşmektedir (Moir, 2003). Çizelge 2.2’de hammadde karışımının fırında pişmesi sırasında, çimentonun % 95’ini teşkil eden klinkerin oluşum tepkimeleri ve sıcaklık dereceleri özet olarak aşağıda verilmiştir (Atar 2006).

Çizelge 2.2 Klinkerin oluşum tepkimeleri ve sıcaklık dereceleri (Atar 2006)

Sıcaklık	Proses	Termik değişim
100°C’de	Hammaddenin serbest suyunun buharlaşması	Endotermik
500°C ve üstü	Kil minerallerinin bağlı suyunun buharlaşması	Endotermik
800°C-900°C	Kalsinasyon yani CaCO <sub>3</sub> ’ün bozunması başlar CaCO <sub>3</sub> → CaO + CO <sub>2</sub>	Endotermik
900°C ve üstü	Kil minerallerine ait ürünlerin kristalleşmesi	Endotermik
900-1200°C arasında oluşan tepkimeler	Kalsiyum oksitle alüminasilikatlar	Ekzotermik

Sıcaklığın etkisiyle hammadde karışımından açığa çıkan CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitler, sıcaklık arttıkça (yaklaşık 1200°C) kendi aralarında kimyasal reaksiyona başlamaktadır. 1250–1300°C sıcaklıkta, hammadde karışımının %20- 30’u sınırlama göstermekte ve klinker denilen irili ufaklı katı tanecikler haline dönüşmektedir. Oksitlerin 1200–1450°C civarındaki kimyasal reaksiyonlardan sonra, çimentoyu oluşturan ve birbirinden farklı özelliklere sahip dört ana bileşenin oluşumu tamamlanmış olur (Çizelge 2.3 - 2.4)

Çizelge 2.3 Portland çimentosu ana bileşenleri (Duda 1985)

Mineral faz	Kimyasal formül	Sembol
Trikalsiyum silikat (alit)	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C3S
Dikalsiyum silikat (belit)	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C2S
Trikalsiyum alüminat (celit)	3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C3A
Tetra kalsiyum alüminoferrit (felit)	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C4AF

Çizelge 2.4 Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları (Erdoğan 1995)

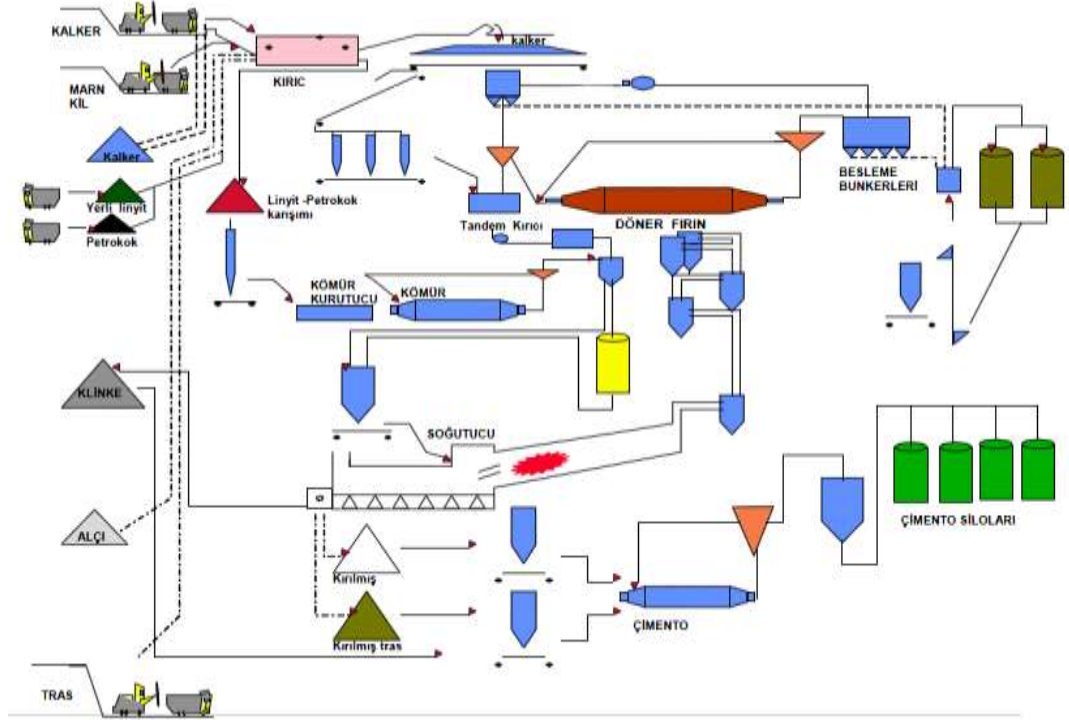
Oksitler	Yaygın adı	Miktarı (% ağırlıkça)
CaO	Kireç	60-67
SiO <sub>2</sub>	Silis	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümin	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir oksit	0.5-6
SO <sub>3</sub>	Kükürt trioksit	1-3
MgO	Magnezyum oksit	0.1-4
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	Alkaliler	0.2-1.3

Çimento'nun üretim basamakları şöyle sıralanabilir (Atar 2006);

- Hammadde ocakları; ocaklarda, çimentonun hammaddelerinden kalker, marn ve kil buldukları yerden patlayıcı madde ve/veya iş makineleri ile sökülür
- Konkasör; ocakta delme-patlatma yöntemiyle ve/veya iş makineleri kullanılarak yaklaşık 50\*50\*50 cm boyutlarına getirilen hammaddelerin, kırma işlemine tabi tutulduğu ünite konkasör'dür. Malzemeler, yaklaşık 2.5\*2.5\*2.5 cm boyutlarına dek kırılır.
- Preblending; konkasör ünitesinde kırılan hammaddenin homojene edildiği ünitedir. Tüm fabrikalarda bulunan bir ünite değildir.
- Farin değirmeni; konkasörde kırılmış olan malzemeler ya preblending ünitesinde homojene edildikten sonra ya da doğrudan farin değirmenine gönderilir. Farin değirmenleri, içlerinde çeşitli çapta çelik bilyalar bulunan ve kendi eksenleri

etrafında dönen boru değirmenler veya döner bir tabla ve bunların üzerine basan valslerden oluşan dik değirmenler olmak üzere iki tiptir. Değirmene öğütülecek hammadde alınırken, bu maddeyi kurutmak için fırından çıkan yaklaşık 320-400°C'deki sıcak gaz alınır. Değirmene un halinde ve rutubetini atmış olarak çıkan hammadde 'farin' adını alır.

- Kömür değirmeni; çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılacak olan kömürün, tıpkı hammadde gibi belirli bir inceliğe dek öğütülmesi gerekmektedir. Yakma inceliğine dek öğütülen kömür, toz kömür stok silosunda stoklanır. Burada bir tartı sistemi ile tartılıp taşıyıcı bir sistemle fırının alev borusuna gönderilir.
- Döner fırın; döner fırın muhtelif uzunlukta (50-65 metre ) ve çapta (4-5 metre ) %3.5-4.0 eğimli yatay bir silindiridir. İki ila dört yerden mesnetlenmiş olup, bir elektrik motoru ile döndürülmektedir. Girişte bir ön ısıtıcı, çıkışta ise bir soğutma bölümleriyle bağlantılıdır. Döner fırında, soğutmada ve ön ısıtıcı bölümünde yüksek ısı ve yüksek sıcaklığı haiz malzemeler ve gazlar bulunmaktadır. Fırın mantosunu yüksek sıcaklık ve ısıl gerilmelerden korumak için fırının içi refrakter malzeme ile örülerek aynı zamanda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Fırından ani soğutma işleminin gerçekleşeceği soğutma bölümüne dökülen malzemenin sıcaklığı 100-150°C'ye düşürülür ve malzeme klinker adını alır. Klinker, bir taşıyıcı sistem ile ( kovalı bant ) klinker stokholüne taşınır.
- Çimento değirmeni; çimento değirmenleri içlerinde çeşitli çaplarda öğütme malzemeleri bulunan ( çelik bilya, silpels vb...) muhtelif çap ve uzunlukta boru tip, dik yada horomill tipi değirmenlerdir. Fırından çıkan klinkere % 5 dolayında alçı taşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkı maddesi katılarak bu ünite de öğütme işlemi gerçekleştirilir.
- Paketleme; alıcılara çimento, bu ünite de sunulmaktadır. Alıcının istediği çimento dökme ya da ambalajlı (torbalı) olarak silobas yada kamyon ile bant teslimi yada şantiye teslimi olarak yapılır (Şekil 2.8).



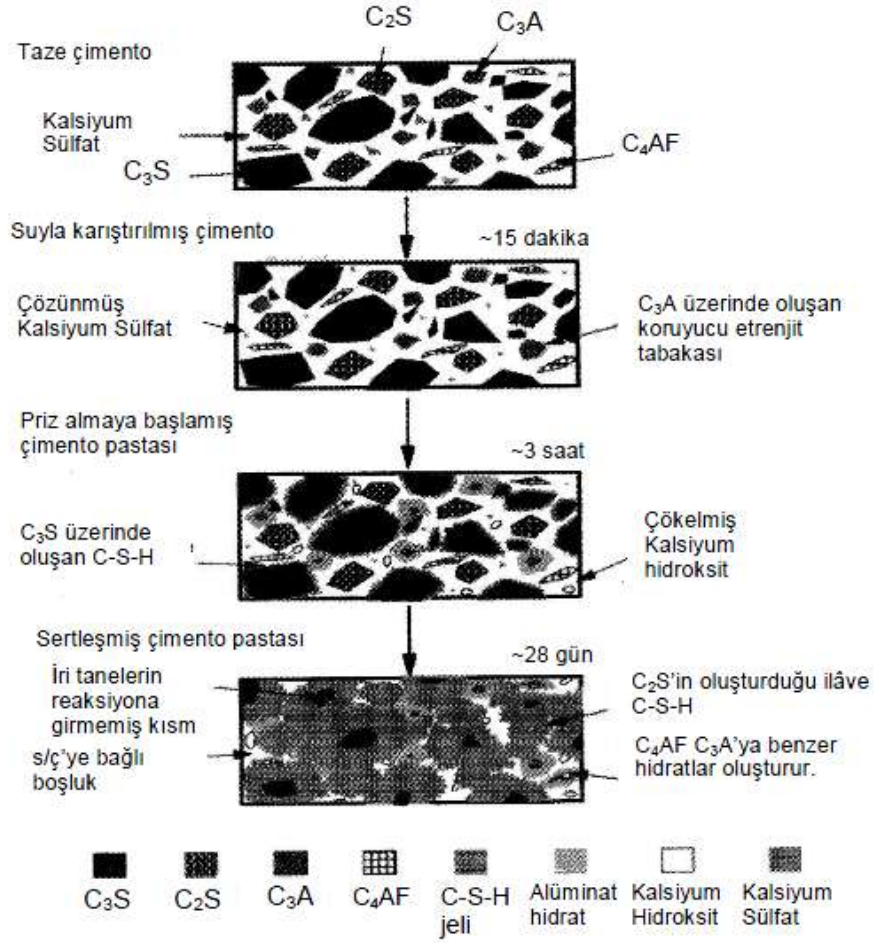
Şekil 2.8 Çimento üretim akış şeması (Anonim 2000)

### 2.3.3 Çimento hidratasyonu

Çimentoların su ile yaptığı kimyasal reaksiyona hidratasyon adı verilir. Diğer bir ifade ile anhidro kristallerin hidrate kristallere dönüşümüdür. Çimento su ile birleşir birleşmez her ana bileşen su ile ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve hidratasyon sonunda her ana bileşen tarafından değişik hidratasyon ürünleri oluşmaktadır. Bu reaksiyonların etkisiyle çimento hamuru katılaşmakta(priz almakta) ve sertleşmektedir (dayanım kazanmaktadır). Çimento hamurunun özellikleri, kimyasal reaksiyonlar sonunda ortaya çıkan değişik özelliklerdeki hidratasyon ürünlerinin çimento hamuru içerisinde ne oranda yer almış oldukları tarafından belirlenmektedir.

Çimento ve suyun karılmasıyla elde edilen çimento hamurunun hacmi, kullanılan çimentonun ve suyun hacimleri toplamına eşittir. Ana bileşenlerin hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ürünlerin bu hacim içerisinde yer aldığı, yani çimento hamuru hacminin değişmediği varsayılmaktadır. Aşağıda, çimento ana bileşenlerinin hidratasyonu ve ortaya çıkan hidratasyon ürünlerinin özellikleri açıklanmaktadır.

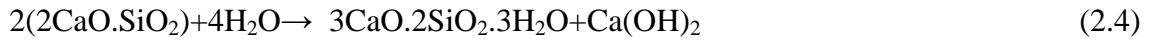
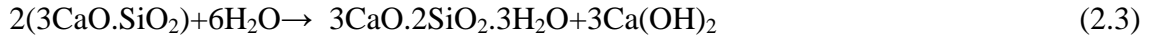
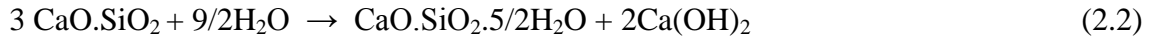
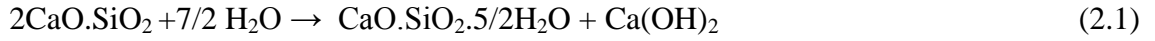




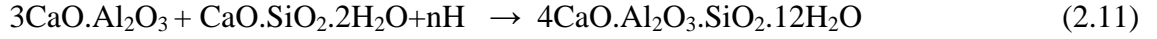
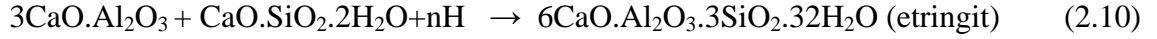
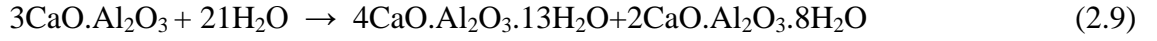
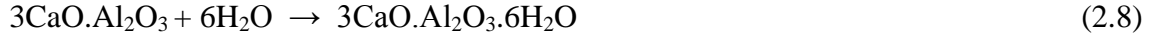
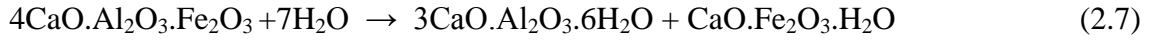
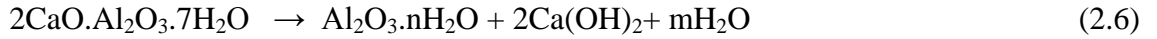
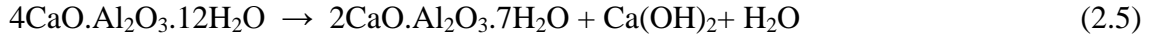
Şekil 2.9 Çimento hamurundaki hidrate yapı gelişimi (Moir 2003)

Çimentonun priz ve sertleşmesini açıklamak amacıyla bir çok teoriler ortaya atılmışsa da, sertleşme esnasında hidrasyon ve hidroliz olayları meydana geldiği hemen bütün araştırmacılarca kabul edilmektedir. Çimentonun hidrasyon (su ile birleşmesi) ürünlerinin sudaki çözünürlükleri çok düşük olduğundan su ile temas halinde beton çok uzun sürede dahi çözünmemektedir (Olçay 1998, Atar 2006). Hidrolik maddelerin sertleşme olayı Le Chatelier teorisine göre iki asamada gerçekleşmektedir. (1)Bağlanma, (2)Sertleşmedir (Kocaçitak 1978). Bağlanma birkaç dakikada meydana gelebilen hidratların, belirli bir düzene göre kristallere dönüşmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Sertleşme, amorf hidratların çözünerek tekrar kristallenmesi (küçük kristallerin daha büyük kristallere katılmaları) biçiminde oldukça uzun sürede gerçekleşmektedir. Bağlanma hidratlaşma etkileşimleri meydana gelmektedir. Dikalsiyum silikatın bir türü hidrasyona uğramakta diğer türlü ise metastabil olarak kalmaktadır (2.1). Az hidrolik oluşunun sebebi de budur. Trikalsiyum silikatın tamamı,

(2.2) denklemine göre hidratasyona uğramaktadır ve hidrolik derecesi yüksektir.  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , portland çimentosunun aktif bileşenlerinden biridir. Böylece çimentonun cinsine göre, birkaç saatten birkaç güne kadar değişen bir süre içinde viskozitesi artmakta ve sonunda hamurun kıvamı sabit kalmaktadır. Kalsiyum silikahidrat olarak ortaya çıkan hidratasyon ürünü, son yıllarda sadece C-S-H (Kalsiyum – silika - hidrat) jeli olarak adlandırılmaktadır. Jel sözcüğü, koloidal katı malzeme topluluğunu ifade etmektedir. Çimento hamurunun kazandığı dayanım  $\text{C}_3\text{S}$  ve  $\text{C}_2\text{S}$  ana bileşenlerinin hidratasyonu ile ortaya çıkan C-S-H jellerinin miktarına bağlıdır (Erdoğan 2003). Dolayısıyla  $\text{C}_3\text{S}$  erken dayanım üzerinde  $\text{C}_2\text{S}$  ise geç dayanım üzerinde etkilidir (Mehta, 1983).



Sertleşme olayında ise, çimentonun diğer önemli bir bileşeni olan trikalsiyum alüminat, su ile  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  gibi bir çok hidrat vermektedir. Ancak kireç oranı yüksek olan çimento ortamında,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  oluşmakta ve bu hidrattan da su etkisiyle yavaş yavaş  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  meydana gelmektedir (Olçay 1998, Atar 2006). Böylece trikalsiyum alüminat ve dikalsiyum alüminat hidratlar hidrolize uğrayarak çimento harcının sertleşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, bağlanma trikalsiyum silikat, sertlik ise trikalsiyum alüminat yoluyla gerçekleşmektedir. Bu teori meydana gelmesi gereken mono kalsiyum silikat kristallerin mikroskopta görülmemesi dolayısıyla, kesin bir surette doğrulanamamıştır. Le Chatelier teorisini alçı ile doğrulamak mümkündür. Alçı,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ , su ile karıştırılınca, kristallesen bir dihidrat,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  meydana gelir ve oluşan kristallerin birbirine bağlanması, yani kireçlenmesi yüzünden harc sertleşmektedir. Sertleşme hızı,  $\text{C}_3\text{A} > \text{C}_3\text{S} > \text{C}_4\text{AF} > \text{C}_2\text{S}$  sırasına göre verilmektedir.  $\text{C}_3\text{A}$ 'nın neden olduğu ani sertleşmeyi durdurmak için ortama geciktirici olarak alçı taşı katılmakta, bu da  $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$  oluşumunu yapmaktadır (Koçaçıtak 1978, Olçay 1998, Atar 2006).



Yukarıda kalsiyum – alümino – hidratlar kararlı değildir ve kısa sürede kararlı formdaki kübik hidrogarnet ( $\text{C}_3\text{AH}_6$ ) durumuna dönüşmektedir (Denklem 2.7, 2.8, 2.9).  $\text{C}_3\text{A}$  ve su arasındaki reaksiyonlar çok büyük miktarda ısı açığa çıkartacak tarzda ve büyük bir hızda olduğundan, çimento hamurunun ani prizine yol açmaktadır. Ani priz sonucunda çimento hamuru derhal katılaşma gösterdiği gibi, önemli sayılabilecek bir dayanım da kazanmaktadır. Çimento hamurunun ani priz yapmasını önlemek amacıyla, çimento üretimi esnasında, klinkere bir miktar (% 3–6) alçıtaşı katılmakta ve bu iki malzeme birlikte öğütülmektedir (Erdoğan 2003). Denklem 2.10 ve 2.11’de gösterildiği gibi alçılı ortamda (gerçek portland çimentoları)  $\text{C}_3\text{A}$ ’nın hidratasyonu ile etringit ve monosülfat formu adı verilen hidratasyon ürünleri elde edilir (Lea 1956)

### 2.3.4 Süper akışkanlaştırıcıların etki mekanizması

Yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcıların etki mekanizması, çimento parçacıklarının yüzeyi üzerinde adsorbe olma yeteneğine bağlıdır. Akışkanlaştırıcı katkıların adsorbe olma oranı çimentonun kimyasal ve mineralojik özelliklerine, inceliğine ve  $\text{C}_3\text{A}$  [ $\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ ] içerisine bağlıdır. Kalsiyum silikat, hidratasyonun birinci saati içerisinde, yüksek oranda su kesici katkı moleküllerinin çok az bir miktarını adsorbe edebilirken, kalsiyum alüminat bu molekülleri hızlı bir şekilde adsorbe edebilir (Biagini 1995).

Dağılımın ve sürekliliğin açıklanması farklı teorilere bağlı olarak yapılmaktadır. Birinci teori liyofob jelleri için olan DLVO teorisidir [Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeck]. Çimento tanesi su ile temas ettiği zaman çözülme başlar ve yüzeyinden itibaren ortama

bol miktarda  $Ca^{++}$  iyonları verir. Tane yüzeyinde  $Ca^{++}$  iyonu konsantrasyonunu artması, akışkanlaştırıcı katkı moleküllerinin tane yüzeyi tarafından adsorbe edilerek çökmesine sebep olur. Bu teoride, adsorbe edilen süperakışkanlaştırıcı molekülleri katı çimento tanelerini negatif [-] yükle yükleyerek taneler arasında elektrostatik bir etki oluşturur. Sülfonatlı naftalin formaldehit [SNF] ve sülfonatlı melamin formaldehit [SNF] gibi sülfonatlı sentetik polimerler kullanılması durumunda oluşan dağılımın sebebi bu elektrostatik etkidir. İkinci teori ise Sterik Etki Teorisi'dir. Esas kısmı uzun ve yandan ekli zincirleri olan adsorbe edilmiş molekül halindeki süper akışkanlaştırıcıların stereokimyasal yapıları itici bir potansiyel enerji yaratırlar. Bu dağılım özellikle poliakrilatlar gibi karboksilatlı sentetik polimerler ile etkilidir (Biagini 1995).

Süper akışkanlaştırıcı olarak kullanılan polimerlerin molekül ağırlıkları dağılım yeteneğini etkiler. Yüksek moleküler ağırlığa sahip olan polimerler, çimento tanecikleri tarafından daha iyi adsorbe edilir ve daha yüksek dağılıma özelliğine sahiptir. Fakat moleküler ağırlıkları çok yüksek olursa dağılım yeteneği kaybolur (Uyan 1991).

## 2.4 Hazır Beton Özellikleri

Hazır Betonda Aranılan Temel Özellikleri iki grupta sınıflandırmak mümkündür (Usta 2005):

a) Taze Betonda:

- İşlenebilme özelliği, uygun kıvam,
- Taze betonun sıcaklığı,
- Agreganın maksimum tane büyüklüğü
- Homojenlik, kıvam kaybı, hava miktarı,
- Birim ağırlık ,

b) Sertleşmiş Betonda:

- Dayanım (basınç, çekme, eğilme, yarılmaya mukavemetleri)
- Dış etkenlere karşı dayanıklılık (geçirimsizlik, aşınmaya dayanıklılık)
- Donma ve çözölmeye dayanıklılık,
- Hafiflik veya ağırlık ,
- Isı, ses yalıtımı ve estetik (Brüt betonda dış görünüş)

- Ekonomi

#### **2.4.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı**

Beton yüzeyi ve ortam (hava) arasındaki sıcaklık farkı yüzünden konveksiyon ile ısı aktarımı meydana gelir (Lee vd. 2009). Konvektif ısı aktarım problemlerinde akış genellikle zorlanmış konveksiyon olarak tasarlanır (Holman 2010). Özellikle sert rüzgarlara maruz kalan bölgelerdeki yapılarda konvektif ısı aktarımı ile oluşan ısı zarar çok yaygın olabilmektedir. Bu çeşit ısı zararları daha iyi değerlendirmek için konvektif ısı aktarım katsayısı gibi ısı özellikleri düşünmek gereklidir (Lee vd. 2009). Beton yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki ısı aktarımını temsil eden ve en önemli termal özelliklerden biri olan konvektif ısı aktarım katsayısı, ısı kaybının ve ısı zararının bir ölçüsüdür. Düşük konvektif ısı aktarım katsayısı sahip beton tipi ısı kaybının ve ısı zararının daha az olduğu beton tipidir (Şimşek ve Şimşek 2012a,b).Yapı tasarımcıları, yapı bileşenlerinin birleştirilmesi ve seçilmesi aşamasını dikkate alarak tasarımı gerçekleştirirlerse enerji tasarrufuna katkıda bulunabilirler (Santin 2011). Bu nedenle betonda konveksiyon ısı aktarım katsayısının eniyileme sürecine katılması, ısı kaybını etkileyen faktörler belirlenmesi ve bu ısı kaybı ile ısı zararları azaltacak optimal karışım parametrelerin bulunması açısından önemlidir.

#### **2.4.2 Akışkanlaştırma**

Betonun taze haldeyken sahip olması gereken en önemli özellik akışkanlaştırmadır. Akışkanlaştırma; taze betonun ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve sonlanması işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliği olarak tanımlanabilir (Neville 1981). İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve yüzey düzeltilmesinin kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışımında ayrışma olmaz ve beton kalıplara en az boşluk kalacak biçimde yerleşir (Gülşahin ve Akkaya 2006). Betonun yapılış amacına, sertleşmiş betondan beklenen özelliklere bağlı olarak akışkanlaştırma için tanımlanan nitelikler değişiklik gösterebilir. Baska bir deyişle, betonun işlenebilme özelliği, betonun kullanılacağı yapının durumuna bağlıdır.

Dolayısıyla betonun işlenebilirliğini rakamsal ifadeler kullanarak açıklamak mümkün değildir. İşlenebilme özelliği, beton içerisindeki her bileşenden ve üretim esnasındaki her türlü koşuldan etkilenir. Bunlar; çimento miktarı ve özellikleri, su miktarı, agrega granülometrisi, ince ve kaba agreganın tane şekli ve yüzey yapısı, sürüklenmiş hava miktarı, kimyasal ve mineral katkıların tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı ve beton karışımının sıcaklığı, karıştırma prosedürü ve zamana bağlıdır (Wong vd. 2001).

İşlenebilirliği etkileyen en önemli faktör taze beton içindeki su miktarıdır. Betonun akışkanlığını niteleyen kıvam değeri, betonda kullanılan suyun artmasıyla yükselir. Çünkü artan su miktarı katı taneler arasındaki sürtünmeyi azaltır. Ancak su miktarı yüksek olan bir beton işlenebilir anlamına gelmez. Basit ve kolayca uygulanabilir bir deney olmasından dolayı, çökme deneyi taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla kullanılan deney yöntemleri arasında en popüler olanıdır. Çökme deneyi statik bir deneydir ve işlenebilmeyi ölçmez. Ancak bu deney yöntemiyle akışkanlaştırma hakkında önemli bir fikir elde edilebilir (Wong vd. 2001).

### **2.4.3 Hava içeriği**

Betonun kalitesini etkileyen diğer taze beton özellikleri ise hava içeriği ve birim ağırlıktır (Zain 1999). Betonda hava içeriği, biri beton yığının içinde kendiliğinden oluşan diğeri de bir katkı maddesi yardımıyla sürüklenme şeklinde oluşturulan iki farklı prosesin sonucudur. Birincisinin oluşması kaçınılmaz olup betonun dayanıklılığı (durabilitesi) ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. İkincisi olan hava sürüklenme ise sertleşmiş betonda agregaları birbirine bağlayan matrisin bir parçası olacak olan küçük hava küreciklerini taze betona sürüklenme işlemidir. Öncelikle betonun donma-çözülme direncini artırmak için kullanılan bu yöntem genellikle bir hava sürükleyici katkı maddesi (airtraining admixture, AEA) kullanılarak gerçekleştirilir (Zhang 1996). Her iki proses sonucu oluşan boşlukların karakteri birbirinden farklıdır. Normal boşluklar kıvrımlı ve birbiri ile ilişkili iken sürüklenme ile oluşturulan boşluklar küresel yapıda olup birbirlerinden bağımsızdırlar (Şahin vd. 2007).

#### **2.4.4 Birim ağırlık**

Birim ağırlık çok fazlı bir malzeme olan betonun bileşenlerinin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlıdır. Normal betonu oluşturan bileşenlerin yoğunlukları  $1000 \text{ kg/m}^3$  (su) ile  $3200 \text{ kg/m}^3$  (çimento) arasında değişmektedir. Bunun dışında agrega tane dağılımı, sıkıştırma işleminin yapılıp yapılmadığı ve sürüklenen hava miktarı da betonun birim ağırlığını etkilemektedir (Erdoğan 2003,Roussel 2006).

#### **2.4.5 Dayanım**

Dayanım, malzemenin kırılma alabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Beton basınç yükleri altında daha iyi davranış gösterdiğinden, betonun dayanımından söz edildiğinde, diğer dayanımlar belirtilememişse, basınç dayanımı anlaşılır. Su/çimento oranı arttıkça dayanım azalır (Özkul vd.1999). Beton dayanımı; “üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnç” olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 1994). Betonda aranan en önemli özellik yüksek bir dayanıma sahip olması ve bu dayanımını zamanla kaybetmemesidir. Beton mukavemetini oluşturan esas unsur, bu malzemeyi oluşturan çimentonun hidrasyon reaksiyonu sonucu oluşan silikat ve alüminat hidratlardır (Şensöz ve Yalçın 2000).Betonun mekanik dayanımları basınç, eğilme ve çekme dayanımı olarak sıralanabilir. Bu dayanımlar arasında çekme dayanımı çok düşük mertebelindedir ve genellikle göz önüne alınmaz. Beton gevrek bir malzeme olduğu için, basınç dayanımı çekme dayanımından yaklaşık on kat daha fazladır. Bu nedenle betonun basınç dayanımı diğer mekanik özelliklerinden öncelikli önem taşımaktadır (Apaydın 2007).

#### **2.4.6. Dayanıklılık**

Dayanıklılık, bir malzemenin çevre koşullarına karşı direnci olarak tanımlanabilir. Genel olarak, geçirimsizliği az olan, yoğun betonlar diğerlerine oranla daha dayanıklıdır (Verbeck 1968). Dayanıklı bir beton, hava etkileri, kimyasal etkiler ve yıpranma gibi çevresel etkilere karşı parçalanmadan dayanabilen bir betondur (Şensöz ve Yalçın 2000). Hava etkisiyle betonun parçalanmasına, başlıca donma-çözülme olayları, ıslanma

kuruma ve sıcaklık değişimleri sonunda meydana gelen büzülme ve genişleme neden olur. İyi malzeme seçmek ve beton yapım süresince etkili bir kontrol yapmak suretiyle bu etkilere karşı dayanıklı beton yapmak mümkündür. Betona hava veren katkı maddeleri de bu dayanıklılığı artırır (Şensöz ve Yalçın 2000). Betonda meydana gelen kimyasal bozukluklar çeşitli kimyasal maddelerin teması sonucu oluşur. Kimyasal maddeler beton bünyesine su içinde çözülmüş olarak girer. Hatta beton bünyesine saf suyun girmesi de zararlı etki yapar. Saf su beton boşlukları içinde bulunan kalsiyum hidroksiti çözerek dışarı taşır. Kalsiyum hidroksitin veya diğer klinker bileşiklerinin çözünerek dışarı taşınması, betonun kalitesi üzerine önemli surette etkir. Su içinde çözünen maddeler suyla birlikte sürüklenir ve yüzeye geldiği anda buharlaşma sonucu beton yüzeyinde beyaz bir çökelek şeklinde kalıntı bırakır. Effloresans (çiçeklenme) olarak bilinen bu olay beton mukavemeti üzerine olumsuz etki yapar (Şensöz ve Yalçın 2000).

#### **2.4.7 Su emme oranı**

Tavan-taban veya yan yüzeylerinden yapı içine giren su, yapı malzemesinin, nem içeriği ile ısısının değişmesine neden olmakta, ısı ve su içeriğindeki söz konusu bu değişim, de malzemede büzülme ve şişme gibi hacimsel deformasyonlara yol açmaktadır. Islanmayla oluşan deformasyon normal yoğunluktaki betonda %0.03 mertebesindedir. Meydana gelen bu hacimsel deformasyonlara bağlı olarak malzemede zamanla mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Daha sonra, oluşan bu mikro çatlaklardan, yapı malzemesi içerisine suyun girişi ve onun içerisindeki hareketi çok daha kolaylaşmaktadır. Su molekülleri kendilerinden daha büyük olan yapı malzemesi içerisindeki gözeneklere ve mikrofissurlere rahatlıkla girebilmekte ve üzerindeki basınca bağlı olarak da birbirleriyle bağlantılı olan gözenekler ve mikrofissurler içerisinde hareket edebilmektedir. Yapı malzemesine doğrudan veya dolaylı yollarla giren su, yapılarda hasarlara, küflenmeyle de satıh bozulmalarına neden olmaktadır (Özdemir 2002). Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ile ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan su / çimento oranı, agrega cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların



dayanımları daha düşük olmaktadır. Ayrıca, betonun dayanıklılığı da betondaki su emme özelliği tarafından etkilenmektedir (<http://www.cayelibeton.com.tr/hbeton06.php>).

#### 2.4.8 Üretim maliyeti

1 m<sup>3</sup> betonda ortalama olarak (dayanım sınıfına, çimento cinsine , kullanılan mineral katkı ve kimyasal katkıya göre reçeteler değişir. Beton için kesin bir reçete yoktur. Aşağıdaki rakamlar sadece yaklaşık maliyet hesabı için kullanılabilir) 1850 kg agrega, 300 kg çimento, 180 kg su ve 3 kg kimyasal katkı kullanılmaktadır. Ayrıca en önemli giderlerden biri de akaryakıttır. Ayrıca işletme giderleri ve amortisman giderleri bulunmaktadır. 2005 yılı Aralık ayına göre üretimdeki maliyetler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Anonim 2008a).

Çizelge 2.5 Hazır beton sektöründe sinai ve ticari maliyetler (Anonim 2008a)

C20 Aralık 2005	TL	Pay (%)
Hammadde	50	71.4
Enerji	7	10
Direk işçilik	4	5.7
Endirek işçilik	V.Y.*	V.Y.*
Amortisman	5	7.2
Diğer	V.Y.*	V.Y.*
Genel yönetim giderleri	4	5.7

\*V.Y.: Veri yok

Serbest piyasa ekonomisinin getirdiği zorlu rekabet şartları altında günümüz ticari işletmeleri; yalnız yurt içindeki firmalarla değil, aynı zamanda yurt dışındaki firmalarla da en yakındaki bir pazarda bile pay kapma yarışı içindedirler. Bu yarıştan daha ucuz maliyetle daha kaliteli mal üreten firmalar kazançlı çıkmaktadır. Kaliteli mal, belirli özellikler ve standartlara uygun mal anlamına gelmektedir. Bir ürünün veya hizmetin kalitesi tüketici gereksinimlerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan pazarlama, mühendislik, imalat ve kalitenin devamı özelliklerinin bileşkesidir. Şirketler ürün ve süreçlerinin kalitesini iyileştirerek ve maliyetleri azaltarak müşterilerinin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayarak piyasadan

en önemli payı almaya çalışırlar (Can 2007). Çizelge 2.5'den görüldüğü gibi beton üretiminde en yüksek harcama payına sahip hammaddelerin optimum kullanımı, yüksek kaliteli ürünün düşük üretim maliyeti ile gerçekleşmesi için oldukça önemlidir.

## 2.5 Deney Tasarımı

Arastirmacılar tarafından bir sistem veya prosesin belirli bir özelliği veya parçasına ait detayları incelemek üzere yapılan faaliyetlere deney denilmektedir. İstatistikte deney, yeni gerçekler elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak veya reddetmek için planlanmış bir iş olarak algılanmaktadır. Gerçekleştirilen deney belirli bir sürecin devamının veya değiştirilmesinin önerilmesi konusunda bir karara ulaşılmasında yardımcı olacaktır. Deneyler bir veya birkaç soruya yanıt bulmak için gerçekleştirilebilir. Deneyler, kesin ve karşılaştırmalı deneyler ile tek ve çok etmenli deneyler olarak iki farklı türde yapılır (Çömlekçi 2003). Kesin ve karşılaştırmalı deneyler, bilinmeyen bir ilke veya etkiyi ortaya çıkarmak için yapıldığı gibi, aynı zamanda bilinen veya ileri sürülen bir tezi onaylamak için de yapılan deneylerdir.

Tek ve çok etmenli deneyler ise, bir veya birden çok etmenin bir durum veya proses üzerindeki etkisini belirlemek için sadece o an için tasarlanan şartlarda yapılan deneylerdir. Bu deneyler aynı zamanda çalışmanın konusu olan deney tasarımları için yapılan deney türleridir. Tasarlanmış deney terimi ise; bir sistem veya prosese ait girdi faktörlerinin amaçlı bir takım değişikliklere tabi tutulması ve bu değişiklikler sonucu oluşan çıktı üzerindeki değişme sebeplerinin belirlenmeye çalışılması için denemeler yapılması demektir (Çömlekçi 2003). Deney tasarımı kavramı ile ilgili farklı tanımlar yapmak mümkündür. Deney tasarımı; bağımlı faktördeki değişikliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız faktörün etkilerinin ölçülmesi işlemi yürütmek için kullanılan tekniktir (Şanyılmaz 2006). Deney tasarımı (DT), bir prosesteki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması olarak da tanımlanabilir (Çömlekçi 2003).

Kalite mühendisliğinde D.T.'nin tasarımcıya kazandırdığı en büyük faydalardan bir tanesi de prosesteki değişkenliğin azaltılarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi kalite mühendisliğinin temel noktası değişkenliğe neden olan faktörlerin tespit edilip

giderilmesi ile prosesteki degiskenligin en küçüklenmesi veya baska bir ifade ile kararlılığının arttırılmasıdır (Çömlekçi 2003).

Deney tasarımı teknikleri, yeni bir proses gelistirmede ve performans arttırma amacıyla mevcut prosesi düzeltme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Deney tasarımının amaçları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Şanyılmaz 2006).

- Sonuç üzerinde en etkin girdi faktörlerini belirlemek.
- Performans karakteristiğini hedef değere en yakın sonuca ulaştıracak girdi faktörlerinin seviyelerini belirlemek.
- Kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi faktörleri kombinasyonunu oluşturmak.

Deney tasarımında, süreci etkileyen her türlü etken “faktör” olarak adlandırılır. Faktörlerin çeşitli kategorileri, dereceleri ve yoğunlukları ise “seviye” olarak adlandırılır. Bir deney tasarımı sırasında birden fazla faktör ve seviye grupları bulunabilir (Çömlekçi 2003).

Bu süreç veya sistem, şekil 2.10'deki modelle temsil edilebilir, (Montgomery, 2009). Süreci makine, insan, metot kombinasyonları, veya girdileri gözlemlenebilir çıktıya dönüştüren kaynaklar olarak görebiliriz. Süreç değişkenleri  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  gibi kontrol edilebilir ve  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_q$  gibi kontrol edilemeyen değişkenler olmak üzere iki bölüme ayrılır.



Şekil 2.10 Şematik olarak bir proses (Montgomery 2009)

Şekil 2.10 üzerinden D.T. amaçları şöyle sıralanabilir (Can 2007):

1. y çıktısında en fazla hangi değişkenlerin etkili olduğunu belirleme
2. y çıktısını istenilen optimum seviyede tutmak amacıyla etkili x değişkenlerini hangi seviyelerde tutmak gerektiğini belirleme
3. y çıktısının değişirliğini minimumda tutmak amacıyla etkili x değişkenlerini hangi seviyelerde tutmak gerektiğini belirleme
4.  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_q$  gibi kontrol edilemeyen değişkenlerin tesirlerini minimumda tutmak amacıyla, etkili x değişkenlerini hangi seviyelerde tutmak gerektiğini belirleme

### 2.5.1 Deney tasarımı ilkeleri

Deney tasarımı sırasında kullanılan 3 önemli ilke vardır. Bunlar Rassallaştırma, Tekrarlama ve Bloklama ilkeleridir (Çömlekçi 2003).

**Tekrarlama:** Tekrarlama, temel deneyin tekrarlanması anlamına gelir. Örneğin, alüminyum alaşımının soğutulması örneğinde, bir örneğin yağ ile soğutulması ve bir örneğin su ile soğutulması ile bir tekrar yapılmış olur. Böylece, her bir soğutma yöntemi için beşer adet örnek kullanıldığında, beş adet tekrar yapılmış olur. İki önemli özelliği vardır: Birincisi tekrar ile, deney sahibi, deneysel hataları tahmin etme şansını yakalar. Hata tahmini, toplanan veriler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlemede temel noktadır. İkinci olarak, veriler hakkında daha kesin bilginin elde edilmesini sağlar. Bunun anlamı şudur: n tekrar sayısı arttıkça, örnek ortalamasının varyansı azalır; daha kesin sonuç elde edilir (Çömlekçi 2003).

**Rassallık:** Rassallıkla kastedilen, deney bireysel koşullarında hem deneysel materyallerin, hem de sıralamanın rassal olarak dağıtılmasıdır. İstatistiksel metotlar, gözlemlerin ve hataların bağımsız dağılmış rassal değişkenler olmasını gerektirir. Rassallık, çoğunlukla bu varsayımı geçerli kılar. Deneyleri doğru şekilde rassallaştırmak ile, var olabilecek dışsal faktörlerin deney sonuçlarına etkilerini de yok etmiş olur. Örneğin, alüminyum sertleştirilmesi deneyinde, örneklerin farklı kalınlıklarda olduklarını ve soğutma aracı üzerinde kalınlığın etkisi olduğunu

varsayalım. Eğer, yağ ile soğutmada kullanılan örneklerin tümü, su ile soğutmada kullanılan örneklerden daha kalınsa, bir soğutma yöntemini diğerine tercih ederken yanılığa düşmemek olası değildir. Oysa örnekleri soğutma araçlarına rassal dağıtma, bu problemi yok edecektir (Çömlekçi 2003).

**Bloklama:** Bloklama, deneyin kesinliğini artırmak amacıyla kullanılan tekniktir. Bir deneyde, deneysel malzeme bütününden farklılık gösteren ancak birbiri içinde homojen dağılmış verilere sahip olan deneysel malzeme parçası, bir blok oluşturur. Bu üç temel prensibin kullanımı ve özellikleri, bu çalışma boyunca yeri geldikçe vurgulanacaktır (Çömlekçi 2003).

### **2.5.2 Deney tasarımı aşamaları**

Deney tasarımı ve analiz aşamalarında istatistik yaklaşımını kullanabilmek için, üzerinde çalışılacak konunun açıkça ifade edilmesi ve anlaşılması, verilerin toplanma şekli ve bu verilerin nasıl analiz edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Deney tasarımı önerileri ve herbir maddenin temel noktaları aşağıda özetlenmiştir (Şanyılmaz 2006).

- Problem seçme ve tanımlama
- Faktörleri, seviyelerini ve aralıklarını seçme
- Çıktı değişkeninin seçilmesi
- Deney tasarımını seçme
- Deneyi gerçekleştirme
- Verilerin istatistik analizlerini yapma
- Sonuç ve öneriler

**Problem seçme ve tanımlama:** Deney gerektirecek bir problemi fark etmek pratikte çoğunlukla kolay değildir. Bir deney gerçekleşeceği zaman, amaç ile ilgili tüm detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Probleme net bir çözüm getirmek için problemin iyi belirlenmesi ve anlaşılması gerekmektedir, (Özkurt 1999, Şanyılmaz 2006).

**Faktörleri, seviyelerini ve aralıklarını seçme:** (2. ve 3. adımlar eşzamanlı veya ters sırada yapılabilir.) Deneyde değiştirilecek faktörler seçilmeli, bu faktörlerin değişim

aralıkları ve denemelerde hangi seviyelerde tutulacağı belirlenmelidir. Bu faktörlerin istenilen seviyelerde nasıl kontrol altında tutulacağı ve nasıl ölçülmeleri gerektiği de üzerinde düşünülmesi gerekli konulardan biridir. Bunun için de süreç bilgisi gerekli olacaktır. Bu süreç bilgisi, pratik deneyim ve teorik bilgilerin kombinasyonlarından oluşabilir. Deneyin amacı faktör inceleme olduğu zaman, faktör seviyelerini az sayıda tutmakta fayda vardır. Genelde iki seviye seçme, bu tür çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Aralık seçme de önemli bir konudur. Faktör incelemede ilgilenilen aralığın geniş seçilmesi yine verimli sonuçlar çıkaracaktır. Daha sonra, hangi değişkenlerin önemli olduğunu ve hangi seviyelerde iyi sonuçlar verdiğini öğrendikçe, ilgilenilen aralık daha çok daraltılabilir (Özkurt 1999, Şanyılmaz 2006).

Çıktı değişkeninin seçilmesi: Çıktı değişkeninin seçilmesinde dikkat edilecek nokta, üzerinde çalışılan süreç hakkında gerekli bilgiyi sağlamasıdır. Birden fazla çıktı değişkeni seçilmesi de mümkündür, (Özkurt 1999, Şanyılmaz 2006). 1, 2, ve 3. adımlar deney öncesi planlama adı altında toparlanırlar (Şanyılmaz 2006).

Deney tasarımını seçme: Yukarıdaki deney öncesi planlama aktiviteleri doğru bir şekilde yapıldıktan sonra, bu aşama daha kolay hale gelir. Örnek sayısının seçilmesi, her bir deney koşulunun deneme sırasının ve tekrarlanma sayısının belirlenmesi, blok veya daha başka kısıtlayıcı şartların bulunup bulunmadığının saptanması gibi kriterler, deney tasarımını oluşturur (Özkurt 1999). Bu adımı destekleyecek istatistiksel paket programları da mevcuttur. Bu programa; faktör sayıları, seviyeler, aralık (minimum değer-maksimum değer) girilir ve istenilen tasarıma göre analizler yapılır. Tasarımı seçerken, deney amaçlarını da göz önünde tutmak gereklidir. Hangi faktörlerin çıktıda farklılık oluşturduğu ve ne derecede etkili olduklarını, bu amaç çerçevesinde inceleriz. Bu durumda hangi faktörlerin farkı oluşturduğu ve çıktı üzerinde ne derece etkili olduğunu bulmak isteriz. Bizim için benzerliğin / eşitliğin önemli olduğu durumlar da ortaya çıkabilir. Örneğin, A standart ve B daha maliyetli yöntem olmak üzere, iki farklı üretim yönteminin karşılaştırılması ile ilgilenilebilir. Bu durumda, iki yöntemin çıktı üzerinde fark oluşturmadığını ispatlamaya yönelik bir deney de olabilir (Şanyılmaz 2006).

Deneysel gerçekleştirme: Deneysel gerçekleştirirken, her Őeyin planlandığı gibi yapıldığından emin olmak için srei takip etmek çok önemlidir. Deneysel prosedüründeki hatalar, deneysel geçerliliğini yok edecektir (zkurt, 1999).

Verilerin İstatistiksel analizlerini yapma: Veri analizlerini destekleyecek pek çok yazılım paketleri bulunmaktadır, adım 4'te de deneysel tasarımı seçiminde bu paketlerden faydalanılmaktadır. Özellikle basit grafiksel metotları, sapma/hata analizleri ve model uygunluk kontrolleri önemli analiz teknikleridir, (zkurt, 1999). Hata analizleri ve model uygunluk sınamaları da kullanılan önemli analizlerdendir. Unutulmamalıdır ki istatistiksel yöntem, faktör veya faktörlerin etkilerini kanıtlayamaz. Sadece sonuçların geenilirliğı veya geerliliğı üzerine yol göstericidir. Yerinde kullanımında, istatistiksel yöntem hiçbir Őeyi ispatlamaya yönelmez, ancak oluşan farklılıkları ölçmemize ve belirlenen bir geven aralığı atamamıza yarar. İstatistiksel yöntemlerin en önemli avantajı, karar verme sürecine nesnellik katmasıdır (Şanyılmaz 2006).

Sonuç ve neriler: Veri analizlerinden sonra, deneysel sahibi, sonuçlara gere çıkarımlar yapmalı, nasıl hareket edileceğini belirlemelidir. Bu safhada grafiksel gösterimlerden sıklıca faydalanılmaktadır. Tüm bu süreç boyunca, unutulmamalıdır ki deneysel öğrenme sürecinin bir parçasıdır: Sistem ile ilgili hipotezler formüle edilir, bu hipotezlerin geçerliliğini araştırmak için deneyler yapılır, çıkan sonuçlara gere yeni hipotezler formüle edilir, ve böylece devam eder. Görülmektedir ki, deneysel, iteratif bir çalışmadır. Çalışmanın başlangıcında çok büyük, kapsamlı, tek bir deneysel yapmak hatalı bir davranıştır. Başarılı bir deneysel için, ilgili önemli faktörleri, bu faktörlerin değişeceğı aralığı, doğru seviye sayılarını ve bu değişkenlerin doğru ölçüm ünitelerini bilmek gerekmektedir. Genellikle, bu soruların cevabı tam olarak başlangıçta bilinmez, ancak deneysel süreci süresince öğrenilir. Deneysede ilerledikçe, bazı değişkenler ilave edilir, bazıları çıkarılır, bazı faktörler için aralık değiştirilir veya farklı çıktı değişkeni üzerinde durulmaya başlanılır. Genel bir kural olarak, mevcut kaynakların % 25' inden fazlası ilk deneysel için kullanılmaz. Böylece deneysel süresince, diğer aşamalar için de yeterli kaynak kalınması sağlanmış olunur (Şanyılmaz 2006).

### 2.5.3 Deney tasarım türleri

Deney tasarımı türlerini genel olarak aşağıdaki gibi 5 ayrı grupta incelemek mümkündür (Düzgüneş vd. 1987).

- Tesadüf parselleri deney tasarımı
- Tesadüf blokları deney tasarımı
- Latin karesi deney tasarımı
- Tam faktöriyel deney tasarımı
- Kısmi faktöriyel deney tasarım

Tesadüf parselleri deney tasarımı: En basit deney tasarımı türüdür. Deney birimlerine faktörler tamamen tesadüfi olarak dağıtılır. Bu tür deney tasarımlarının uygulanabilmesi için deney materyalinin tamamen homojen olması gerekir. Diğer bir ifade ile deneme materyalinin bu gibi özellikleri belli bir grupta diğerlerine göre üstün veya düşük bir etki meydana getirmemelidir (Özdamar 2004). Çok sayıda deneyin uygulanacağı durumlarda böyle bir homojen materyalin bulunması çok zordur. Bu nedenle bu tip deney tasarımları, imalat alanından çok bazı laboratuvar veya sera çalışmalarında kullanılır. Tesadüf parselleri deney tasarımında, belirlenen faktörlerin deneylere atanması sırasında rassallık (tesadüflük) önemlidir. Bu yüzden yapılacak deneylerin sırası, hangi tasarımın hangi denek üzerinde uygulanacağı gibi durumlar rassal sayılar yardımıyla belirlenebilir. Bu sayede yapılacak deney sayısının düşük olması sağlanır. Tesadüf parselleri deney tasarımında, elde edilen veriler, varyans analizi kullanılarak kolaylıkla analiz edilebilmektedir (Şanyılmaz 2006).

Tesadüf blokları deney tasarımı yöntemi, deney materyallerinin hepsinin homojen olmadığı durumlarda kullanılır. Üzerinde deney tasarımı uygulanacak olan materyal aynı büyüklük ve şekilde bloklara ayrılır veya mümkün olduğunca homojen özelliklerine göre gruplandırılır. Bu blokların veya grupların sayısı yapılacak tekrarlar sayısı kadardır. Bu bloklar veya gruplar etkisi araştırılacak faktör sayısı kadar parsellere ayrılır. Eğer t faktör sayısı ve r tekrarlar sayısı var ise toplam “r.t” kadar parsel olacaktır. Bu deney tasarımı yöntemi heterojen deney materyalleri üzerinde homojen



bloklar oluşturarak, deney materyallerinin bloklar içerisinde homojen kalmasını sağlar. Oluşturulan blokların homojen olduğu kabul edilir (Düzgüneş vd. 1987).

Deneyde kullanılacak materyaller değişik konularda farklılık gösteriyorsa, faktörlerin deney materyali üzerindeki etkisinin bu farklılıkların etkilerinden arındırılması için latin karesi deney tasarımları uygulanır. Bu iki farklı özelliği sıra ve sütunlara dağıtarak her bir özellik için diğer özellikten kaynaklanan değişkenliği kontrol altına almak mümkün olacaktır. Böylece hata olasılığı azalır ve buna bağlı olarak hata karesi ortalaması azalacaktır. Bu da faktörlerin etkilerinin daha hassas olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır. Latin karesi deney tasarımında sıra ve sütun sayısı, etkisi araştırılacak faktör sayısına ve birbirlerine eşittir. Buna göre latin karesi deney tasarımında faktör sayısının karesi kadar deney yapılacaktır. Deney tasarımının ismindeki kare ifadesi buradan gelmektedir. Latin karesi deney tasarımı genellikle faktör sayısının 5 ila 12 arasında olduğu deney tasarımları için tercih edilir. 4x4 veya daha küçük latin karesi deney tasarımlarında hata serbestlik derecesi küçük olduğundan, 12x12 ve daha büyük latin karesi deney tasarımları için ise deney sayısının çok olması nedeniyle tavsiye edilmez (Düzgüneş vd. 1987).

Faktöriyel deney tasarımları seviye sayısı birden çok olan, birden fazla sayıdaki faktörlerin etkilerinin deney materyali üzerindeki etkilerinin ele alındığı deney tasarımı yöntemleridir. Faktöriyel tasarım, deneydeki her bir faktörün tüm seviyelerinin diğer faktörlerin her bir seviyesini içeren, mümkün olan bütün kombinasyonlarının yapılması ile oluşur. Faktöriyel deney tasarımların en önemli avantajı, tüm faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisi ve faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri en kolay ölçülebilen deney tasarımı yöntemi olmasıdır. Faktöriyel deney tasarımları deneyde mümkün olan bütün kombinasyonları denediği için diğer tasarım türlerine göre zaman ve maliyet kaybına neden olan bir yöntemdir (Düzgüneş vd. 1987).

Kısmi faktöriyel tasarım tam faktöriyel tasarımdaki zaman ve maliyet kaybını azaltmaya yönelik olan bir deney tasarımı yöntemidir. Bu tür tasarımlarda ortogonal dizinler kullanılır. Her bir deneyde birden fazla sayıda faktörün seviyesi değiştirilerek az sayıda deney ile bütün faktörlerin seviyelerinin denenmesi mümkün olmaktadır. Kısmi faktöriyel deneylerde amaç deney sayısını azaltmaktır. Ancak bunu yaparken incelenen

faktörlerde değil faktörler arasındaki etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapmak daha uygun olacaktır. Performans karakteristiği üzerindeki etkisinin az olacağı kabul edilen ve serbestlik derecesi yüksek olan etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapılabilir. Kısmi faktöriyel tasarımda deney sayılarının azaltılmasının diğer önemli bir yolu da faktör seviyelerinin mümkün olduğunca ‘yüksek değer’ ve ‘düşük değer’ olarak 2 seviyeli seçilmesidir. Bu şekilde deneylerin tüm kombinasyonlarının yapılması yerine sadece sonucu etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyelerin performans karakteristiği üzerine olan etkisi araştırılabilir. Kısmi faktöriyel deney tasarımlarının en büyük dezavantajı tüm deneylerin yapılmamasından dolayı bazı etkileşimlerin etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesidir. Çalışmanın ana konusunu olan Taguchi yöntemi de bir çeşit kısmi faktöriyel deney tasarımı türüdür (Şanyılmaz 2006).

#### **2.5.4 Deney tasarım uygulamaları**

Deney tasarım yöntemleri birçok disiplinde kendine uygulama alanı bulmuştur. Aslında deneyler bilimsel sürecin bir parçası olarak görülebilir. Genelde, tahminler yapılan süreç hakkında yapılan aktiviteler süresince öğrenilir, süreçten veri elde edebilmek için deney yapılır, yeni tahminler oluşturmak için deneyden elde edilen bilgiler kullanılır, tekrar bu tahminleri sınamak için deneyler yapılır ve böylece devam eder (Özkurt 1999). Deney tasarımları mühendislik dünyasında üretim süreçleri performanslarını iyileştirmede önemli bir role sahiptir. Ayrıca, yeni süreçler geliştirilmesinde de yoğun uygulamaları vardır. Süreç geliştirilmesinde, deney tasarım tekniklerinin uygulanması şu sonuçları doğurabilir:

1. İyileştirilmiş süreç çıktısı
2. Azaltılmış değişkenlik ve istenilen özelliklere daha yakın uygunluk
3. Azaltılmış geliştirme zamanı
4. Azaltılmış maliyetler

Deney tasarım yöntemleri, yeni ürünlerin geliştirildiği ve mevcut ürünlerin iyileştirildiği mühendislik tasarım aktivitelerinde de önemli rol oynar. Mühendislik tasarımı alanında deney tasarım uygulamalarına şunları gösterebiliriz:

1. Temel tasarım konfigürasyonlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi

2. Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi
3. Ürünün değişik ortam koşullarından etkilenmemesini sağlayacak tasarım parametrelerinin seçilmesi, ki böylece ürünün dayanıklı olmasının sağlanması
4. Ürün performansı üzerinde etkisi olan tasarım parametrelerinin belirlenmesi

Bu alanlarda kullanılan deney tasarımları, daha kolay üretilen ürünler, performansı ve güvenilirliği iyileştirilen ürünler, azaltılan ürün maliyetleri, kısaltılan ürün tasarım ve geliştirme aşamaları süreleri ile sonuçlanabilir.

## **2.6 Taguchi Deney Tasarımı**

Düşük maliyetli, yüksek kalitede ve güvenilir ürünler üretmek veya hizmet sunmak bugünün global ekonomisinde hayatta kalabilmenin anahtarıdır. Bir çok kalite uzmanı bunu sağlamanın en iyi yolunun, ürün tasarımına odaklanmak olduğunu belirtmektedir. Bu da aslında kaliteyi kontrol ile sağlamak yerine tasarım aşamasında sağlamanın daha kolay olacağını göstermektedir (Şanyılmaz 2006). Kaliteyi tasarlamak, üretilmiş ürünü muayene ile iyi veya kötü olarak ayırmaktan ve kötü olarak ayrılmış ürünleri yeniden iyileştirip iyi ürün haline getirmekten çok daha ucuzdur. Bundan dolayı yeni felsefe düşük maliyetli, ancak yüksek kaliteli ürünleri üretebilmek için teknolojiyi ve istatistiki metotları henüz tasarım aşamasında etkin bir şekilde kullanmak olmalıdır.

Kalite bir çok kişi tarafından toleransları sağlamak, sıfır hata veya yalnızca müşteri tatmini olarak tanımlanmıştır. Fakat bu tanımlar kalite ve bu kaliteyi sağlamak için gerekli maliyet arasındaki ilişkiye bir açıklık getirmemiştir. Ancak Taguchi'nin kalite anlayışı, kalite ile maliyet arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde tanımlamaktadır. Bu ilişki sadece üreticiyi ilgilendiren bir ilişki değil aynı zamanda müşteriyi hatta toplumu ilgilendiren bir ilişkidir. Taguchi kaliteyi, “Ürünün, müşteriye ulaştıktan sonra toplumda meydana getirdiği kayıptır” şeklinde tanımlamıştır. Bir ürünün kalitesi söz konusu ürünün farklı performanslarının geliştirilmesi ile oluşur. Üründen beklenen özellikler, ürünün kalitesinde etkin rol oynayacağından tasarım aşamasında ortaya konmalıdır (Şanyılmaz 2006).

Dr. Genichi Taguchi kaliteyi geliştirmek için temeli deney tasarımına dayanan, Taguchi

yöntemi olarak bilinen deney tasarım metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem, kısmi faktöriyel deney tasarımı yöntemine, gürbüz (gürbüz) tasarım ve ortogonal dizinler gibi kavramların dahil edilmesiyle oluşturulmuştur. Üretim endüstrisindeki önemli gelişmelerinden bir tanesi de modern çevrim dışı kalite kontrol tekniklerinin ürün veya proses mühendisliğine uygulanması ile ilgilidir. Bu kalite tekniklerinin çoğu W.E. Deming tarafından şekillendirilmiştir. Taguchi yönteminin felsefesi bu kalite teknikleri üzerine kurulmuştur. Taguchi'ye göre kalitenin sağlanabileceği en önemli nokta, üretim öncesinde yapılan tasarım faaliyetleridir. Taguchi yönteminin asıl amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliği azaltmaktır. Bunu sağlamak için, bu değişkenliğe sebep olan kontrol edilebilir faktörler tanımlanmalı ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin en az olacağı ürün ve proses geliştirme süreci tasarlanmalıdır (Şanyılmaz 2006).

### **2.6.1 Taguchi yöntemi felsefesi**

Rekabetçi bir ekonomide işletmelerin yaşamını sürdürebilmesi için kalite geliştirme ve maliyet azaltma çalışmalarının sürekli olması gerekir. Çalışmaları sonucunda gereken oranda kar elde edemeyen firmalar varlığını sürdüremeyeceklerdir. Serbest piyasada satış fiyatının oluşmasında rakip firmaların benzer ürünlerinin satış fiyatı ile piyasa koşulları etkili olmaktadır. Bu nedenle bir işletmenin karını belirleyen en önemli faktörler işletmenin pazar payı ile üretim sürecidir. Pazar payını arttırmanında en önemli yolu pazara, uygun fiyatta ve kaliteli ürünler sunabilmektir. Bu yüzden kalite önemlidir. Varlığını devam ettirebilen işletmeler, hiçbir zaman kalitesini yeteri kadar fazla, üretim maliyetini de yeteri kadar az olarak görmeyen işletmelerdir. Çünkü pazar koşullarının dinamizmi içinde müşteri beklentileri sürekli olarak değişmektedir. Bu nedenle işletmelerin kalite geliştirme ve maliyetlerin minimizasyonu çalışmaları sürekli olmalıdır (Şanyılmaz 2006). Taguchi ürün ve sürece ilişkin performans karakteristiklerini etkileyen faktörleri iki grupta toplamıştır. Bunlar, kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen (gürültü) faktörlerdir. Taguchi yönteminin amacı kontrol edilemeyen faktörlerden en az etkilenen, kontrol edilebilen faktörler kombinasyonunu oluşturmaktır. İstatistiksel deney tasarımları, ürünün performansındaki değişkenliğe etki eden parametrelerin etkilerini azaltmada kullanılabilir (Taguchi vd.2005). Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan Taguchi olmuştur. Taguchi

deney tasarımının kullanımının şu noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir: (Box and Bisgaard 1987).

- ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın minimize edilmesi,
- çevre koşullarına karşı gürbüz ürün üretilmesi,
- parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi.
- ürünlerin ömür uzunluğu konusunda yapılan testler.

Bunlardan ilk üç tanesi Taguchi'nin parametre tasarımı adını verdiği kategorilerdir. Taguchi deney tasarımında, ürün ya da sürecin performans karakteristiğini etkileyen faktörleri ikiye ayırır (Logothetis 1992). Kontrol edilebilen faktörler (tasarım faktörleri), bunlar değerleri tasarım ya da süreç mühendisi tarafından kolayca belirlenebilen faktörlerdir. Kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri), bunlar çoğu kez üretim ortamı ile ilişkili olan varyansın kaynaklarını oluştururlar. Genel performansı, ideal olarak, bunlardaki varyansa duyarlı olmamalıdır. Kontrol edilebilen faktörler kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Sinyal faktörleri (hedef kontrol faktörleri): Bunlar sözkonusu olan ortalama tepki düzeyini etkileyen faktörlerdir. Varyans kontrol faktörleri: Bunlar tepkideki varyansı etkileyen faktörlerdir. Maliyet faktörleri: Bunlar ortalama tepkiyi ya da varyansı etkilemeyen ve ekonomik koşullara göre belirlenen faktörlerdir (Kaçkar 1986).

### **2.6.2 Taguchinin kalite sistemi**

Bunlar, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır. (Noori and Radford, 1995)

Sistem Tasarımı: Müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ilk ürün tasarımı geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, prototip ürün parametre değerleri seçimi vb., süreç tasarımı aşamasında üretim ekipmanı ve geçici süreç faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur (Taguchi vd. 2005).

Parametre Tasarımı: Nihai ürünlerdeki varyansa en fazla katkıda bulunan faktörler belirlenir. Mühendislik tasarımlarının varyansın kaynaklarına duyarlılığını, diğer bir deyişle topluma vereceği beklenen zararı minimize eden değerleri belirlemek için bir dizi deneyler yapılır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyansları enaza indirerek ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır. Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır (Taguchi vd.2005).

Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler). Bu gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkansız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünlerarası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalat hataları, ürün aşınması vb.'dir. Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı arttırıcı yönde etki yaparlar. Ürünlerarası gürültü faktörleri aynı spesifikasyona göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Örneğin enjeksiyon yoluyla yapılan plastik döküm işleminde, ısı ve nem dış gürültü faktörlerini, makinaların yaşı ve üretim sürecindeki toleranslar iç gürültü faktörlerini, imalattaki hatalar ürünler arasındaki gürültü faktörlerini oluşturmaktadır. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına gürbüz tasarım demektedir. Burada gürbüz, kontrol edilemeyen faktörlere,

örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır. Bir ürün veya sürecin robüslüğü, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır. (Snee, 1993: 37) Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robüst tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir (Taguchi vd.2005).

Tolerans Tasarımı: İkinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir (Taguchi vd.2005).

Taguchi yaklaşımında sistem ve parametre tasarımı bir yandan daha yüksek kalite elde ederken aynı zamanda maliyetleri düşürme olanağı sağlamaktadır. Tolerans tasarımı ise daha yüksek kalite için daha yüksek maliyetlere katlanmayı zorunlu kılmaktadır. (Gunter, 1987: 44) Bu nedenle Taguchi yaklaşımında sistem tasarımı ve özellikle parametre tasarımının önemi çok fazladır. Taguchi parametre tasarımı için deney tasarımı uygulamasını önermiştir (Phadke 1989).

### **2.6.3 Kayıp fonksiyonu**

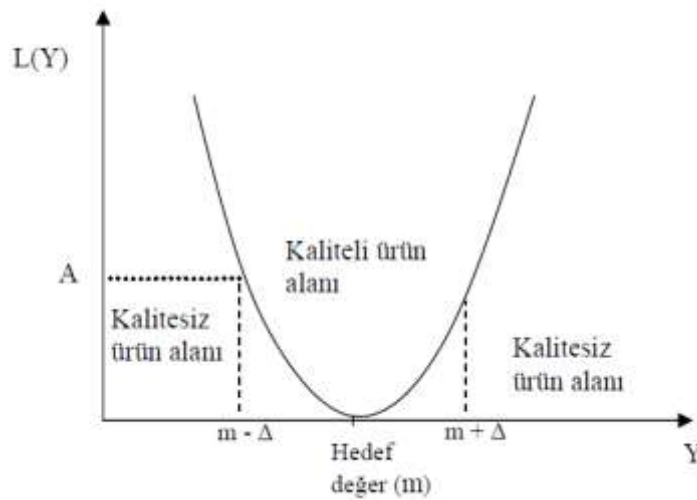
Taguchi'nin kalite felsefesinin dayandığı temel nokta kayıp fonksiyonudur. Kayıp fonksiyonu, üründeki kalitesizlikten dolayı meydana gelen tüketici memnuniyetsizliğinin derecesini belirleyen sürekli bir fonksiyondur (Ross 1989). Kayıp fonksiyonu, kalitenin parasal açıdan değerlendirilmesini sağlar, buna göre dağılımın orta değeri en az, uç değerleri ise en fazla kayba neden olmaktadır. Kayıp tüketici memnuniyetsizliği olabileceği gibi üreticiye gelen ilave işçilik, malzeme, enerji ve garanti giderleri de olabilir. Bunların yanı sıra firma adının kötü bir şöhret kazanması ve

uzun dönemdeki pazar payındaki azalmalarda kayıp olarak değerlendirilebilir. İstenen kalite düzeyinden (hedeften) uzaklaştıkça kalitesizlikten meydana gelen maliyet artacaktır. Ürün performansının güvenilirliği ve sürekliliği azalmasından dolayı en büyük zararı tüketici dolayısıyla toplum görmektedir. Düşük kalite, tüketiciyi beklentilerini karşılayacak başka ürünler aramaya yöneltecektir. Bu durumda toplumda meydana gelen kayıp aynı zamanda işletmeyi de etkileyecektir. Bu yüzden kalite önemlidir. İşte bundan dolayı ürünler kaliteli veya kalitesiz olarak iki grupta ele alınan bir basamak fonksiyonu değil, sürekli bir fonksiyon ile değerlendirilmelidir (Şanyılmaz 2006).

Taguchi, bir ürünün sahip olması gereken nominal ya da hedef ölçülerden sapma miktarını, bütün toplumun uğrayacağı maddi zarar ile ilişkilendirmiş ve bunu matematiksel olarak denklem (2.12)'deki gibi ifade etmiştir (Phadke 1989).

$$L(Y) = k*(y-T)^2 \quad (2.12)$$

Burada, y performans karakteristiğinin (kalite değişkeni/kriteri)ölçülen gerçek değeri, T nominal ya da hedef değer, k ise sapmayı parasal bir birime dönüştürecek uygun bir katsayıdır. Gerçek ölçü değeri ile hedef değer arasındaki fark yani değişkenlik topluma karesel şekilde artan bir zarar olarak dönmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Taguchi'nin kayıp fonksiyonu (Ross 1989)



Kayıp fonksiyonunun biçimi, performans karakteristiği (Y)'nin özelliğine göre belirlenir. Y'nin özelliğine göre kullanılan kayıp fonksiyonları bazı durumlarda simetrik, bazı durumlarda simetrik olmayan bir yapı gösterir. Taguchi'nin geliştirdiği kayıp fonksiyonlarından en çok kullanılanları şu şekilde sıralanabilir (Saat 2000).

Hedef değer en iyi : Eşitlik 2.12'de ifade edilen temel kayıp fonksiyonudur. En küçük en iyi : Simetrik olmayan bir kayıp fonksiyonu türüdür. Hedef değer m'nin en küçük değer olan '0' değerini aldığı kabul edilirse kayıp fonksiyonu eşitlik 2.13'deki gibi yazılabilir. En büyük en iyi : Bu da simetrik olmayan bir kayıp fonksiyonu türüdür. Burada amaç hedef değer maksimum (sonsuz) olmasıdır. Burada hedef değer sonsuz değerini aldığı kabul edilirse, kayıp fonksiyonu eşitlik 2.14'de gösterildiği gibi yazılabilir (Şanyılmaz 2006).

$$L(Y) = k*(y)^2 \quad (2.13)$$

$$L(Y) = k*(y)^{-2} \quad (2.14)$$

#### **2.6.4 Performans karakteristiği (kalite karakteristiği)**

Performans karakteristiği, bir ürün veya prosesin kalitesini belirleyen özellikleridir. Taguchi yönteminin amacı, bu karakteristiklerin hedef değer etrafındaki değişkenliğini azaltmaktır. Bir ürünün birden fazla performans karakteristiği olabilir. Bu karakteristiklerin her biri ürünün ayrı bir özelliğini temsil eder. Bu özelliklerin içinden tüketici gereksinimlerine göre ve ürünün kullanım amaçlarına göre en uygun olan özellik performans karakteristiği olarak seçilmelidir. Yüksek kaliteli bir ürün, ekonomik ömrü boyunca farklı çalışma koşulları altında fonksiyonunu daima hedef değer civarında yerine getirir. Performans karakteristiğinin hedef değer civarındaki değişkenliği performans değişkenliği olarak adlandırılır. Hedef değer civarında daha küçük performans değişkenliği daha iyi kalite anlamına gelmektedir. Performans karakteristiğinin etkin olarak değerlendirilmesi için sürekli olarak ölçülmesi gereklidir. Çünkü ancak bu şekilde kalitedeki çok küçük değişiklikler belirlenebilecektir. Bazı durumlarda performans karakteristiğinin ölçümleri sürekli olarak yapılamayabilir. Böyle

durumlarda yaklaşık bir sürekli dağılım elde edebilmek için, ölçüm değerlerinin sayısı mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır (Şanyılmaz 2006).

### **2.6.5. Performans istatistiği ve sinyal gürültü oranı**

Performans istatistiği, kontrol edilebilen faktörlerin farklı seviyelerinin karşılaştırılıp en uygun faktör-seviye kombinasyonunun seçilmesini sağlayan bir değerlendirme metodudur. Taguchi'nin kontrol edilebilen faktörlerin ve kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisini ölçmek için ortalama ve standart sapma ile birlikte kullandığı performans istatistiklerinden bir tanesi de S/N (Sinyal / Gürültü) olarak adlandırılan performans istatistiğidir (Şanyılmaz 2006).

Verilerin anlaşılabilirliğini kolaylaştırmak ve toplanabilirliğini sağlamak için genellikle performans istatistiği olarak ortalama yerine S/N oranını kullanılır. Böylece, ortalama ile standart sapma, aynı analiz tekniği ile analiz edilmiş olur. S/N oranı en basit ifade ile ortalamanın standart sapmaya oranı olarak kabul edilir (Taguchi vd.2005). Bu oranın kullanılması, performans karakteristiğinin ölçülmesinde ortalama veya standart sapmanın tek tek kullanılmasına göre daha dengeli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar (Taguchi ve Wu 1989).

S/N oranı ile hem ortalama, hem de ortalamanın etrafındaki değişkenlik kontrol edilebilmektedir. Ortalama dikkate alınmadığında varyans tek başına bir anlam taşımayacağından S/N oranı bulunurken dikkat edilmesi gereken nokta, ortalama ve varyansın aynı anda kontrol edilmesidir (Taguchi vd.2005). Kontrol edilemeyen faktörleri tam olarak ölçmek çok zor veya imkansız olduğundan Taguchi S/N oranını hesaplarken, kayıp fonksiyonunda olduğu gibi yaklaşık fonksiyonlar kullanılmaktadır. S/N oranının yapısına (sürekli veya kesikli oluşuna ve statik veya dinamik oluşuna) göre farklı S/N oranları vardır (Şanyılmaz 2006).

Taguchi'nin performans karakteristiğinin olması istenilen durumlarına göre geliştirdiği S/N oranları içerisinde en fazla kullanılan 3'ü aşağıda verilmektedir (Phadke 1989, Ross 1989).

- Performans karakteristiginin “Hedef değer en küçük” olduğu durumda (gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.). Bu tür problemlerde, performans karakteristiği y’nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda Sinyal Gürültü (η) oranı eşitlik 2.15’de verildiği gibi tanımlanabilir.

$$\eta = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.15)$$

- Hedef değer en büyük (g, mukavemet vb.). Bu durumda y’nin hedef değeri sonsuzdur ve S/N esitlik 2.16’daki gibi tanımlanır.

$$\eta = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2.16)$$

- Hedef Değer En iyi (rn boyutları, elektrik voltajı vb.). Bu tür problemlerde, y için belli bir hedef değer verilmistir.

$$\eta = 10 \log_{10} \left[ \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right] \quad (2.17)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s<sup>2</sup>” ise varyansı ifade etmektedir.

### 2.6.6 Ortogonal dizinler

Genellikle yapılan deneysel çalışmalarda çok sayıda faktörler ve seviyeler bulunduğundan deneylerin gerçekleştirilmesi çok fazla zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Taguchi yöntemi bir tür kesirli faktöriyel tasarımdır. Deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir kısmının yapılmasıyla, en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini ifade eder. Ortogonal dizinler faktöriyel tasarımdan farklı olarak faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yaparak deney sayısını azaltır. Ortogonallik kavramı istatistikte denge anlamında kullanılmaktadır. Yani ortogonal dizinin stnlarına atanan faktörlerin her seviyesi eşit sayıda yer alır. Bu da her ikili faktör grubunun kendi aralarında bir faktöriyel tasarım

oluşturmasına ve aralarındaki ilişkinin belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır (Şanyılmaz 2006).

Ortogonal dizinler kullanılarak, diğer yöntemlerle mümkün olmayacak kadar çok sayıda faktörün etkisi aynı anda incelenebilir. Ortogonal dizinler kullanılarak yapılan bir deney tasarımı faktöriyel deney tasarım kullanılarak yapılan bir deney tasarımının %90'ı kadar etkili olduğu bilinmektedir. Öte yandan ortogonal dizinler, etkisi araştırılan temel faktörler arasında oluşabilecek bazı etkileşim faktörlerinin performans karakteristiği üzerine olan etkisini yok saydığı için tam faktöriyel deney tasarımına göre az da olsa bir hata olasılığına sahiptir. Ancak bu hata olasılığı deney maliyetlerinde yapılan tasarrufa göre önemsiz bir kayıp olarak değerlendirilmektedir (Şanyılmaz 2006).

Taguchi, deney tasarımlarını seviye sayılarına göre tek seviyeli tasarımlar ve karışık seviyeli tasarımlar olarak ikiye ayırmıştır. Tek seviyeli tasarımlar, tüm faktörlerin aynı seviye sayısına sahip olduğu tasarımlardır. Karışık seviyeli tasarımlar ise faktörlerin seviye sayılarının farklı olduğu tasarımlardır. Ortogonal dizinler bir sayı matrisi olarak ifade edilir. Her satır seçilen faktörlerin seviyelerini, her sütun ise dikkate alınan faktörleri ifade eder. Ortogonal dizinlerin temel özelliği deneye tüm faktörlerin eşit deneme sayıları ile katılmalarıdır. Ortogonal dizinlerin herhangi iki sütunu, iki faktörlü faktöriyel tasarım oluşturur (Şanyılmaz 2006).

Ortogonal dizinler  $L_a(b^c)$  şeklinde gösterilir. Burada ortogonal dizinler latin kare tasarımından türetildiği için L latin kare tasarımını temsil eder. “a” deneylerin sayısını, “b” her kolondaki seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. İki seviyeden 5 seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal dizinler bulunmaktadır. Yapılan deney tasarımına ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$  ve  $L_{32}$ 'dir. En çok kullanılan 3 seviyeli dizinleri ise  $L_9$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$ 'dir. Tabii ki her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı  $L_{18}$ ,  $L_{36}$ ,  $L_{54}$  gibi ortogonal dizinler de vardır. Şekil 1.9'da 2 seviyeli  $L_4(2^3)$  ve 3 seviyeli  $L_9(3^4)$  ortogonal dizinleri gösterilmektedir.

Bir deneyde kullanılacak ortogonal dizinler, deneyde yer alacak faktörlerin serbestlik derecelerine bağlı olarak seçilmiştir. Yapılacak deneylerde ortogonal dizinlerle ilgili en önemli konu hangi faktörlerin hangi sütunlara atanacağıdır. Faktörler sütunlara atanırken ilk olarak, seviyelerinin değişimi çok pahalı veya zor olan faktörün ilk sütuna atanması doğru olacaktır. Sütunlara atanacak olan faktörlerin temel faktörler mi yoksa bu faktörlerin etkileşimleri mi olduğu önemlidir. Taguchi, faktörler sütunlara atanırken kullanılmak üzere Doğrusal grafikler ve Üçgensel tablolar gibi metotlar geliştirmiştir (Şanyılmaz 2006).

### **2.6.7 Taguchi yönteminin uygulama adımları**

Taguchi yöntemini bir ürün veya süreçte başarılı bir şekilde uygulayabilmek için sistematik bir yaklaşım izlemek, hem deneysel tasarımının anlaşılabilirliği, hem de en doğru sonuçların daha kolay bir şekilde alınabilmesi için gereklidir. Taguchi yöntemlerinde yapılacak işlemler aşağıdaki gibi 10 başlık altında toplanabilir (Şanyılmaz 2006).

1. Problemin belirlenmesi
2. Performans karakteristiginin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi
3. Performans karakteristigini etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi
4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması
5. Etkileşimlerin belirlenmesi
6. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması
7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi
8. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi
9. Verilerin analizi
10. Doğrulama deneyinin yapılması

#### **2.6.7.1 Problemin tespiti ve ifade edilmesi**

Sistemdeki problemin belirlenmesi ve net bir şekilde ifade edilmesi, deney tasarımındaki en önemli adımı oluşturmaktadır. Çünkü bütün deney bu basamağın

çıktıları üzerine inşa edileceğinden yapılacak hata tekrar başa dönülmesine sebep olabilecektir. Bu konuda yapılan en büyük hata, yönetim, mühendislik, ve pazarlama gibi, bir sistem içindeki farklı bölümler arasındaki yanlış anlamalar ya da ifade yetersizlikleridir. Sistem ya da ürünle ilgili olan her tarafın görüşü alınmalıdır. Özellikle imalat sistemlerindeki problemlerin tespitinde bizzat ürün ve imalat ile ilgili müşteri, tedarikçi ve operatör gibi grupların görüşlerine eksiksiz yer verilmelidir. Gerçek problem araştırılmalı, problemin belirtilerinin problemmiş gibi algılanmasından kaçınılmalıdır. Sorunlar, çoğu zaman ideal durum ile gerçek durum arasındaki farktan ileri gelmektedir. Genellikle ürün uygunsuzlukları veya verimsizlik (makine arızaları, yüksek enerji sarfiyatları ya da ıskarta ürünler) şeklinde, piyasa, müşteri ya da operatör şikayeti olarak karşımıza çıkarlar. Örneğin bir prodesten her zaman tasarımdaki toleranslar dahilinde ürün çıksa bile ürünler arasındaki değişkenliğin büyük olması bir sorundur ve azaltılması için bir deney tasarımı gerçekleştirilebilir. Sorunların tespitinde Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD), Pareto analizi, beyin fırtınası öncelikli başvurulacak yöntemlerdir (Şanyılmaz 2006).

#### **2.6.7.2 Kalite karakteristiklerinin tespiti**

Ürün ya da prodesteki problemin tespitinin ardından, sistemde sorgulanacak çıktı niteliğindeki kalite karakteristiği tespit edilmelidir. Örneğin araç boyama prosesinin iyileştirilmesine yönelik bir problem için kalite karakteristiği boya kalınlığı ya da boyama süresi iken araç boyama prosesindeki değişkenlik probleminin kalite karakteristiği boya kalınlığı değişkenliği olabilir. Kalite karakteristiği seçilirken prosesin niteliği dikkate alınmalıdır. Ürünün taşınması, sağlaması beklenen kalite karakteristiği bir sistem için bir ya da daha fazla olabilir. Ancak birden fazla kalite karakteristiği seçilmesi halinde analiz ayrı ayrı yapılmalı, sonuçlar gerekirse daha sonra bir ağırlık çarpanı kullanarak birleştirilmelidir (Şanyılmaz 2006).

#### **2.6.7.3 Kontrol ve gürültü faktörlerinin tespiti**

Kontrol faktörleri, ürün ya da proses üzerinde etkili olduğu varsayılan kontrol edilebilir girdilerdir. Deneysel tasarımdan maksat bu faktörlerin farklı düzeylerini kullanarak, kalite karakteristiğini ne şekilde etkilediklerini tespit etmektir. Sistem üzerinde etkili

olması muhtemel, sıcaklık, nem gibi kontrol edilmesi güç ya da kontrol edilmesi düşünülmeyen faktörler ise gürültü faktörleri olarak adlandırılır. Gürültü faktörleri kısa bir süreliğine kontrol altında tutulabilir ancak sürekli kontrolleri oldukça pahalıdır. Taguchi yaklaşımının önde gelen getirilerinden biri de gürültü faktörlerinin ürün ya da proses üzerindeki etkisini minimize ederek her koşulda gürbüz bir tasarım elde etmektir. Kontrol ve Gürültü faktörlerinin tespiti, oldukça önemli bir basamaktır. Beyin Fırtınası, Sebep-Sonuç diyagramları ve akış şemaları kullanılarak yapılacak tespit bir faktörün gözden kaçması ya da önemsenmemesi tamamen yanlış bir tasarım ile sonuçlanabilir. Kontrol ve Gürültü faktörleri sıcaklık, basınç, zaman, hız, akım gibi sayısal büyüklükler şeklinde ifade edilebilen sürekli faktörler olabileceği gibi, malzemenin cinsi, bir durumun varlığı veya yokluğu gibi soyut faktörler de olabilirler (Şanyılmaz 2006).

#### **2.6.7.4 Faktör düzeylerinin tespiti**

Bir faktörün etkisini belirleyebilmek için en az iki düzeyinin kullanılması gerekmektedir. Düzey sayısının yüksek olması deneyin maliyetini artıracığı için seçimi iyi yapılmalıdır. Kalite karakteristiği üzerinde güçlü etkisi olması beklenen bazı faktörleri, muhtemel pek çok faktör içinden ayıklamak için yapılan tarama deneylerinde, deneyin boyutunu küçük tutmak adına iki düzey kullanımı tavsiye edilmektedir. Ancak faktörler arasında soyut faktörler yer alıyorsa bu faktörlerin tarama deneylerinde 3 düzeyli olarak denenmesi uygun olacaktır (Şanyılmaz 2006).

#### **2.6.7.5 Ortogonal dizinin seçimi**

Tasarımda hangi Ortogonal Dizin (OD) kullanılacağı; faktör ve incelenmek istenen etkileşim sayısına, faktörlerin düzey sayılarına ve deneysel kararlılık ve maliyet sınırlarına bağlıdır. Kesirli deneylerin kullanımı halinde faktörler dizinin sütunlarına atanırken birbirlerinin yerlerini alabilirler (Şirvancı 1996).

Deneysel Kararlılık kavramı ise, bir deneyde oluşan eşadların durumuna göre kesirli deneylerin sınıflandırılmasında kullanılan yararlı bir yöntemdir. Kararlılık düzeyleri şu şekilde özetlenebilir.

Kararlılık-1: Ana etkiler 2 faktörlü etkileşimler ile eşitlenebilirler.

Kararlılık-2: Ana etkiler 3 faktörlü etkileşimler ile veya 2 faktörlü etkileşimler birbirleri ile eşitlenebilirler.

Kararlılık-3 : Ana etkiler 4 faktörlü etkileşimler ile veya 2 faktörlü etkileşimler, 3 faktörlü etkileşimler ile eşitlenebilirler.

Kararlılık-4: Bütün faktör ve etkileşimler ayrı kolonlarda yer alırlar (Montgomery 2009).

Deney tasarımında kullanılacak ortogonal dizinin seçimi her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunur. Her bir faktörün serbestlik derecesi ise seviye sayısının bir eksigidir. Ortogonal dizinlerin kolonlarına yerleştirilecek olan etkileşim faktörlerinin seviye sayıları ise temel faktörlerin serbestlik sayılarının çarpımına eşittir. Faktör grubunun serbestlik derecesi belirlendikten sonra, serbestlik sayısının uygun düştüğü deneme sayısına sahip olan tasarım seçilir. Serbestlik sayısı en fazla, seçilecek olan ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Ortogonal dizinlerin gösterildiği  $L_a(b^c)$  standart ifadesinde a deney tasarımında kullanılacak deney sayısını ifade ettiğinden faktör grubunun serbestlik derecesi ve a arasındaki ilişki eşitlik 2.18’de verildiği gibi olacaktır (Şanyılmaz 2006).

$$\text{faktör grubunun serbestlik derecesi} \leq a - 1 \quad (2.18)$$

Faktör sayılarına göre 2 ya da 3 düzeyli OD’nin kullanımına karar verilecektir. Eğer deneyde farklı düzeyler içeren faktörler yer alıyorsa baskın düzeye göre OD’lerin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Faktör sayıları ve kararlılık düzeylerinden hareketle kullanılacak OD’nin seçimi 2 düzeyli faktörler için Tablo 3.9’a, 3 düzeyli faktörler için ise çizelge 3.10’a göre yapılır. Çizelgelerde “\*” tekrarlı deneyleri, “X” tasarımın mümkün olmayacağı durumları göstermektedir (Öztop 2007).



Çizelge 2.6 İki düzeyli OD'lerin seçimi

OD	Faktör sayısı (iki seviyeli)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L4	4	4	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
L8	4*	4*	4	2	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X
L16	4*	4*	4*	4	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
L32	4*	4*	4*	4*	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L64	4*	4*	4*	4*	4*	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2
L128	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4	3	2	2	2	2	2	2	2
L256	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4*	4	3	2	2	2	2	2	2

Çizelge 2.7 Üç düzeyli OD'lerin seçimi

OD	Faktör sayısı (üç seviyeli)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
L9	4*	4*	1	1	X	X	X	X
L18	1	1	1	1	1	1	1	1
L27	4	4	4	2	1	1	1	1

### 2.6.7.6 Deneyin yapılması

Ortogonal Dizin seçildikten ve kolonlarına faktör ve etkileşimlerin ataması yapıldıktan sonra deneylerin fiilen gerçekleştirilmesine başlanabilir. OD'nin öngördüğü şekilde, faktörlerin düzeyleri kullanılarak deneyler yapılır, ancak burada karar verilmesi gereken iki nokta deneylerin tekrarlı yapılıp yapılmayacağı ve hangi sıra ile yapılacağıdır. Deney sonucunda ölçülen kalite karakteristiği sürekli bir veri ise (sıcaklık, basınç, hız gibi) deneyleri tekrarlamak sadece güvenilirliğini artıracaktır. Ancak kalite karakteristiği açık-kapalı, var-yok, 1-0 gibi süreksiz bir veri ise deneyler muhakkak tekrarlı şekilde yapılmalıdır. Çünkü en ufak bir hata sonuçları büyük ölçüde etkileyecektir. Eğer mümkünse kalite karakteristiğinin sınıf sayısı da artırılmalıdır. (açık-yarı açık-kapalı gibi). Deneyler makinelerin ve ölçüm cihazlarının hatalarını en aza indirmek, önceden saptanamayan hata kaynaklarının etkilerini azaltmak için OD'nin öngördüğü sıra ile

değil de rasgele yapılmalıdır. Faktörleri değiştirmenin kolay olduğu durumlarda deney sırasının tamamen gelişigüzel belirlenmesi uygun olacaktır. Ancak faktörleri değiştirmenin zor olacağı durumlarda tekrarların ardı ardına yapılmasına müsaade edilebilir.

#### **2.6.7.7 İstatistiksel analiz ve sonuçların yorumlanması**

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde gözlem metodu, sıralama metodu, sütun etkileri metodu, grafiksel metot ve varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılabilir. Taguchi, bir anlamda basitleştirilmiş ANOVA olan sütun etkileri metodunu önermektedir. Sütun etkileri metodu her bir sütun için, 1. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçlarının toplamının 2. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçları toplamından çıkarılması esasına dayanır. Böylece her bir sütun için, sayısal bir değer elde edilecek ve bu değerin büyüklüğü ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimin etki derecesine karar verecektir. Deney sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi'nin önerilerinden bir diğeri ise Sinyal Gürültü Oranlarıdır. Performans kriteri olarak kullanılmak üzere önerilen Sinyal Gürültü Oranları kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde değişkenliğin bir ölçüsüdür.

#### **2.6.7.8 Deney doğrulaması**

Deney tasarımı neticesinde optimum kalite karakteristiği ve minimum değişkenliği oluşturan faktörlerin ve düzeylerinin kombinasyonu tespit edilir. Tespit edilen bu kombinasyonun en az bir kez denenmesi ve beklenen sonuçları vermesi gerekir. Elde edilen bu kombinasyonun deney planında denenmemiş olması kuvvetle muhtemeldir. Deney Tasarımının son adımı olan doğrulama deneyinin, beklenen sonuçları vermesi ile iyileştirme tamamlanmış olur.

### **2.7 Cevap Yüzey Yöntemi**

Cevap yüzey yöntemi, “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile 1951 yılında Box and Wilson tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. İlk olarak kimya endüstrisine uygulanmıştır. Myers ve Montgomery (1995), cevap yüzey yöntemini,

proseslerin geliştirilmesi ve eniyilemesi için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlamıştır. Cevap yüzey yöntemi, proses değişkenlerinin deneysel uzayını araştırmak için deneysel stratejileri, sistemin yanıtı ve üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan ampirik modelleme tekniklerini ve proses değişkenlerinin sistemin yanıtında arzu edilen etkiyi gösterdiği seviyelerinin bulunması için kullanılan eniyileme tekniklerini içermektedir. Genel olarak cevap yüzey yöntemi 3 aşamadan (eleme denemeleri, bölge araştırması ve işlemin veya ürünün eniyilemesi) oluşmaktadır. Eleme denemeleri, daha az sayıda ve daha verimli esas deneme yapılmasına olanak sağlamaktadır. İkinci aşama olan bölge araştırmasında amaç, eleme denemeleri ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğini belirlemektir. Cevap yüzey yönteminin üçüncü aşaması, işlem optimum noktaya yaklaşıldığında başlar. Gerçek yanıt fonksiyonu optimum nokta etrafında önemli bir eğrilik göstermektedir. Bu eğriliğin tahminlenmesinde lineer olmayan modeller, genellikle ikinci dereceden çok terimli modeller, üssel modeller veya üstel modeller kullanılır. Uygun bir model elde edildikten sonra, bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır (Koç ve Ertekin 2012).

Cevap Yüzeyi Yöntemi, (Response Surface Methodology) değişik tipteki endüstriyel süreçlerden geliştiren, iyileştiren ve optimize eden istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür. Cevap Yüzeyi Yönteminin en yaygın uygulamaları, bir kaç girdi değişkeninin (faktörün) bir ürün veya sürecin performans ölçüsü veya kalite karakteristiğini etkilediği durumlardır. Bu performans ölçüsü veya kalite karakteristiği cevap olarak adlandırılmaktadır. Girdi değişkenleri (faktörler), araştırmacı veya uygulayıcı tarafından kontrol altında tutulabilmektedir (Kasapoğlu 2007).

Bir süreçteki girdi değişkenleri ile cevap değişkeni arasındaki ilişkinin yapısı bilindiğinde, girdi değişkenleri seviyeleri, optimum cevap değerini elde edecek şekilde seçilebilir. Ancak cevap ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkinin gerçek yapısı bilinmediğinde, girdi değişkenlerinin cevap üzerindeki etkilerinin ampirik olarak bulunması söz konusudur. Diğer bir deyişle, cevap ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi temsil eden ampirik bir modelin (genellikle çok terimli) bulunması söz

konusudur. Yanıt yüzeyi yönteminde, bir çok terimli ile girdi değişkenleri arasındaki uzayda küçük bir bölgede bilinmeyen gerçek ilişkiye yaklaşılabileceği varsayılmaktadır. Bu çok terimlilikler ise genellikle birinci ve ikinci derecedendir. Yanıt yüzeyi yönteminde kullanılan teknikler aşağıdaki gibidir (Kasapoğlu 2007).

Söz konusu yanıtın ölçülmesini sağlayacak deneylerin tasarlanması yanıt yüzeyi çalışmalarında veri toplama aşamasının planlanması oldukça önemlidir. Bu aşamada deney tasarımlarının özel bir sınıfı olan yanıt yüzeyi tasarımları kullanılmaktadır. Birinci derece modeller için kullanılan yanıt yüzeyi tasarımları birinci derece tasarımlar ve ikinci derece modeller için kullanılan yanıt yüzeyi tasarımları ikinci derece tasarımlar olarak adlandırılmaktadır. İkinci aşama, yukarıda seçilen tasarımdan toplanan verilere en iyi uyumu sağlayacak modelin bulunmasıdır. Model parametreleri ile ilgili hipotez testleri, uyum yetersizliği testi, artık (residual) analizi, verilere en iyi uyumu sağlayacak modelin bulunmasında kullanılabilir. Ayrıca girdi değişkenleri ve- veya yanıt değişkeni üzerine uygulanan transformasyonlar ile modelin uyumu iyileştirilebilir. Son aşama ise optimum yanıt değerini veren koşulların (optimum faktör seviyelerinin) seçimidir. Yanıtın maksimizasyonu (veya minimizasyonu) hedeflendiğinde ve birinci derece modelin yeterli olduğu durumlarda cevabın optimum değeri, genellikle incelenen bölgenin dışındadır. Bu gibi durumlarda yanıtın optimum değerine yaklaşmak için en hızlı artış (veya azalış) yöntemi kullanılabilir. İkinci derece modelin yeterli olduğu durumlarda ise yanıtın optimum değeri incelenen bölgede veya bu bölgenin dışında olabilir. Optimum yanıt değeri incelenen bölgede ise kanonik analiz, bu bölgenin dışında ise yine kanonik analiz ve- veya sırt (ridge) analizi kullanılabilir. Doğrusal olmayan programlama teknikleri, incelenen bölge içerisinde, yanıt optimum değerini bulmak amacıyla kullanılabilir (Kasapoğlu 2007).

### **2.7.1 Cevap yüzey yönteminin uygulama adımları**

Cevap yüzey yönteminin adımları şöyle sıralanabilir (Kasapoğlu 2007).

1. Başlangıç noktası olarak belirlenen noktayı göz önüne alarak etkensel tasarım planlanır ve deneyler gerçekleştirilir
2. Veriye doğrusal bir model uydur (Karesel ve etkileşim terimi olmayan)
3. En dik yükselme yolunu belirle

4. Sistemin yanıtı önemli ölçüde değişim göstermeyi bırakana dek o doğrultuda yeni deneyleri gerçekleştirmeye devam et
5. Eğer yüzeyin eğimi büyükse 6. adıma git, yoksa 1'e git
6. Optimum noktanın komşuluğunda yeni deney tasarımını planla, yap ve veriye 2. dereceden bir model uydur
7. İkinci dereceden modele göre bağımsız değişkenleri optimum değerlerini belirle

### **2.7.2 Cevap yüzey modelleri**

Birçok cevap yüzey yöntemi probleminde, yanıt ve bağımsız değişken arasındaki fonksiyonun matematiksel formu genellikle bilinmediğinden tahminlenmesi gerekmektedir. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir uyum veriyorsa, birinci dereceden çok terimli denklem, model olarak kullanılabilir. Eğer sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden çok terimli denklemler gibi daha yüksek dereceli çok terimli denklemler kullanılmalıdır. Birinci dereceden çok terimli modeller gerçek yanıt yüzeyindeki eğriliği tahminlemede yetersiz kalmaktadır. İkinci dereceden çok terimli modellerin cevap yüzey yönteminde yaygın olarak kullanımının pek çok nedeni vardır: Esnekliği nedeni ile çok çeşitli fonksiyonel formlar alabildiğinden gerçek yanıt fonksiyonun tahminlenmesinde kolaylık sağlamakta, katsayı değerleri karmaşık hesaplamalar olmadan en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahminlenebilmekte ve optimum nokta matematiksel olarak kolayca belirlenebilmektedir. Yanıtların temsilinde kübik veya daha yüksek dereceli çok terimli modellerin de çok sık olmasa da kullanıldıkları fakat biyolojik terimlerin açıklanmasında güçlüklerin olduğu rapor edilmiştir.

Cevap yüzey yöntemi uygulaması için üretilmiş çoğu paket program ikinci dereceden çok terimli modeli kullanmaktadır. İkinci dereceden çok terimli bir modelin sadece bir tane bölgesel minimum veya bölgesel maksimum noktası olduğu için eniyileme çalışmasında ikinci dereceden çok terimli bir model kullanımı kolay bir yaklaşımdır. Eğer ikinci dereceden bir modele uygun değilse yanıtın veya bağımsız değişkenlerin transformasyonu yapılarak veya bağımsız değişkenlerin aralıkları uygun bir şekilde değiştirilerek yanıtın eğiliminin bu model ile açıklanması sağlanmalıdır. Biyokimyasal

proseslerde sıcaklığın etkisi simetrik veya simetrik olmayan çan şeklindeki eğrilerle açıklanabilmektedir. Özellikle simetrik olmayan eğriler için, sıcaklığın etkisini ikinci dereceden çok terimli bir model ile açıklamak mümkün değildir. Üssel (Power) modeller de çok terimli modellere benzeyen empirik modellerdir ve çok terimli modellerin bazı dezavantajlarını elimine ederler. Bu modellerin katsayıları da en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahminlenebilmektedir. Ancak bir dezavantaj olarak üssel modeller de çok terimli modeller gibi veri gurubu dışını tahminleyemezler (Koç ve Ertekin 2012).

Cevap yüzey problemlerinin çoğunda, cevapla bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel yapısı tam olarak tahmin edilemez. Bundan dolayı cevap yüzey yöntemindeki ilk basamak, y ile bağımsız değişken seti arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir tahmin bulmaktır. Genellikle bağımsız değişkenlerin bir bölgesi içindeki düşük dereceli bir polinom fonksiyon kullanılır. Eğer cevap, bağımsız değişkenlerin lineer bir fonksiyonuyla iyi bir şekilde modellenabiliyorsa tahmin fonksiyonu “birinci derece model” dir (Koç ve Ertekin 2012).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.19)$$

sistemde bir kavis (eğrilik) varsa “ikinci derece model” gibi yüksek dereceli bir polinom kullanmak zorundadır:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + e \quad (2.20)$$

Denklemden,  $\beta_0$  sabit terim,  $\beta_i$  modelin doğrusal katsayıları,  $\beta_{ij}$  modelin karma karesel katsayılarını ve  $\beta_{ii}$  modelin karesel katsayılarını temsil etmektedir. Hemen hemen bütün cevap yüzey problemleri bu modellerin bir ya da ikisini kullanır. Bir polinom modelinin, bağımsız değişkenlerin bütün uzayı üstündeki gerçek fonksiyonel ilişkisinin makul bir tahmini olabileceği elbette kuşkuludur, fakat nispeten küçük bir bölge için genellikle iyi iş görürler. Küçük kareler metoduyla polinomdaki parametreler belirlenir. Daha sonra, yapılandırılan yüzey kullanılarak cevap yüzey analizleri gerçekleştirilir.

Yapılandırılan yüzey, gerçek cevap fonksiyonunun yeterli nitelikteki bir tahmini ise, bu yüzeyin analizi gerçek sistemin analizine kabaca eşdeğer olacaktır. Verileri toplamada uygun deney dizaynları yapılırsa, model parametreleri daha etkili belirlenebilir. Yapılandırılmış cevap yüzeyine ait dizaynlar “ Cevap Yüzey Dizaynı” olarak adlandırılır. Cevap Yüzey Dizaynlarında genellikle küresel merkez kompozit dizaynı veya Box Behnken Dizaynları kullanılır (Kasapoğlu 2007).

### **2.7.3 Cevap yüzey yöntemi ve merkezi karma tasarım**

Box- Wilson merkezi karma tasarımı genellikle merkezi karma tasarımı olarak adlandırılır ve yapısında gömülü faktöriyel ve kesirli faktöriyel tasarım içeren, merkez noktaları ve bir grup yıldız noktası ile eğimin tahmin edilmesini sağlayan bir tasarımdır. Eger tasarımın merkez noktasından faktöriyel bir noktaya her faktör için uzaklık  $\pm 1$  birim ise tasarımın merkez noktasından bir yıldız noktaya uzaklık  $\pm \alpha$  dır ( $|\alpha| > 1$ ).  $\alpha$  tasarım için istenen özelliklere ve faktör sayısına bağlıdır. Benzer olarak merkez nokta deneylerinin sayısı da tasarım için istenen özelliklere bağlıdır (Kasapoğlu 2007). Bloklanmış ve bloklanmamış merkezi tasarımlar oluşturulabilir. Merkezi tasarımlar; genellikle -1 ile +1 değerleri ile kodlanmış faktör seviyelerinde tamamlanmış yada kısmi faktöriyel tasarım, tasarım mesafesinden  $\alpha$  mesafesi kadar uzaklıkta her tasarım değişkeni'nin eksenü üzerinde iki aksel nokta ve merkez noktaları içerir (Khuri ve Cornell 1996).

Merkezi karma tasarımlar (MKT) birbirü ardı sıra yapılacak deney planları için önerilir. Bu tasarımlar düzgün olarak planlanmış faktöriyel tasarımlardan bilgi sağlayabilirler. Faktöriyel ve merkez noktalar dogrusal modeli oluşturmak için kullanılabilir ancak ikinci dereceden bir yaklaşımın önemini vurgulayacak kanıt sağlayarak katkı sağlarlar. Merkezi ve aksel noktaların tasarıma eklenmesi ile merkezi karma tasarım ikinci dereceden denklem tahminleme konumuna gelebilir. Ortogonal bloklaya ve döndürülebilirlik imkanı da tanıyan merkezi karma tasarım ikinci derece modeldeki karesel terimlerinin tahminini yapabilir. Ortogonal olarak bloklanmış tasarımlar model terimlerinin ve blok etkilerinin bağımsız olarak tahminlenmesini ve regresyon katsayıları arasındaki değişimin minimize edilmesini sağlar. Döndürülebilir tasarımlar, bütün noktaların tasarım merkezinden eşit uzaklıkta olması ile sabit tahmin varyansını

sağlamakta, bu da tahmin kalitesini arttırmaktadır. MKT'nin faktoriyel bölümünde deneylerin koşulum sayısına bağlı olarak  $\alpha$ 'nın değeri rotatibily(döndürebilirliği) korumak için seçilir (Kasapoğlu 2007).

$$\alpha = [\text{Faktoriyel Koşum Sayısı}]^{1/4} \quad (2.21)$$

Eğer faktoriyel, tam faktoriyel ise,(2 düzey için)

$$\alpha = \frac{k}{4}, \text{ olarak yazılabilir.} \quad (2.22)$$

#### 2.7.4 Cevap yüzey yöntemi analizi

Regresyon Ortalama Karesi ve ortalama karesi hatasının oranı olan F değeri hesaplanarak varyans analizi (ANOVA) testi gerçekleştirilir. Bir faktörünün ya da modelin etkisine göre, ve hata terimi varyansına göre olmak üzere F oranı ayrıca varyans oranı olarak da anılır. Bu oran belli bir anlam derecesinde,  $\alpha$ , hata teriminin içinde bütün terimlerin olduğu bir durumda modelin anlamlılığını ölçer. İstenen anlamlı bir modeldir (Noordin v.d. 2004, ss:46-58). Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkilerin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecidir. Bağımsız değişken sayısı bir olduğunda basit regresyon, birden fazla olduğunda ise çoklu regresyon söz konusudur. Regresyon analizi üç grupta sınıflandırılabilir: Bağımsız değişken sayısına göre; Basit regresyon analizi (Tek bağımsız değişken), Çoklu regresyon analizi (Birden çok bağımsız değişken), Fonksiyon tipine göre; Doğrusal regresyon analizi, Doğrusal olmayan (egrisel) regresyon analizi, Verilerin kaynağına göre; Ana kütle verileriyle regresyon analizi, Örnek verileriyle regresyon analizi, Zaman serilerinde regresyon analizi (Orhunbilge 2002).



#### 2.7.4.1 Varyans analizi (ANOVA)

Varyans analizi iki veya daha fazla ortalama arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı ile ilgili hipotezi test etmek için kullanılır. Varyans analizinin uygulanabilmesi için örneklerin seçildiği anakütlelerin normal dağılması ve varyanslarının eşit olması gerekmektedir. Varyans analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenlerden bahsedilir. Bağımsız değişkenlere faktör adı da verilmektedir. Faktörlerin, bağımlı değişkenler üzerinde etkisi araştırılır. Bağımsız değişkenin kategorik, bağımlı değişkenin ise metrik olması gerekmektedir. (Orhunbilge 1997)

#### 2.7.4.2 Olasılık değeri (p-value)

Model katsayılarının anlamlılığını ölçme testi geri eliminasyon, ileri ekleme ve adım usulü eliminasyon/ekleme ve yer değiştirme suretiyle katsayıların eklenmesi ya da çıkarılmasıyla model eniyilenmesine temel teşkil eder. P değeri ya da olasılık değerinin, hesaplanmasını da kapsar. Hipotezin yanlışlıkla reddedilmesi riskini tasır. Örneğin Prob.> F değeri F testinde, hiç bir faktör anlamlı olmadığı zaman bölümünü söyler. Belirlenen Prob.> F değeri istenen olasılıkla ya da  $\alpha$  seviyesi ile karşılaştırılır. Genelde en düşük seviyeli polinom sistemi tanımlamak için kullanılır (Kasapoğlu 2007).

#### 2.7.4.3 Kodlama

Cevap yüzeyleri çalışmalarında değişkenler genellikle kodlanır. Kodlamanın temel amacı tasarımın ortogonal (dik) hale getirilmesi ve hesaplama kolaylığıdır. Modeller kodlanmış değişkenlere göre oluşturulur. Kodlanmış bir değerden gerçek değere geçiş basit bir dönüşüm aracılığı ile sağlanır (Köksoy 2001).

Test faktörleri şu eşitlik ile kodlanmıştır (Cho ve Zoh 2007).

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \quad (2.23)$$

$x_i$ : i. bağımsız değişkenin kodlanmış değeri,

$X_i$ : i. bağımsız değişkenin gerçek değeri

$X_{i0}$ : merkez noktadaki i. bağımsız değişkenin gerçek değeri,

$\Delta X_i$ : Gerçek değerdeki değişim

#### 2.7.4.4 Model uyumu için test

Tekrar ölçümleri mümkünken, tekrar hatasının anlamlılığını belirleyen test ile modele bağlı hatanın karşılaştırılması yapılabilir. Bu test kalıntıyı, kareler toplamı hatasını ikiye ayırır. Bunlardan bir tanesi tekrarlara dayanan saf hata değeri de modelin performansına dayanan modelin uyumsuzluğudur. Model uygunsuzluğu için test istatistiği ortalama karesinin model uygunsuzluğunun saf hata ortalama karesine oranıdır. Bu F istatistiği model uygunsuzluğu hatasının anlamlı olup olmadığının ya da istenen anlam seviyesi  $\alpha$ 'nın belirlenmesinde kullanılabilir. Anlamsız çıkan model uygunsuzluğu istenir çünkü anlamlı model uygunsuzluğu değişken ve yanıt ilişkisinde katılımlar olabileceğini ve bunun model tarafından hesaba katılmadığı anlaşılır (Kasapoğlu 2007).

Ayrıca modelin deneysel veriyi gerçekten tanımlayıp tanımlamadığının kontrolleri yapılmalıdır. İyi bir modelin yanıtta değişimin tümünü açıklaması gerekir. Regresyon katsayısı da bu kriter için bir ölçüdür ve model tarafından hesaplanan değişimin toplam değişime bölünmesi ile hesaplanır. Burada yapılan kontroller farklı katsayıların belirlenmesidir.  $R^2$  bunlardan biridir.  $R^2$  katsayısı 0 ile 1 arasında değer alır.  $R^2$  değeri bire yaklaştıkça gözlenen ve model sonucu bulunan değerler arasındaki ilişkinin iyi olduğu söylenebilir.  $R^2$  değeri Anova modeli tarafından saptanan değişkenlik oranıdır. Düzeltilmiş  $R^2$  ise modeldeki faktör sayılarının etkisini inceleyen bir istatistikî değerdir. Regresyon katsayısı  $R^2$  toplam değişimin ne kadarlık kısmının model tarafından açıklandığını söyler. Gözlenen ve model sonucu bulunan değerler arasındaki ilişkinin iyi olmasının yani  $R^2$  değerinin yüksek olması istenir. Düzeltilmiş  $R^2$  değerinin de yüksek olması bu savı destekler. Faktör sayılarının çok olduğu karmaşık deneylerde faktör sayısının azaltılması ya da arttırılması gerektiği konusunda fikir verir (Montgomery 2005). Buna ek olarak modelin uygunluğu kalıntılarının (residual) incelenmesi ile yapılır. Bu kalıntılar gözlenen çıktılar ve tahminlenen çıktılar arasındaki farktır. Çıktıların normal olasılık dağılımları yolu ile ve kalıntılarının tahminlenen çıktılara karşı grafikleri (plot) yardımıyla bulunur. Eğer model uygunsa normal olasılık

diyagramlarındaki kalıntıların noktaları, düz bir çizgi oluşturmak zorundadırlar. Diğer bir taraftan kalıntıların tahminlenen çıktılara karşı plot diyagramları, belli bir yapıda olmamalı, dağınık olmalıdır (Noordin v.d. 2004)

## 2.8 Çok Yanıtlı Eniyileme

Proseslerin eniyilenmesinde genellikle sistemin performansını veya ürünün kalite kriterlerini belirleyen çok sayıda yanıtla eş zamanlı olarak çalışılır (Montgomery 2005, Koç ve Ertekin 2012). Bu yanıtların bazılarının maksimum seviyede tutulması, bazılarının minimum seviyede tutulması, bazılarının da kabul edilebilir değerler veya hedef değer alması istenir. Birçok durumda, yanıtlar birbirleri ile rekabet halindedir, diğer bir ifadeyle bir yanıtın geliştirilmesi diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilir. Bu yüzden, eniyileme çalışmalarında sistemi karakterize eden tüm yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu problemi çözmek için farklı yaklaşımlar öne sürülmüştür (Koç ve Ertekin 2012).

Çok yanıtlı eniyileme problemlerinin çözümünde: lineer olmayan programlama yaklaşımı, yanıtların izohips eğrileri çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing) ve desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Desirability (İstenirlik) fonksiyonun ilkesi, tüm yanıtların, boyutsuz desirability skalasını içeren “desirability fonksiyonu” olarak tanımlanan tek bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun arzu edilen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesini içermektedir. Farklı skalaya sahip yanıtların birlikte incelenebilmesi, yanıtların tek bir fonksiyona kolayca dönüştürülebilmesi ve kalitatif ve kantitatif yanıtların kullanılabilmesi bu yöntemin önemli avantajları arasındadır (Koç ve Ertekin 2012). Desirability fonksiyonu, tüm yanıtların bir araya getirildiği, 0 ile 1 arasında değişen tek bir yanıt indeksidir ve bu değer 1'e yaklaşması araştırmacının belirlediği kriterlerin sağlandığını belirtmektedir (Jeong ve Kim 2009, Koç ve Ertekin 2012).

Taguchi yöntemi tek başına sadece tek performans yanıtının eniyilemesinde kullanılan bir yöntemdir. Çok yanıtlı bir deneyden elde edilen değerlerin analizi, değerlerin birden fazla değişkenli olması durumunun titiz bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Yanıtlar arasındaki ilişkiler, tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden

olacağı için yanıt değişkenleri tekil ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Bu durumda, birden fazla yanıtın eş zamanlı olarak eniyilemesi isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef, tüm yanıtları kapsayan tek bir çözümün tanımlanmasıdır. Bu amaçla yapılan çözümde, tasarım noktalarına ilişkin yanıtlar eniyilenir ve varyanslar en küçüklenir. Bu amaç için literatürde ÇKKV(Çok kriterli karar verme) yöntemleri ile Taguchi yöntemi bütünleşik olarak uygulanmaktadır. TOPSIS yöntemi diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine (VIKOR ve GRA) göre daha basit ve Taguchi yöntemi ile daha uyumlu şekilde kullanılabilir (İç ve Yıldırım 2012).

### **2.8.1 Doğrusal olmayan programlama**

Doğrusal olmayan programlama (DOP) problemi, verilen bir amaç fonksiyonunu belli kısıtlar altında eniyi yapan değeri bulmaktır. DOP da amaç fonksiyonu veya kısıtlardan herhangi biri doğrusal olmayabilir (Yazıcı 2005).

Doğrusal olmayan bir fonksiyonun en iyi değerinin elde edilmesi problemlerinin çözüm yöntemlerine doğrusal olmayan programlama (DOP) denir.

Doğrusal olmayan programlama problemlerinde amaç;

$$g_i(x) \leq b_i \quad (2.24)$$

kısıtları altında

$z = f(x)$  fonksiyonunu en iyileyen (optimal yapan)  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  vektörünün bulunmasıdır.

#### **2.8.1.1 Eniyileme bileşenleri**

Eniyileme mevcut sistemin matematik modelini oluşturup, belirtilen sınırlar içinde bu fonksiyonun minimum veya maksimum değerlerinin bulunmasıdır. Böyle bir problemin üç önemli bileşeni vardır.

Tasarım Değişkenleri: Özellikle uzunluk, kalınlık, çap v.b. gibi modeli tanımlayan geometrik büyüklüklerdir. Dikkat edilmesi gereken nokta, bunlar birbirinden bağımsız

değişkenlerdir. Diğer bir deyişle bağımsız değişkenlere farklı değerler atayarak, farklı tasarımlar yapılabilir.

**Tasarım Kısıtlamaları:** Tasarım değişkenlerine bağlı olarak tanımlanan ve sisteme ait gerilme, frekans, boyut, deformasyon, sıcaklık gibi büyüklük sınırlarını belirten ifadelerdir.

**Amaç (Hedef) Fonksiyonu:** Tasarım değişkenlerine bağlı olarak tanımlanan ve tasarım sınırlamaları dahilinde minimum veya maksimum yapılmaya çalışılan fonksiyondur (Tosun 2006).

### **2.8.1.2 Dış bükey-iç bükey kavramı**

Eniyileme problem çözümlerinin analizlerinde ve çözüme yönelik yöntemler geliştirme aşamasında dışbükey küme ve dışbükey fonksiyon kavramları önemli bir yere sahiptir (Bazaraa vd. 1993). Örneğin, dışbükey küme üzerinde tanımlı bir dışbükey fonksiyonun yerel enküçük değeri, aynı zamanda global enküçük değere karşılık gelmektedir (Luenberger 1984). Bu bağlamda, eniyileme problemleri iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki karar değişkenleri ve kısıtlar tarafından belirlenen alternatifler kümesi, diğeri ise bu alternatifler kümesi üzerinde tanımlı, seçme kriteri olan amaç fonksiyonudur. Problemin çözümü için seçilecek olan yöntem, genellikle alternatifler kümesi ve amaç fonksiyonunun yapısına bağlıdır (Yazıcı 2005).

### **2.8.1.3 Karesel programlama**

Değişkenler üzerinde maksimum veya minimum şartını sağlamak için doğrusal kısıt ve negatif olmama kısıtı ile sınırlandırılmış, amaç fonksiyonu ikinci dereceden bir polinom olan doğrusal olmayan programlama tipine karesel programlama denir. Karesel programlama istatistikte regresyon analizinden, portföy analizine kadar pek çok yerde uygulama alanına sahiptir. Aşağıda gösterilen form standart karesel programlamanın genel şeklidir (Beşer 2005)

$$\text{Minimize: } f(x) = a + cx + (1/2)xQx \quad (2.25)$$

$$\text{Kısıtlar: } Ax \leq b, x \geq 0 \quad (2.26)$$

$Q$ ,  $n \times n$  pozitif tanımlı matris,  $b \in R^m$ ,  $c \in R^n$ ,  $a \in R$  ve  $A$  rankı  $m$  olan  $m \times n$  matris.

Günümüzde eniyileme problemlerinin çözümünde analitik ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Analitik çözümlerde belirli bir asamadan daha ileriye gidilememesi, birçok sayısal yöntemin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Sayısal yöntemlerde tekrarlı(iteratif) işlemler bilgisayar kullanımı ile kısa sürede çözülmüştür. CAD, CAM, CAE programları üreten bazı büyük yazılım şirketleri geliştirdikleri bu programlara tasarım eniyilemesi yapan modüller de eklemiştir. Örneğin ANSYS, I-DEAS, MATLAB v.b. paket programları bu modüllerden birkaçıdır (Tosun 2006).

### 2.8.2 İstenirlik (desirability) fonksiyonu yaklaşımı

Desirability (İstenirlik) fonksiyonun ilkesi, tüm yanıtların, boyutsuz desirability skalasını içeren “desirability fonksiyonu” olarak tanımlanan tek bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun arzu edilen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesini içermektedir (Koç ve Ertekin 2012). Desirability (İstenirlik) fonksiyonu çok yanıtlı bir eniyileme problemini tek yanıtlı bir eniyileme problemine dönüştürür (Kovach ve Cho 2009). Farklı skalaya sahip yanıtların birlikte incelenebilmesi, yanıtların tek bir fonksiyona kolayca dönüştürülebilmesi ve kalitatif ve kantitatif yanıtların kullanılabilmesi bu yöntemin önemli avantajları arasındadır. Desirability fonksiyonu, tüm yanıtların bir araya getirildiği, 0 ile 1 arasında değişen tek bir yanıt indeksidir ve bu değer 1'e yaklaşması araştırmacının belirlediği kriterlerin sağlandığını belirtmektedir. Desirability fonksiyonu  $d_i(\hat{y})$ 'ler her bir yanıt ( $\hat{y}$ ) için ayrı ayrı hesaplanır ve daha sonra bu bireysel fonksiyonların geometrik ortalaması alınarak tek bir toplu desirability fonksiyonu (D) oluşturulur. Eniyileme çalışmasında her bir yanıt için seçilen kritere (maksimum, minimum, hedef değer atanması veya belli bir aralıkta olması) bağlı olarak farklı desirability fonksiyonları kullanılmaktadır (Koç ve Ertekin 2012).

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i \leq L_i \\ \left[ \frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i} \right]^s & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ \left[ \frac{T_i - \hat{y}_i}{T_i - U_i} \right]^t & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i \geq U_i \end{cases} \quad (2.27)$$

Burada,  $T_i$ , hedef değeri,  $L_i$  ve  $U_i$  sırasıyla alt ve üst sınırları belirtmektedir.  $s$  ve  $t$  ise hedef değere ulaşmanın ne kadar önemli olduğunu ve bu yanıtın ürünün toplam arzu edilebilirliğindeki rolünü belirleyen ağırlık sabitleridir (Khuri ve Cornell 1996, Koç ve Ertekin 2012).

Her bir yanıt için desirability fonksiyonları tanımlandıktan sonra geometrik ortalamaları alınarak hepsi için tek bir toplu desirability fonksiyonu ( $D$ ) elde edilir. Ağırlık katsayılarına ilave olarak her bir yanıtın eniyilenmesindeki önemliliğini belirten 1'den 5'e kadar önemlilik derecesi ( $v_i$ ) de verilebilmektedir. Son toplu desirability fonksiyonu  $i$  adet yanıt için,

$$D = d_1^{v_1} \times d_2^{v_2} \times d_3^{v_3} \times \dots \times d_n^{v_n} \Big/ \sum v_i = \left( \prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{1/\sum v_i} \quad (2.28)$$

olarak elde edilir. Daha sonra toplu desirability fonksiyonunu maksimize eden ( $x$ ) değişken seviyesi kombinasyonu bulunur (Koç ve Ertekin 2012).

### 2.8.3 TOPSIS yöntemi

İdeal çözüme yakınlık derecelerine göre alternatiflerin sıralanmasında en yaygın kullanılan metotlarından biri 1981 yılında ilk defa Hwang ve Yoon tarafından kullanılan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution ) metodudur. Bu metodun esası ideal çözüme en yakın olan ve negatif ideal çözümden en uzak olan alternatifin seçimidir (Hwang ve Yoon 1981). Metodun temel konsepti; seçilmiş alternatifin bir nevi geometrik anlamda ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif-ideal çözümden en uzak mesafede olmasıdır. Öklid mesafesi yaklaşımı alternatiflerin ideal çözüme görelî uzaklıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Özkan, 2007).

TOPSIS yöntemi, minimize edilmek istenen kriterleri minimum ve maksimize edilmesi istenen değerlerin maksimum olduğu ideal çözüme yakınlık açısından alternatifleri sıralar ve seçimi kolaylaştırır. Karar süreci içindeki alternatifler belirlendikten sonra standart bir ölçüm birimi elde etmek amacıyla kriter değerlerinin normalize edilmesi ve ardından kriterlerin öncelikleri dikkate alınarak ağırlıklandırılması gerekir. Aşağıda TOPSIS yönteminin uygulama aşamaları altı adımda tanımlanmıştır (Hwang ve Yoon,1981).

#### **Adım 1 : Karar Matrisinin Oluşturulması**

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. Karar matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$



$A_{ij}$  matrisinde m karar noktası sayısını (alternatif sayısı), n ise değerlendirme faktörü (kriter) sayısını verir.

**Adım 2 : Standart Karar Matrisinin Oluşturulması**

Standart Karar Matrisi, karar matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır ve  $R_{ij}$  standart karar matrisi elde edilir:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2.30)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

**Adım 3 : Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması**

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri ( $w_i$ ) belirlenir

$$\left(\sum_{i=1}^n w_i = 1\right).$$

Daha sonra standart karar matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili  $w_i$  değeri ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

#### Adım 4 : İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif İdeal ( $A^-$ ) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için ağırlıklı standart karar matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm setinin bulunması aşağıdaki formülde gösterilmiştir:

$$A^* = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (2.33)$$

(2.33) formülünden hesaplanacak set  $A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*$  şeklinde gösterilebilir.

Negatif ideal çözüm seti ise, ağırlıklı standart karar matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (2.34)$$

(2.34) formülünden hesaplanacak set  $A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-$  şeklinde gösterilebilir.

Her iki formülde de  $J$  fayda (maksimizasyon),  $J'$  ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

Gerek ideal, gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme faktörü sayısı yani  $m$  elemandan oluşmaktadır.

#### Adım 5 : Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için “Euclidian Uzaklık Yaklaşımı”ndan yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım ( $S_i^*$ ) ve Negatif İdeal Ayırım ( $S_i^-$ ) Ölçüsü olarak

adlandırılmaktadır. İdeal ayırım ( $S_i^*$ ) ölçüsünün hesaplanması (2.35) formülünde, negatif ideal ayırım ( $S_i^-$ ) ölçüsünün hesaplanması ise (2.36) formülünde gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (2.35)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (2.36)$$

Burada hesaplanacak  $S_i^*$  ve  $S_i^-$  sayısı doğal olarak karar noktası sayısı kadar olacaktır.

#### **Adım 6 : İdeal Çözüme Göreli Uzaklığının Hesaplanması**

Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli uzaklığının ( $C_i^*$ ) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli uzaklık değerinin hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (2.37)$$

Burada  $C_i^*$  değeri  $0 \leq C_i^* \leq 1$  aralığında değer alır.

## **2.9 Hipotez Testi**

Bir hipotezin ya “doğru” yada “yanlış” olacağı açıktır. Gerçeği öğrenme için akla gelebilecek ilk yol, hipotezle ilgili kitledeki bütün birimlerde değişken değerini öğrenmek yani “tamsayım” yapmaktır. Ne var ki, daha önce de belirtildiği gibi bu yol çoğu zaman imkansızdır. Bunun yerine kitleden rasgele olarak seçilmiş belli bir örneklemden birimler incelenir ve bu örneklemden hareketle hipotezin geçerli olup olmadığı hakkında bir karara varmaya çalışılır (Akdeniz 2009).

Örnekleme istatistiklerinden yararlanarak bir hipotezin geçerli olup olmadığını ortaya koyma işlemine istatistiksel hipotezlerin testi denir. Farklı örneklemeler farklı sonuçlar ortaya koyabildiğinden istatistiksel testin hipotezi tam ispat etmesi veya etmemesi gibi kesin bir durum söz konusu olamaz. Olasılık teorisi eğer hipotez doğrudurysa kitleden seçilecek örneklemelerden elde edilecek sonuçların genellikle hangi değerler arasında yer alacağını belirlediği için, istatistiksel testin hipotezin ne derece güvenle ret edilip edilmeyeceğini göstermesi mümkün olmaktadır (Akdeniz 2009).

Bir bilimsel hipotezin kurulup test edilmesinde dikkat edilecek başlıca 4 eleman vardır.

- a. Sıfır Hipotezi ( $H_0$ )
- b. Test istatistiği
- c. Ret etme bölgesi
- d. Alternatif Hipotez

Bu dört elemanın tanımlanması belli bir testi oluşturur. Bunlardan biri veya fazlasının değiştirilmesi ile yeni testler elde edilebilir.

Hipotez testini kavrayabilmek için temel kavramların iyi bilinmesi gerekir.

**İstatistik Testi** : Örnekleme değerlerini kullanarak, bir hipotezin geçerli olup olmadığını belirlemektir.

**İstatistik Hipotez** : İstatistik hipotezi kitle parametresinin durumu konusunda ileri sürülen bir ifade olarak tanımlanır.

**Sıfır Hipotezi ( $H_0$ )** : Genel olarak bir hipotezin “doğru yada yanlış” olduğu ispatlanamaz. Ancak rasgele değişkenin değerleri yardımıyla elde edilen bilgiler hipotezi desteklendiğinde HİPOTEZ REDDEDİLEMEZ denir.

Test edilecek hipotez genellikle BASİT HİPOTEZ ya da SIFIR HİPOTEZ adını alır. Diğer bir ifadeyle; yeni bir konunun eski bir konuya nazaran üstün olmadığı, gözlemlenen aradaki farkın örneklemden ileri geldiği diğer bir deyişle; rasgele

seçiminden oluştuğunun formülünü veren hipotezdir. Sıfır hipotezi  $H_0$  ile gösterilir (Akdeniz 2009).

Test yapılmasının mantığı daima veriler standart teoriyi çürütüncüye kadar standart teorinin doğruluğuna inanmaktadır.

Bilimsel hipotezlerin test edilmesinde de aynı mantıkla hareket edilmektedir. Yeni ortaya atılan iddia yapılan deney ve toplanan veriler tarafından kanıtlanan kadar doğru değildir.

**Alternatif Hipotez ( $H_A$ ) :** Kitle parametrelerinin genelde aynı kaldığını ve bütün karar problemlerinde standart bir şekilde formüle edildiğini veren sıfır hipotezine karşın, verilecek kararın niteliğine göre farklı karar problemlerinde değişik şekillere göre formüle edilen hipoteze ALTERNATİF HİPOTEZ denir ve  $H_A$  ile gösterilir (Akdeniz 2009).

### 2.9.1 I. tip ve II. tip hatalar

Bilmediğimiz örneklem parametresinin gerçek değeri karşısında ya;  $H_0$  doğrudur yada  $H_a$ . Çünkü bu iki hipotez, aynı anda her ikisi birden doğru olmayacak şekilde teşkil edilmiştir. Örnek değerlerine dayanarak  $H_0$ 'ın kabulü veya reddi söz konusu olacaktır. O halde,  $H_0$ 'ın doğruluk veya yanlışlığı bir kriter,  $H_0$ 'ın kabulü veya reddi de ikinci kriter olarak akla gelebilecek 4 durumu şöyle sıralayabiliriz.

- (i)  $H_0$  hipotezi kitle parametresinin gerçek değeri karşısında doğrudur ve biz örnekleme sonucu  $H_0$ 'ı kabul ederiz. Burada bir hata söz konusu değil.
- (ii)  $H_0$  hipotezi doğrudur, fakat örnek değerleri karşısında reddedilmiştir, yani aslında doğru olan bir hipotez yanlışlık yapılarak reddedilmiştir. Buna I. Tip hata adını veriyoruz.
- (iii)  $H_0$  hipotezi yanlıştır ve reddedilmiştir. Burada bir hata söz konusu olmaz.
- (iv)  $H_0$  hipotezi yanlıştır fakat örnek sonuçlarına göre kabul edilmiştir. Burada yapılan hataya da II. tip hata diyoruz (Akdeniz 2009).

Çizelge 2.8 Hata tipleri ve hipotez testindeki kararların tipleri

İSTATİSTİKSEL KARAR	DOĞAL DURUM	
	SIFIR HİPOTEZİ Doğru	SIFIR HİPOTEZİ Yanlış
Sıfır hipotezinin reddi	I. tip hata ( $\alpha$ )	Doğru Karar ( $1-\beta$ )
Sıfır hipotezinin ret edilmemesi	Doğru Karar( $1-\alpha$ )	II. tip hata( $\beta$ )

Bu çizelgede,

$\beta$  : Yanlış olan sıfır hipotezinin ret edilmeme olasılığını diğer bir deyişle II. tip hatayı,

$\alpha$  : doğru olan sıfır hipotezinin reddedilmesi olasılığını diğer bir anlatımda I. tip hatayı

$1 - \alpha$  : Testin güven seviyesi

$1 - \beta$  : Alternatif hipotezin kuvvetini göstermektedir.

Hata istenmeyen bir şeydir. O nedenle, hem  $\alpha$ 'nın hem  $\beta$ 'nin küçük olması istenir.  $\alpha$  ile  $\beta$  arasında yakın bir ilişki vardır.  $\alpha$  büyürken  $\beta$  küçülür,  $\alpha$  küçülürken  $\beta$  büyür. Örneklem büyüdüğünde hem  $\alpha$  hem  $\beta$  küçülür.

Hipotez testi yapılırken,  $\alpha$  önceden seçilir. Böylece red bölgesi hesaplanır.  $\alpha$  için genellikle 0.01, 0.05 ve 0.10 alınır.

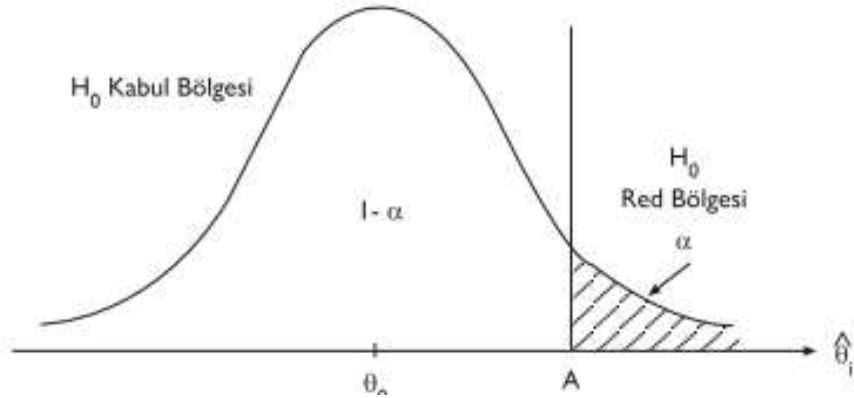
$H_0$  hipotezinin reddedildiği bir deneyin sonuçlarının kümesine kritik bölge denir.  $H_0$  hipotezinin kabul edildiği sonuçların kümesine kabul bölgesi denir. Her zaman doğru karara varmayı isteriz. Bununla beraber, rasgele değişkenler önceden kestirilemeyen sonuçları içerdiğinden bu isteği her zaman karşılamak olanaklı değildir.

$H_0$  hipotezi yanlış olduğunda  $H_0$  hipotezini reddetme olasılığına testin gücü denir ve güç  $1 - \beta$  ya eşittir.

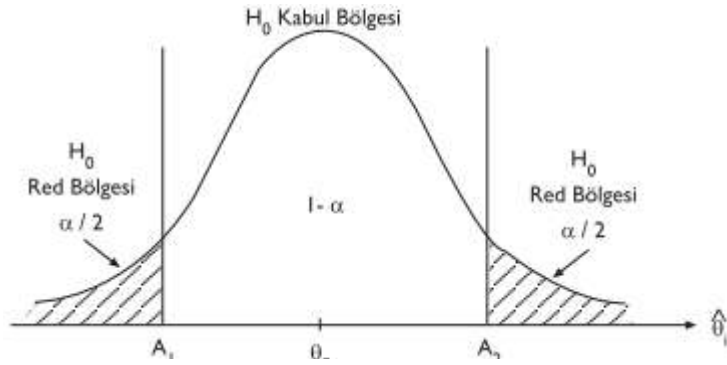
Üzerinde test kurulan örneklem istatistiğine test istatistiği denir. Bir testin kritik bölgesi yalnız bir yönde test istatistiğinin uç değerlerine bağlı ise, teste tek yönlü yada tek yanlı test denir.

Yani  $H_0$  hipotezini ret bölgesi test istatistiğinin örnekleme dağılımının yalnız bir ucunda olacaktır. Testin kritik bölgesi hem küçük hem de büyük değerlerin her ikisini de kapsadığında teste iki yönlü yada iki yanlı test denir.

$H_0$  hipotezini ret bölgesi test istatistiğinin örnekleme dağılımının her iki ucunda olacaktır.



Şekil 2.13 Sağ taraflı testler için red bölgeleri



Şekil 2.14 Çift taraflı testler için red bölgeleri

### 2.9.2 Hipotez testine p-değeri yaklaşımı

Bir hipotez testinin p-değeri, sıfır hipotezinin reddedildiği en küçük düzeyine eşittir. P-değeri bir hipotez testinin gözlenen önem düzeyi olarak açıklanabilir.

P-değerini kullanarak hipotez testi için karar kuralı :

P-değeri özel olarak belirlenen önem düzeyine eşit yada daha küçük ise sıfır hipotezi reddedilir. Aksi halde sıfır hipotezi reddedilemez.

P-değeri yaklaşımı ile hipotez testi yapılmasında izlenen adımlar :

1. Sıfır hipotezini ve karşıt hipotezi belirle
2.  $\alpha$  önem düzeyine kadar ver
3. Test istatistiğinin değerini hesapla
4. P-değerini bul
5. P-değeri değeri  $\alpha$ 'ya eşit yada daha küçük ise  $H_0$ 'ı reddet. Aksi halde  $H_0$ 'ı reddetme
6. Sonucu yazı ile açıkla

### **2.9.3 Bilinmeyen varyansla normal dağılımlı bir kitlenin ortalaması için hipotez testi**

Aralıklı ya da oranlı ölçüm düzeyinde olup normal dağılım gösteren iki değer birbiriyle karşılaştırıldığı zaman çoğunlukla t testinden yararlanır. Üç tür t testi vardır:

1. Tek örneklem t-testi (one-sample t-test)
2. Bağımsız/ilişkisiz örneklem için t-testi (independent-samples t-test)
3. Bağımlı/eşleştirilmiş/ilişkili örneklem için t testi (paired-samples t-test)

t-testi hipotez testlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. T testi ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal mı, yoksa istatistiksel olarak anlamlı mı olduğuna karar verilir. Küçük örneklemle de çalışmaya imkan verdiğinden, araştırmacılar için büyük kolaylık sağlamaktadır.

$\sigma^2$  bilinmiyor ise Z yi test istatistiği olarak kullanmak yerine bilinen ve Student-t yoğunluğuna sahip

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_x}{\sqrt{N}}} \quad (2.38)$$

istatistiği kullanılır. Bu istatistikten bulunan sayısal değer kabul bölgesine düşerse reddedilir (Akdeniz 2009).



$$\begin{array}{lll} \text{a) } H_0 : \mu = \mu_0 & \text{b) } H_0 : \mu = \mu_0 & \text{c) } H_0 : \mu = \mu_0 \\ H_a : \mu \neq \mu_0 & H_a : \mu > \mu_0 & H_a : \mu < \mu_0 \end{array}$$

a)  $H_0 : \mu = \mu_0$  Hipotezini iki yanlı hipotezine karşı test edeceğiz.

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$

A ve B nin değerleri aşağıdaki şekilde hesaplandıktan sonra  $t > A$  ya da  $t < B$  ise B ise  $H_0$  reddedeceğiz. Burada

$$\begin{aligned} \sigma &= P[H_0 \text{ reddedilir} \mid H_0 \text{ doğru}] \\ &= P[t > A \text{ yada } t < B \mid \mu = \mu_0] \end{aligned}$$

dir. T, student-t yoğunluğuna sahip olduğundan, biliyoruz ki

$$P\left[t_{1-\frac{\sigma}{2}} < t \text{ yada } t < -t_{1-\frac{\sigma}{2}}\right] = \sigma \quad (2.39)$$

dir. Böylece, t değeri için kritik bölge

$$t > t_{1-\frac{\sigma}{2}} \text{ yada } t < -t_{1-\frac{\sigma}{2}} \text{ 'dir.} \quad (2.40)$$

**Teorem :** Bilinmeyen  $\sigma^2$  varyanslı ( $S_x^2$  ile tahmin edilen) ve  $\mu$  ortalamalı bir normal kitleden alınan N birimlik bir örnekleme dayanarak,  $\alpha$  anlam düzeyinde

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$

hipotez test edildiğinde,

$$\frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_x}{\sqrt{N}}} > -t_{1-\frac{\alpha}{2}} \text{ Yada } \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_x}{\sqrt{N}}} > t_{1-\frac{\alpha}{2}} \text{ ise } H_0 \text{ reddedilir.}$$

Aşağıdaki hipotezleri düşünelim :

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu > \mu_0$$

tek yanlı test yapıldığından  $t > t_{1-\alpha}$  ise  $H_0$  reddedilir, yani

$$\alpha = P[t > t_{1-\alpha} \mid \mu = \mu_0] \text{ dir.}$$

Çizelge 2.9 Varyansları bilinmeyen normal dağılıma sahip bir kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları

Hipotez	Karşıt Hipotez	İstatistik	Red Bölgesi
$H_0 : \mu = \mu_0$	$H_a : \mu \neq \mu_0$	$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_x}{\sqrt{N}}}$	$t < t_{\frac{1-\alpha}{2}}$ $t > t_{\frac{\alpha}{2}}$
$H_0 : \mu = \mu_0$	$H_a : \mu < \mu_0$		$t < t_{1-\alpha} = -t_{1-\alpha}$
$H_0 : \mu = \mu_0$	$H_a : \mu > \mu_0$		$t > t_{1-\alpha}$
$H_0 : \mu \geq \mu_0$	$H_a : \mu < \mu_0$		$t < t_{1-\alpha} = -t_{1-\alpha}$
$H_0 : \mu \leq \mu_0$	$H_a : \mu > \mu_0$		$t > t_{1-\alpha}$

#### 2.9.4 Normal dağılımlı iki kitlenin ortalamaları farkı için hipotez testi

N ve M birimlik bağımsız iki örnekleme dayanarak;  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  varyanslı iki kitlenin ortalamaları  $\mu_1$  ve  $\mu_2$ 'yi karşılaştıralım. Böyle testleri bir mühendis iki ölçü tekniğinin karşılaştırılmasında kullanır (Akdeniz 2009).

I.  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  bilinmektedir.

Bilindiği gibi

$$Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad (2.41)$$

birim normal dağılımına sahiptir.

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$  hipotezleri test edildiğinde,  
 $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

$$Z \begin{cases} > Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \\ < Z_{\frac{\alpha}{2}} \end{cases} \quad (2.42)$$

ise  $H_0$  reddedilir.

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$  hipotezleri test edildiğinde,  $Z > Z_{1-\alpha}$  ise  $H_0$  reddedilir.  
 $H_a : \mu_1 > \mu_2$

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$  hipotezleri test edildiğinde,  $Z < -Z_{1-\alpha}$  ise  $H_0$  reddedilir.  
 $H_a : \mu_1 < \mu_2$

Çizelge 2.10 Varyansları bilinen normal dağılımlı iki kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları

HİPOTEZ	KARŞIT HİPOTEZ	TEST İSTATİSTİĞİ	RED BÖLGESİ
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$	$Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$	$Z > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$
			$Z < -Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$
$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$	$H_a : \mu_1 > \mu_2$		$Z > Z_{1-\alpha}$
$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$	$H_a : \mu_1 < \mu_2$		$Z < -Z_{1-\alpha}$

II.  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  bilinmiyor fakat eşit kabul ediliyor (küçük örneklem testleri)

$S_1^2$  ve  $S_2^2$ ,  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  için yansız tahmin ediciler ise;

$$S_p^2 = \frac{(N-1)S_1^2 + (M-1)S_2^2}{N+M-2} \text{ olmak üzere}$$

$$t_{N+M-2} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{1}{M}}} \quad (2.43)$$

istatistiği  $N+M-2$  serbestlik dereceli student-t dağılımına sahiptir (Akdeniz 2009).

$$t > t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad t < -t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (2.44)$$

ise  $\alpha$  önem düzeyinde  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  hipotezini  $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$  hipotezine karşı reddederiz (Akdeniz 2009).

Çizelge 2.11 Varyansları bilinmeyen fakat eşit kabul edilen iki kitlenin ortalaması için hipotezler ve karar kuralları

HİPOTEZ	KARŞIT HİPOTEZ	TEST İSTATİSTİĞİ	RED BÖLGESİ
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 < \mu_2$	$T_{N+M} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{1}{M}}}$ $S_p^2 = \frac{(N-1)S_1^2 + (M-1)S_2^2}{N+M-2}$	$t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; \alpha$
$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$	$H_a : \mu_1 < \mu_2$		$t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; \alpha$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 > \mu_2$		$t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; 1-\alpha$
$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$	$H_a : \mu_1 > \mu_2$		$t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; 1-\alpha$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$		$t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; 1-\alpha/2$ $t_{N+M-2} < t_{N+M-2}; 1-\alpha/2$

### III. $\sigma_1^2$ ve $\sigma_2^2$ Bilinmiyor ve eşit kabul edilmiyorlar:

Bir önceki bölümde görüldüğü gibi.

$$T_v = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N} + \frac{S_2^2}{M}}}$$

İstatistiği, her iki kitlenin normal dağılımına sahip olması halinde en yakın tam sayıya eşit alınan;

$$c = \frac{\left(\frac{S_1^2}{N} + \frac{S_2^2}{M}\right)}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{N}\right)}{N-1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{M}\right)}{M-1}}$$

serbestlik derecesi ile yaklaşık olarak t-dağılımına sahiptir.

$$t_v > t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad t_v < -t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \text{ise reddederiz. Burada } t_{1-\frac{\alpha}{2}} \text{ t-tablosundan bakılarak}$$

bulunur.

### 2.9.5 Veri çiftleri için hipotez testi

Şimdiye kadar ortalamalarla ilgili test yaparken bağımsız örneklemeler kullanıldı. Herhangi bir işlemin uygulanmasında önceki ve sonraki ölçüm çiftleri alınır. Böylece

$(x_{1i}, x_{2i})$   $i = 1, 2, \dots, N$  biçiminde örneklemeler oluşturulur. Bu durumda aşağıdaki gösterimlere sahip oluruz (Akdeniz 2009).

$$\mu_D = \mu_1 - \mu_2$$

$N$  = örneklem farklarının sayısı

$D_i = X_{1i} - X_{2i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  = Örneklem çiftleri arasındaki farkları

$$\bar{D} = \text{Farkların örneklem ortalaması} = \frac{\sum D_i}{N}$$

$$S_D = \bar{D} \text{ 'nin standart sapması} = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{N-1}}$$

$$S_{\bar{D}} = \bar{D} \text{ 'nin standart hatası} = \frac{S_D}{\sqrt{N}}$$

$D_i$ 'lerin normal dağıldığını kabul edeceğiz. Bu durumda test istatistiği ( $v = N - 1$  serbestlik dereceli) denklem 2.45'deki gibi olacaktır (Akdeniz 2009).

$$t_{N-1} = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{N}}} \quad (2.45)$$

Çizelge 2.12 Veri çifti için hipotezler ve karar kuralları

HİPOTEZ	KARŞIT HİPOTEZ	TEST İSTATİSTİĞİ	RED BÖLGESİ
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 < \mu_2$	$t_{N-1} = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{N}}}$	$T_{N-1} < t_{N-1; \alpha}$
$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$	$H_a : \mu_1 < \mu_2$		$T_{N-1} < t_{N-1; \alpha}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 > \mu_2$		$T_{N-1} < t_{N-1; 1-\alpha}$
$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$	$H_a : \mu_1 > \mu_2$		$T_{N-1} < t_{N-1; 1-\alpha}$
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$		$T_{N-1} < t_{N-1; \alpha/2}$ $T_{N-1} < t_{N-1; 1-\alpha/2}$

## 2.9.6 Normal dağılımlı iki kitlenin varyanslarının eşitliği için hipotez testi

$X_{11}, X_{12}, X_{13}, \dots, X_{1N}$  ve  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2M}$  ve  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  varyanslı normal dağılıma sahip iki kitleden alınmış N ve M birimli rasgele örneklem olsun. Daha önceden bildiğimiz gibi  $S_1^2$  ve  $S_2^2$ ;  $\sigma_1^2$  ve  $\sigma_2^2$  yansız tahmin edicileri ise

$$\frac{\frac{S_1^2}{\sigma_1^2}}{\frac{S_2^2}{\sigma_2^2}} \text{ oranı } N-1 \text{ ve } M-1 \text{ serbestlik dereceli F dağılımına sahiptir.}$$

$$H_o : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_a : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

hipotezini test etmek amacıyla güven aralıklarındaki düşüşünce ve denklemi kullanınız (Akdeniz 2009).

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > F_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \frac{S_1^2}{S_2^2} > F_{\frac{\alpha}{2}} \text{ ise reddederiz.}$$

$$F_{N-1;M-1} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.46)$$

Çizelge 2.13 Normal dağılımlı iki kitlenin varyanslarının eşitliği için hipotezler ve karar kuralları

HİPOTEZ	KARŞIT HİPOTEZ	TEST İSTATİSTİĞİ	RED BÖLGESİ
$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$H_a : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$	$F_{N-1;M-1} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$	$F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; 1 - \alpha$
$H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$	$H_a : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$		$F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; 1 - \alpha$
$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$H_a : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$		$F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; 1 - \alpha$
$H_0 : \sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$	$H_a : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$		$F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; 1 - \alpha$
$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$H_a : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$		$F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; \alpha / 2$ $F_{N-1;M-1} < F_{N-1;M-1}; 1 - \alpha / 2$

## 2.10 Grafiksel Kullanıcı Arayüzü

Math Works, Inc.'nin internet sitesinde Grafiksel Kullanıcı Arayüzü şöyle tanımlanmıştır; Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA), kullanıcıya interaktif görevleri gerçekleştirmesine yarayan, bileşen olarak adlandırılan kontroller içeren bir veya daha fazla pencere içeren grafiksel gösterimdir. GKA kullanıcısı, diğer kodlama programlarındakinin aksine, işlemleri tamamlamak için komut satırında bir komut veya senaryo oluşturmak zorunda değildir. Ayrıca yine diğer kodlama programlarından farklı olarak işlem detaylarının nasıl gerçekleştiğini arayüz kullanıcısının detaylı bilmesine gerek yoktur. Menüler, araç çubukları, itme düğmeleri, radyo düğmeleri, liste kutuları ve kaydırma imleçleri, GKA bileşenlerinden birkaçı olarak sayılabilir. Verileri tablolar ve grafikler olarak gösterebilen, diğer GKA'leri ile etkileşimli, veri dosyalarını okuyan ve yazan herhangi bir işlem için MATLAB® aracı kullanarak bir GKA kolayca oluşturulabilir ([http://www.mathworks.com/help/matlab/creating\\_guis/what-is-a-gui.html](http://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/what-is-a-gui.html), 2014).

Bilgisayar destekli analiz ve benzetim arayüzleri kullanmanın belli başlı avantajları sıralanırsa; denenmesi riskli ve tehlikeli olan olayların deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulmadan incelenmesi sağlanır, işlemlerin otomatik olarak bilgisayar ortamında gerçekleştiriliyor olması zaman ve maliyetten tasarruf edilmesini ve en az hata ile daha verimli bir çalışma yapılmasını sağlar, kullanıcı sayısında sınırlama olmaksızın işlemlerin defalarca tekrarlanmasına olanak sağlar, elde edilen sayısal veriler kolaylıkla grafiğe dönüştürülebilir, yapılan işlemler hakkında görsel bir değerlendirme ve karşılaştırma yapılabilir (Kaçar ve Çankaya 2012).

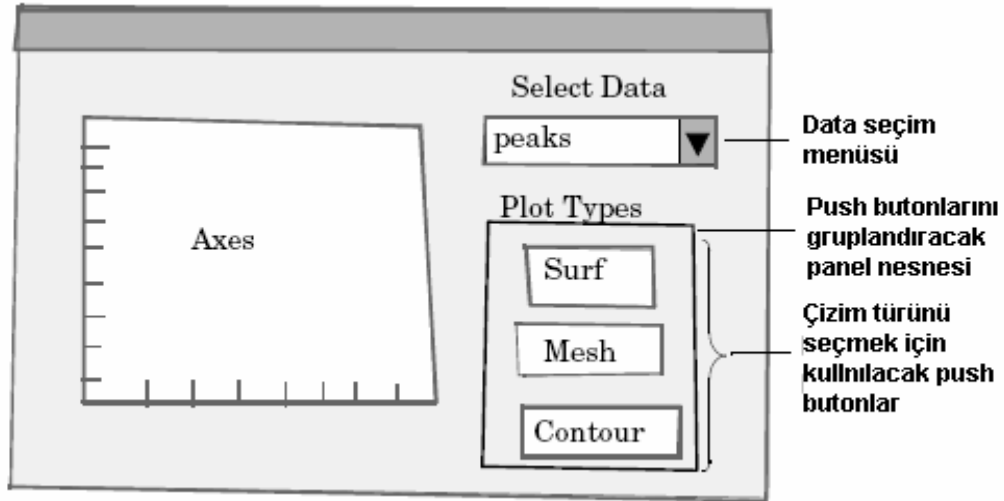
MATLAB GUI tasarımları; MATLAB GUIDE aracı ve M-File programlama yöntemi olmak üzere iki ayrı yöntem kullanılarak yapılabilir.

Özellikle GUI tasarımında hızlı arayüzler tasarlamak ve bu işe ilk başlayan programcılar için MATLAB GUIDE aracının kullanılması büyük bir kolaylık sağlar. Bu aracın kullanılması ile GUI arabirimi kolaylıkla ve yorulmadan sürükleyip bırak ve açılan pencerelerde özelliklerin değiştirilmesine dayanan bir yöntem kullanılır. Ayrıca, bu

yöntemi kullanmanın ileride var olan bir GUI nin düzenlenmesi ve değişiklik yapılması bakımından da çok yararlıdır.

M-File programlama yönteminde tüm GUI tasarımları ve callback program parçalarının yazılması tamamı ile programlama kodları kullanılarak yapılır. Burada tasarımcı her şeye hakimdir ve bu teknik uzman bir programlama bilgisi gerektirir. Bu yöntem ile tasarım zamanı uzamasına rağmen programcı her türlü değişikliği yapabildiği için programcı açısından çok yararlıdır.

M-File programlama yönteminde; GUIDE gibi bir tasarım aracı kullanılmaz. Sadece kod satırları yazılarak hem GUI arayüzü hem de bu arayüzün koşturduğu komut satırları aynı dosya içerisinde yazılır. Bu dosyalar .m uzantısına sahiptirler. Bir GUI arayüzünü bu yöntemle oluşturabilmek için öncelikle tasarım öncesi arayüzün bir planı taslak halinde bir kâğıt üzerine çizilmelidir. Çünkü burada tüm işlemlerin yapılması muazzam bir çalışma ve ölçümlendirme ile belirlenen nesnelerin uygun yerlere kullanışlı bir GUI arayüzü çıkarmak üzere bir araya gelmesi tamamı ile GUI tasarım ve programcısının yazdığı kodlar ile gerçekleştirilecektir (Savaş 2007).



Şekil 2.14 Grafiksel kullanıcı arayüzü tasarımı taslak görüntüsü (Savaş 2007)

Bu şekilde nesnelerin yerleri tespit edildikten sonra bir GUI uygulaması oluşturulmak üzere programlama yöntemi ile tasarıma geçilebilir.



MATLAB komut satırından “edit” komutunu verilirse karşımıza boş bir m file dosya gelecektir. Genel olarak programlama yolu ile tasarlanılacak GUI uygulaması komut satırları aşağıda belirtilen yapıda olmalıdır. Burada GUI uygulamasının adı MYGUI olarak belirlenmiştir (Savaş 2007).

```
function varargout = mygui(varargin) MYGUI uygulaması için mygui.m dosyasi ilk satırı
% MYGUI Kısa bir GUI uygulaması ile ilgili açıklayıcı bilgi
% Bir adet boş açıklama satırına kadar bu satır ve sonra gelen
% satırlar MATLAB komut satırında GUI uygulamasını
% açıklayıcı ve help komutu ile kullanıcıya sunulan
% yardım satırlarını içerir.
% Burada help satırlarını kod satırlarından ayırmak için bir adet boş açıklama satırı konulur.
% GUI uygulamasının giriş parametre alınması ve ilk önhazırlık işlemleri bloğu
% GUI nesnelerinin oluşturulması ile ilgili satırlar bloğu
% Callback ler öncesi önhazırlık işlemleri bloğu
% MYGUI için gerekli callback fonksiyonları
% MYGUI için kullanılacak fonksiyonlar bloğu
end Bu komut fonksiyon bloğunun sonunu belirtmek için konulmuştur.
```

Yukarıdaki yapıyı oluşturacak şekilde komutlar MYGUI isimli GUI uygulaması için mygui.m isimli dosyaya kaydedilir. Bu GUI uygulamasını çalıştırmak için de MATLAB komut satırından sadece “mygui” komutunun verilmesi yeterlidir. Bu şekilde uygulama penceresi karşımıza gelecektir (Savaş 2007).

Kullanıcı ile bilgisayar arasındaki etkileşimi sağlaması bakımından çeşitli araştırmacılar tarafından değişik uygulamalar için kullanılmıştır.

Daszykowski, Serneels, Kaczmarek, Espen, Croux, and Walczak, (2007) m-dosyalarını bir araya toplayarak duyarsız kalibrasyon için bir GKA tasarlamışlardır. Olivieri vd.(2009) ikinci dereceden çok değişkenli kalibrasyon için MATLAB® tabanlı kullanımı kolay bir arayüz geliştirmişlerdir. Gupta vd. (2010) elektrokardiogram

sinyallerinin on-line depolanması ve işlenmesi için MATLAB® tabanlı bir arayüz oluşturmuşlardır. Jaumot vd. (2010) çok değişkenli eğrilerin karar noktalarının analizi için yine MATLAB® tabanlı bir arayüz kullanılmıştır. Ballabio vd. (2012) MATLAB® tabanlı GKA'yı sinir ağları stratejilerini organize etmek için kullanmıştır. Olivieri vd. (2012) üçüncü dereceden çok değişkenli kalibrasyonu için MATLAB® tabanlı GKA'yı tasarlamışlardır. Paiva vd. (2012) başarılı projeksiyon algoritmalarında değişken seçimi için, Buedo vd. (2013) ise Doppler ultrasound cihazında bazı sonuçları eş zamanlı almak MATLAB® tabanlı GKA'yı tasarlamışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Malzemeler

##### 3.1.1 Çimento

Bu çalışmada TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu normal Portland çimentosu PÇ 42.5 olarak bilinen, özgül ağırlığı  $3.08 \text{ g / cm}^3$  ve özgül yüzeyi  $3540 \text{ cm}^2/\text{g}$  olan CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Bolu Çimento San. T.A.Ş. tarafından üretilen CEM I 42,5 R çimentosuna ait kimyasal özelliklerini içeren analiz raporu çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimento kimyasal bileşimi

<b>Kimyasal analiz</b>	<b>(%)CEM I 42.5 R</b>
CaO	66,25
SiO <sub>2</sub>	21,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,51
SO <sub>3</sub>	1,54
MgO	1,15
K <sub>2</sub> O	0,61
Na <sub>2</sub> O	0,15
Cl	0,0071
Kızdırma kaybı	3,71

##### 3.1.2 Uçucu kül

Çalışmada TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu, Zonguldak’ın Çatalağzı (Işıkveren) ilçesinde kurulan termik santralinde, Lavuar artığı taş kömürü karışımının yakılmasıyla açığa çıkan, F sınıfı uçucu külü kullanılmıştır, özgül ağırlığı  $2.46 \text{ g / cm}^3$  ve özgül yüzeyi  $3540 \text{ cm}^2/\text{g}$  olan uçucu kül kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 Uçucu kül kimyasal bileşimi

Kimyasal analiz	Uçucu kül (%)
CaO	4,76
SiO <sub>2</sub>	56,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,51
SO <sub>3</sub>	0,73
MgO	2,11
K <sub>2</sub> O	2,53
Na <sub>2</sub> O	0,27
Cl	0,0018
Kızdırma kaybı	2,24

### 3.1.3 Su

Beton karılmasında kullanılacak su kalitesi ile ilgili olarak çok uzun yıllardan bu yana elde edilen tecrübelerle dayanarak kural olarak benimsenmiş olan ve aynı zamanda betonla ilgili birçok kitapta ve hatta suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları standardı olan TS EN 1008'de (2003) belirtilmiş olan, su içilebiliyor ise, beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya da uygundur hüküm vardır. Şehir sularının hepsi, kalite olarak, elbette birbirinin tamamen benzeri olamaz. Ancak, içerdikleri yabancı maddelerin miktarı beton özelliklerine zarar verebilecek kadar yüksek değildir (Erdoğan 2004). Bundan dolayı beton yapımında karma suyu, kür suyu ve yıkama suyu olmak üzere üç amaçla kullanıldığımız su, şehir şebekesinden akan içme suyundan temin edilmiştir.

### 3.1.4 Agregata

4 mm'den küçük olan kırma kum ince agregata olarak alınmıştır. Karışımlarda iri agregata olarak; 4 ila 11 mm arası agregata I nolu, 11mm ila 22 mm arası agregata II nolu agregata olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.1).

İnce ve iri agregaların sırası ile özgül ağırlığı 2.65 g/cm<sup>3</sup> ve 2.70 g/cm<sup>3</sup>, su emme yüzdeleri ise 1.5% and 0.9%'dir. Deneylerde kullanılan agregata için elek analizi çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Agregalar

Çizelge 3.3 Agrega elek analizi

Elekler (mm)	% elekten geçen		
	I	II	III
31.5	100	100	100
22.4	100	100	97,7
16	100	100	41,8
12.5	100	95,7	2,8
8	100	30,8	1,4
4	99,7	2,6	1,4
2	66,4	1,7	1,4
1	40,9	1,5	1,3
0.5	26,3	1,1	0,9
0.25	18,3	1,1	0,9
0.125	11,1	1,1	0,9
0.063	10,8	1,1	0,9
incelik	3,4	6,6	7,5

### 3.1.5 Süper akışkanlaştırıcı

Kimyasal katkı olarak polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 20 °C'deki süperplastikleştiricilerin özellikleri

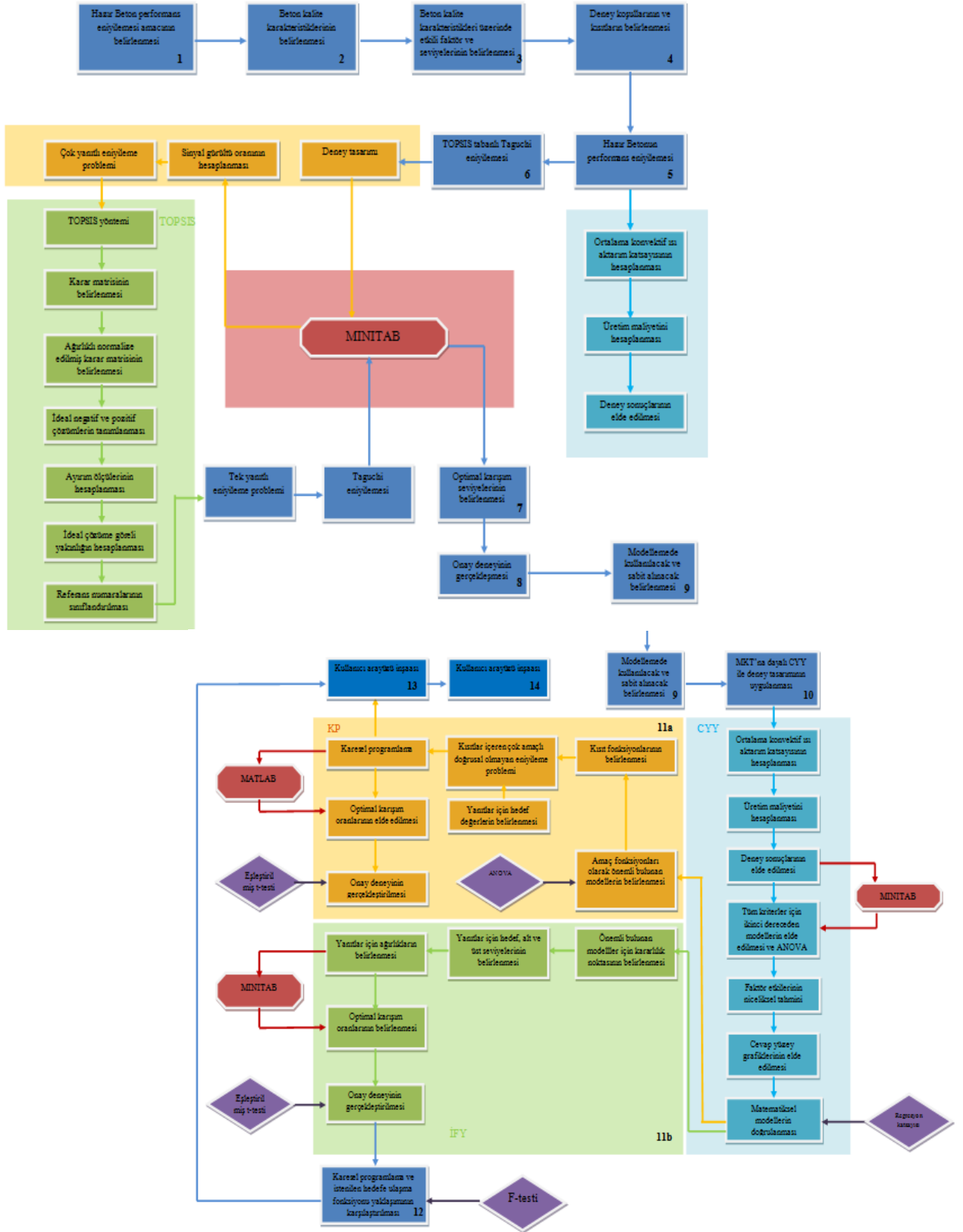
Özellikler	Süperplastikleştirici		
	Polikarboksilik eter esaslı polimer	Polikarboksilik eter esaslı polimer	Polikarboksilik eter esaslı polimer
Kimyasal tanımı	Polikarboksilik eter esaslı polimer	Polikarboksilik eter esaslı polimer	Polikarboksilik eter esaslı polimer
Renk	Açık Kahverengi	Kahverengi	Kahverengi
Özgül ağırlık (kg/L)	1,045-1,085	1,061-1,101	1,059-1,099
Klorür içeriği (%)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Alkalin içeriği (%)	< 3	< 3	< 3
Hal	Sıvı	Sıvı	Sıvı
Simge	PCE I	PCE II	PCE III

### 3.2 Metot

#### 3.2.1 Çok yanıtli eniyileme ve modelleme

Bu çalışmada, hazır betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve modellenmesi için 12 adımdan oluşan bir yöntem izlenmiştir. Çalışmada, hazır betonun TOPSIS tabanlı Taguchi yaklaşımı ile Cevap Yüzey Metodu bütünleşik kullanılarak, optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak basınç dayanımı, çekmede yarma dayanımı, beton hava içeriği, su emme yüzdesi, ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı, üretim maliyeti, çökme değeri vb. gibi beton kalite karakteristiklerini etkileyen su/çimento oranı, uçucu kül miktarı, süperakışkanlaştırıcı içeriği vb. gibi faktörlerin, optimal karıştırma oranları Taguchi&TOPSIS yöntemi ile MINITAB® programında belirlenecektir. Bu kısım bir nevi cevap yüzeyi yöntemi ile modelleme ve eniyilemenin ilk aşaması olan eleme denemeleri ve bölge araştırması bölümünü kapsamaktadır. Böylece, cevap yüzey yönteminin en büyük dezavantajı olan, yanıtların ikinci dereceden çok terimli bir modele daha uyumlu olması umulmaktadır. Daha sonra yanıtlar üzerinde etkili faktörler ile cevap yüzey yöntemi uygulanarak tüm yanıtların modellenmesi sağlanacaktır. Bu aşamada faktörlerin yanıtlar üzerindeki etkisi ikinci dereceden varyans analizleri ile MINITAB® programında belirlenmiştir.

Son olarak kullanışlı olan modeller ile desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak ikinci eniyileme çalışması gerçekleştirilecektir. İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı için MINITAB® programı, doğrusal olmayan programlama için ise MATLAB programı uygulanacaktır. Hazır Betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için uygulanacak olan akış şeması şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Hazır Betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için bir çok yanıtli modelleme ve eniyileme uygulaması akış şeması



### **3.2.1.1 Hazır beton performans eniyilemesi amaçları**

Düşük girdiler ile istenilen karakteristiklere sahip kaliteli beton üretimi eniyileme yöntemi ile elde edilir. Çalışmanın ilk amacı, beton kalitesini belirleyen yanıtı MINITAB® ile optimize etmek ve optimal karışım oranlarını belirlemektir. Modellemede kullanılacak ve sabit alınacak faktörleri belirledikten sonra, ceyap yüzey yöntemi ile tüm yanıtı modellemek ikinci amacı teşkil etmektedir. En son olarak kullanışlı olan modeller ile ikinci eniyileme yapmak ve ikinci eniyilenmesinde kullanılan desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımlarını karşılaştırmak çalışmanın amaçları arasındadır.

Çalışmanın bir diğer amacı ise, betonun iki kalite karakteristiği olan ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı ve üretim maliyetinde çalışma kapsamında değerlendirmektir.

### **3.2.1.2 Hazır beton kalite karakteristikleri**

Yapı tasarımcıları, yapı bileşenlerinin birleştirilmesi ve seçilmesi aşamasını dikkate alarak tasarımı gerçekleştirirlerse enerji tasarrufuna katkıda bulunabilirler (Santin 2011). İlk kalite kriteri, beton yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki ısı aktarımını temsil eden ve en önemli termal özelliklerden biri olan konvektif ısı aktarım katsayısıdır. Düşük konvektif ısı aktarım katsayısı sahip beton tipi ısı kaybının ve ısı zararın daha az olduğu beton tipidir (Şimşek ve Şimşek 2012a,b). İkinci kriter; İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve yüzey düzeltilmesinin kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışım ayrışma olmaz ve beton kalıplara en az boşluk kalacak biçimde yerleşir (Gülşahin ve Akkaya 2006). Üçüncü kriter hava içeriğidir ki betonun dayanıklılığı (durabilitesi) ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir ve küçülenmesi istenir (Özbay vd.2009). Dördüncü kriter birim ağırlıktır. Birim ağırlık, agrega tane dağılımı, sıkıştırma işleminin yapılıp yapılmadığı ve sürüklenen hava miktarı belirler. Bu nedenle teorik birim ağırlık ile pratik birim ağırlık birbirine eşit olmalıdır.

Beşinci kriter betonun erken dayanımını gösteren 2 günlük basınç dayanımıdır ve büyük olması istenir. Altıncı kriter betonun dayanımını gösteren 7 günlük basınç dayanımıdır ve yine büyük olması istenir. Yedinci kalite kriteri 28 günlük basınç dayanımıdır ve betonun dayanıklılığını gösterir. Sekizinci kalite kriteri 28 günlük çekmede yarma dayanımıdır ve betonun eksenel yönde gerilime dayanımını gösterir. Dokuzuncu kalite kriteri 28 günlük su emme yüzdesidir ve minimum olması istenir. Çünkü beton su emmesinin yüksek olması malzemede büzülme ve şişme gibi hacimsel deformasyonlara yol açmaktadır. Son kalite karakteristiği üretim maliyetidir. Beton üretiminde en yüksek harcama payına sahip hammaddelerin optimum kullanımı, yüksek kaliteli ürünün düşük üretim maliyeti ile gerçekleşmesi için oldukça önemlidir.

Hazır beton için belirlenen kalite karakteristikleri için üç laboranttan bir ağırlık değeri vermesi istenmiştir. Bu üç değerın ortalaması o karakteristiğın ağırlığı olarak belirlenmiştir. Hazır beton için belirlenen kalite karakteristikleri ve atanan ağırlık değerleri çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Kalite karakteristikleri ve atanan ağırlıkları

Kalite karakteristiği	Sembol	Tanımı	Beton deney tipi	Hedef değer (S/N)	Ağırlıklar*	Normalize edilen ağırlıklar
1	R1	Konvektif ısı aktarım katsayısı ( $W/m^2K$ )	Taze beton deneyi	En küçük en iyi	3	0,053
2	R2	Hava içeriği (%)	Taze beton deneyi	En küçük en iyi	4	0,070
3	R3	Çökme-yayılma değeri (mm)	Taze beton deneyi	En büyük en iyi	8	0,140
4	R4	Teorik ile pratik birim ağırlık farkı ( $kg/m^3$ )	Taze beton deneyi	En küçük en iyi	5	0,088
5	R5	Su emme (%)	Sertleşmiş beton deneyi	En küçük en iyi	4	0,070
6	R6	Basınç dayanımı ( $N/mm^2$ ) 2 günlük	Sertleşmiş beton deneyi	En büyük en iyi	9	0,158
7	R7	Basınç dayanımı ( $N/mm^2$ ) 7 günlük	Sertleşmiş beton deneyi	En büyük en iyi	6	0,105
8	R8	Basınç dayanımı ( $N/mm^2$ ) 28 günlük	Sertleşmiş beton deneyi	En büyük en iyi	9	0,158
9	R9	Yarmada çekme dayanımı ( $N/mm^2$ ) 28 günlük	Sertleşmiş beton deneyi	En büyük en iyi	3	0,053
10	R10	Üretim maliyeti ( $\$/mm^2$ )	Taze beton deneyi	En küçük en iyi	6	0,105
Toplam					57	1.000

\* Üç laborantın belirlediği ağırlıkların ortalaması yanıtın ağırlığı olarak belirlenmiştir

### 3.2.1.3 Faktör ve seviyelerinin belirlenmesi

Beton kalite karakteristikleri üzerinde etkili biri iki seviye diğerleri üç seviye sekiz faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerden ilk ikisi sırası ile çimento miktarı ( $X_1$ ), su/bağlayıcı oranıdır ( $X_2$ ). Üçüncü faktör süperakışkanlaştırıcı içeriğidir ( $X_3$ ) ve 100 kg bağlayıcıya (çimento + uçucu kül miktarı) katılan süperplastikleştirici yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Dördüncü faktör kırma kum agrega oranıdır ( $X_4$ ) ve kırma kum miktarının toplam agrega miktarına oranı olarak tanımlanmıştır. Beşinci faktör I nolu agrega oranıdır ( $X_5$ ) ve I nolu kaba agreganın toplam agrega miktarına oranı olarak

tanımlanmıştır. Altıncı faktör uçucu kül miktarıdır ( $X_6$ ). Yedinci faktör taze beton karıştırma süresidir ( $X_7$ ). Son faktör süperakışkanlaştırıcı tipidir ( $X_8$ ) ve üç ayrı firmadan alınmış polikarboksilat eter esaslı su azaltıcılarıdır. Bir metreküp beton üretimi için gerekli faktörler ile seviyeleri çizelge 3.6’da verilmiştir. Kurumda kullanılan seviyeler altı çizili olarak çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Kalite karakteristiklerini etkileyen faktör ve seviyeleri

Faktörler	Tanım	Seviyeler		
		İlk seviye	İkinci seviye	Üçüncü seviye
$X_1$	Çimento miktarı (kg)	300	<u>350*</u>	
$X_2$	Su bağlayıcı oranı (%)	0,45	<u>0,50*</u>	0,55
$X_3$	Süperakışkanlaştırıcı içeriği(%)	1,00	1,25	<u>1,50*</u>
$X_4$	Kırma kum agrega oranı (%)	<u>0,45*</u>	0,50	0,55
$X_5$	I nolu agrega oranı (%)	0,25	<u>0,30*</u>	0,35
$X_6$	Uçucu kül miktarı (kg)	60	80	<u>100</u>
$X_7$	Karıştırma zamanı (sn)	100	<u>110</u>	120
$X_8$	Süperakışkanlaştırıcı tipi	<u>PCE I</u>	PCE II	PCE III

\* Kurumda kullanılan seviyeler altı çizili seviyelerdir

Beton üretim süreci üzerinde etkili olan laboratuvar kür odası sıcaklığı (18 °C ile 22 °C arasında değişmektedir), laboratuvarın nem koşulları gibi kontrol edilmesi güç, pahalı ya da kontrol edilmesi düşünülmeyen faktörler gürültü faktörleri olarak adlandırılmış ve eniyileme aşamasında ele alınmamışlardır.

### 3.2.1.4 Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması

Belirlenen probleme uygun ortogonal dizinler, kontrol edilebilen faktörlerin serbestlik derecelerinin toplamına göre seçilmiştir. Her faktörün serbestlik derecesi, faktör seviye sayısının bir eksiğidir. Bu durumda " $V_T \leq a - 1$ " eşitliğinden deneme sayısı 15 veya 15 den büyük en küçük değere sahip olan ortogonal dizin seçilecektir. Bir kolonu iki seviyeli, diğerleri üç seviyeli olan ve deneme sayısı 15’ den büyük, en küçük ortogonal

dizin  $L_{18}$ 'dir.  $L_{18}$  ortogonal dizinin ilk sütununa ( $X_1$ ), diğer sütunlarına sırası ile  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$  ve  $X_8$  atanır.

### 3.2.1.5 Deney koşulları ve kısıtlar

Deneyleerde ilk önce karıştırıcıya agrega, çimento ve uçucu kül katılmıştır. Suyun 2/3'ü ile bu karışım karıştırılmış ve ön karışım elde edilmiştir. Daha sonra bu ön karışıma suyun geri kalanı ile süperakışkanlaştırıcı eklenmiştir. Her bir karışım için taze beton deneyleri gerçekleştirilmiş ve sertleşmiş beton deneyleri için her deneyde üç numune hazırlanmıştır. Beton numune kalıpları TS EN 12390-1 standardına göre 150mmX150mmX150mm boyutlarında alınmıştır (Anonim 2002c). Deneyleerden elde edilen bazı numuneler ve kullanılan karıştırıcı sırası ile Şekil 3.3 - 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Deneyleerde elde edilen bazı numuneler



Şekil 3.4 Döner karıştırıcı

### 3.2.2 Deneysel çalışmalar

#### 3.2.2.1 Sıcaklık ölçümü

Beton yüzey sıcaklığı ölçümü için  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  hassasiyetli termometre (Şekil 3.5) kullanılmış ve üç numunenin her birinde yüzeyin 5 cm derinlikteki 20 noktasında ölçüm alınmıştır. Betonun uniform yüzey sıcaklığı bu 60 ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.5 Daldırma-batırmalı termometre

### **3.2.2.2 Çökme-yayıma deneyi**

Taze betonun işlenebilirliği TS EN 12350-2 (2010) göre çökme hunisi metodu (slump) metoduyla saptanmıştır (Anonim 2010c). Çökme metodunda taze beton, ölçüleri belli olan kesik huninin (Abram's konisinden) içerisine standart bir şekilde sıkıştırılarak doldurulur. Çökme hunisinin yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütleindeki kendi ağırlığı nedeniyle çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak (mm) cinsinden, betonun işlenebilirliğini verir. Çökme deneyi 10 mm ile 300 mm arasında olan betonların kıvamındaki değişimlere duyarlıdır.

### **3.2.2.3 Birim ağırlık tayini**

Bu numuneler standart ve yüzeyi düzgün metal kalıplar içinde üretilmiştir. Birim ağırlık tespiti için, kalıplar dökümden önce ve beton iki aşamada sıkıştırılarak doldurulduktan sonra tartılmıştır. Kalıpların tam dolu olmasına ve üstten taşmamasına dikkat edilmiştir. Numune ağırlığı kap hacmine bölünerek taze ve sertleşmiş beton birim ağırlıklarına ulaşılmıştır.

### **3.2.2.4 Hava içeriği**

Üretilen betonlar kalıba yerleşmeden önce hava miktarı TS EN 12350-7 standardına uygun olarak basınç ölçme metoduyla bulunmuştur (Anonim 2010b). Şekil 3.6'da hava içeriğinin tespiti için kullanılan cihaz verilmektedir.



Şekil 3.6 Hava içeriğinin tespiti

### 3.2.2.5 Basınç dayanımı

Her bir karışımın basınç dayanımının tayini için 150×150×150 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması TS EN 12390-2 (2010) standardına göre yapılmıştır. Numunelerin, 20 ±2 °C sıcaklığa sahip laboratuvar kür havuzunda küre tabi tutulması ve deney gününden bir gün önce kür havuzundan çıkartılarak yüzey nemini bırakmaları sağlanmıştır (Şekil 3.7). Tüm serilerden basınç dayanımı için 3'er adet küp numune kullanılmış olup, deney sonucu olarak bu üç numunenin basınç dayanımı deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Numunelerin 2 günlük erken dayanımları ile beraber, numunelerin zamanla göstereceği dayanım artışları için 7, 28 günlük dayanımları ölçülmüştür. Numuneler, TS EN 12390-4'e (2002) basınç dayanımı-deney makinalarının özellikleri standardına uygun 300 ton basınç kapasiteli preste, TS EN 12390-3 (2003) deney numunelerinde basınç dayanımının tayini standardına uygun olarak deneye tabi tutulmuşlardır (Anonim 2002d, Anonim 2003b). Basınç dayanımları, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$f_c = F/A_c \quad (3.1)$$

Burada;

$f_c$ : Basınç dayanımı, MPa



F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

Ac: Numunenin, zerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm<sup>2</sup>

Yarmada ekme dayanımı deneyleri TS EN 12390-6 (2010) standardına uygun olarak 150×150×150 mm'lik kp beton (Brezilya yöntemi) numuneler üzerinde yürütülmüştür (Anonim 2010d). Deneyler zel yarma aparatıyla 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

zerine yük uygulanan yarma aparatları ile beton numunelerde eksenel ve çizgisel olarak çekme gerilmeleri oluşturulmakta ve elde edilen yarıлма yükü kullanılarak Denklem 3.2 yardımıyla betonun dolaylı çekme dayanımı elde edilebilmektedir. Eşitlikte,  $f_{ct}$  yarmada çekme dayanımını (MPa); F, yarıлма yükünü (N); L, uygulanan yükün çizgisel uzunluğunu (mm) ifade etmektedir (Erdoğan 2003).

$$f_{ct} = 2 \times F / (\pi \times L^2) \quad (3.2)$$



şekil 3.7 Kr havuzu

Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan cihaz şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Basınç dayanımı test cihazı

### 3.2.2.6 Su emme deneyi

Sertleşmiş betonda boşluk ve su emme oranlarının tayini TS 3624’e (1981) uygun olarak her bir grup için 28 günlük suda kür tabii tutulmuş 150×150×150 mm’lik küp numuneler üzerinde yürütülmüştür (Anonim 1981). Küp numunelerin sırasıyla etüv kurusu ağırlıkları, su içinde tutulduktan sonra suya doymuş ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları tayin edilmiştir (Şekil 3.9). Hesaplanan ağırlıklar, aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Boşluk Oranı (\%)} = [(AKYD-AFK)/(AKYD-ASU)] \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Su emme Oranı (\%)} = [(AKYD-AFK)/(AFK)] \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

AFK: Fırın kurusu ağırlığı, gr

AKYD: Kuru yüzey doymuş ağırlığı, gr

ASU: Su içindeki ağırlığı, gr



Şekil 3.9 Etiv

## 4. BULGULAR

### 4.1 Çok Yanıtlı TOPSIS Tabanlı Taguchi Eniyilemesi

Taguchi yöntemi bize beton özellikleri üzerinde etkili parametreleri bulma ve optimal karışım oranlarını belirleme imkanı sağlamaktadır (Özbay vd. 2009). Deneyleri gerçekleştirmek için  $L_{18} (2^1 \times 3^7)$  ortogonal dizini seçilmiştir.

#### 4.1.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı

Ortalama konveksiyon ısı aktarım katsayısı; bir izotermal yüzeyden laminer ısı aktarımı prensibi ile eşitlik (4.1) ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki L örnek uzunluğudur ve değeri 150mm'dir. Nu, taşınım ısı aktarım katsayısının iletimle olan ısı aktarımına oranını temsil eden Nusselt sayısıdır ve eşitlik (4.2) ile hesaplanır. Reynolds sayısı fiziksel olarak zorlanmış konveksiyon akış sistemlerinde atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine oranı olan boyutsuz bir grup olarak tanımlanır. Nusselt sayısının hesaplanmasında kullanılan Re, Reynolds sayısı eşitlik (4.3) yardımı ile hesaplanmıştır (Holman 2010).

$$\bar{h}_c = \frac{\bar{Nu}_L * k}{L} \quad (4.1)$$

$$\bar{Nu}_L = 0.664 * \bar{Re}_L^{1/2} * \bar{Pr}^{1/3} \quad (4.2)$$

$$\bar{Re}_L = \frac{u_\infty L}{\nu} \quad (4.3)$$

Tüm deneyler için beton yüzey sıcaklığı  $T_w$  (K), ile ortam sıcaklığı  $T_\infty$  (K) belirlenmiş ve atmosferik basınçta bu iki sıcaklığın ortalaması film sıcaklığında  $T_f$  (K), hava özellikleri; k termal iletkenlik, Pr Prandtl sayısı,  $\nu$  kinematik viskozite belirlenmiştir (Holman 2010). Isı aktarım hesaplarında rüzgar hızı  $u_\infty$ , 2 m/sn olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 4.1'e aktarılmıştır.

Çizelge 4.1 Taguchi deneylerinde elde edilen ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı

Deney no	$T_w, K$	$T_\infty, K$	$\nu \cdot 10^6, m^2/sn$	$k \cdot 10^3, W/mK$	Pr	Re	Nu	$\bar{h}_c (W/m^2K)$
1	289,55	285,55	14,1909	0,0253488	0,710860	21140,2	86,1624	14,5607
2	290,65	285,55	14,2289	0,0253955	0,710689	21083,9	86,0405	14,5669
3	291,35	285,55	14,2530	0,0254252	0,710581	21048,1	85,9632	14,5709
4	288,85	285,55	14,1668	0,0253190	0,710968	21176,3	86,2402	14,5568
5	289,45	285,55	14,1875	0,0253445	0,710875	21145,4	86,1735	14,5602
6	290,25	285,55	14,2151	0,0253785	0,710751	21104,3	86,0848	14,5647
7	286,35	285,55	14,0805	0,0252127	0,711356	21306,0	86,5196	14,5426
8	287,05	285,55	14,1047	0,0252425	0,711247	21269,5	86,4411	14,5466
9	287,35	285,55	14,1150	0,0252552	0,711201	21253,9	86,4075	14,5483
10	290,75	285,35	14,2254	0,0253913	0,710705	21089,0	86,0516	14,5664
11	291,25	285,35	14,2427	0,0254125	0,710627	21063,4	85,9963	14,5692
12	291,75	285,35	14,2599	0,0254337	0,710550	21037,9	85,9411	14,5720
13	288,85	285,35	14,1599	0,0253105	0,710999	21186,6	86,2624	14,5556
14	289,25	285,35	14,1737	0,0253275	0,710937	21166,0	86,2179	14,5579
15	289,55	285,35	14,1840	0,0253402	0,710891	21150,5	86,1846	14,5596
16	286,65	285,35	14,0840	0,0252170	0,711340	21300,8	86,5084	14,5432
17	287,85	285,35	14,1254	0,0252680	0,711154	21238,3	86,3740	14,5500
18	288,55	285,35	14,1495	0,0252977	0,711046	21202,1	86,2958	14,5539

#### 4.1.2 Üretim maliyeti tahmini

Bu çalışmadaki ana değişkenler, uçucu kül, çimento, su, süperakışkanlaştırıcı, kaba ve ince agregadır. Uçucu kül, çimento, süperakışkanlaştırıcı, su, ince ve kaba agreganın ortalama maliyeti sırası ile 28.3 \$/ton, 68 \$/ton, 1.5 \$/kg, 3.125 \$/ton, 4.3 \$/ton, 3.7 \$/ton olarak belirlenmiştir. Tüm Taguchi deneylerinden hesaplanan üretim maliyeti çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Taguchi deneyleri için üretim maliyeti (\$/ m<sup>3</sup>)

Deney No.	Uçucu kül	Çimento	SP miktarı	Su	Agrega ince	Agrega kaba	Üretim maliyeti
1	1,698	20,4	4,860	0,448125	3,8270	4,0515	35,28463
2	2,264	20,4	6,225	0,4571875	4,1796	3,6260	37,15179
3	2,830	20,4	7,650	0,46625	4,5236	3,2079	39,07775
4	2,264	20,4	4,980	0,5109375	3,6765	3,8924	35,72384
5	2,830	20,4	6,375	0,5215625	4,0119	3,478	37,61646
6	1,698	20,4	7,290	0,495	4,5709	3,2412	37,69510
7	2,830	20,4	5,1	0,5765625	3,913	3,3892	36,20876
8	1,698	20,4	6,075	0,5475	4,4634	3,1635	36,34740
9	2,264	20,4	7,47	0,5590625	3,5862	3,7999	38,07916
10	2,264	23,8	5,73	0,528435	4,3516	3,0858	39,75984
11	2,830	23,8	7,32	0,5371875	3,4959	3,7037	41,68679
12	1,698	23,8	8,415	0,5128125	4,0205	3,4854	41,93171
13	1,698	23,8	5,61	0,575625	3,913	3,3929	38,98953
14	2,264	23,8	7,17	0,5859375	4,2226	2,997	41,03954
15	2,830	23,8	8,775	0,5959375	3,3927	3,5927	42,98634
16	2,830	23,8	5,85	0,6621875	4,0205	2,849	40,01169
17	1,698	23,8	7,02	0,631875	3,4228	3,6223	40,19498
18	2,264	23,8	8,595	0,64375	3,7281	3,2301	42,26095

### 4.1.3 Deney sonuçları

$L_{18}$  ( $2^1 \times 3^7$ ) ortogonal dizini ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları çizelge 4.3 - 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Taguchi deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen bulgular

Deney No.	$L_{18}$								Yanıtlar				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	R1 (W/m <sup>2</sup> K)	R2 %	R3 mm	R4 kg/m <sup>3</sup>	R5 %
1	1	1	1	1	1	1	1	1	14,5607	2,0	25	2	1,68878
2	1	1	2	2	2	2	2	2	14,5669	1,5	45	10	0,90799
3	1	1	3	3	3	3	3	3	14,5709	0,9	70	13	1,91358
4	1	2	1	1	2	2	3	3	14,5568	1,3	130	2	1,71569
5	1	2	2	2	3	3	1	1	14,5602	1,8	150	12	1,71254
6	1	2	3	3	1	1	2	2	14,5647	1,3	150	12	2,65268
7	1	3	1	2	1	3	2	3	14,5426	1,6	190	7	1,80338
8	1	3	2	3	2	1	3	1	14,5466	1,2	170	10	1,98007
9	1	3	3	1	3	2	1	2	14,5483	1,3	230	6	1,03512
10	2	1	1	3	3	2	2	1	14,5664	2,1	60	2	1,80590
11	2	1	2	1	1	3	3	2	14,5692	1,4	130	8	1,61033
12	2	1	3	2	2	1	1	3	14,5720	0,8	150	5	1,81705
13	2	2	1	2	3	1	3	2	14,5556	1,2	210	1	2,07940
14	2	2	2	3	1	2	1	3	14,5579	0,8	230	8	2,04261
15	2	2	3	1	2	3	2	1	14,5596	1,5	250	3	1,47865
16	2	3	1	3	2	3	1	2	14,5432	1,1	280	6	2,06675
17	2	3	2	1	3	1	2	3	14,5500	0,7	290	4	1,91250
18	2	3	3	2	1	2	3	1	14,5539	0,5	420	2	2,00127

Çizelge 4.4 Taguchi deneylerinde ikinci beş yanıt için elde edilen bulgular

Deney No.	$L_{18}$								Yanıtlar				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	R6 (N/mm <sup>2</sup> )	R7 (N/mm <sup>2</sup> )	R8 (N/mm <sup>2</sup> )	R9 (N/mm <sup>2</sup> )	R10 \$/mm <sup>2</sup>
1	1	1	1	1	1	1	1	1	33,9	49,1	54,80	4,3	35,2846
2	1	1	2	2	2	2	2	2	36,3	50,0	59,80	4,4	37,1518
3	1	1	3	3	3	3	3	3	36,6	54,0	55,00	4,3	39,0777
4	1	2	1	1	2	2	3	3	28,5	41,5	52,55	4,2	35,7238
5	1	2	2	2	3	3	1	1	30,2	42,5	52,56	4,2	37,6165
6	1	2	3	3	1	1	2	2	30,3	43,0	51,10	4,2	37,6951
7	1	3	1	2	1	3	2	3	23,3	33,0	42,69	3,9	36,2088
8	1	3	2	3	2	1	3	1	28,7	39,3	49,46	4,1	36,3474
9	1	3	3	1	3	2	1	2	26,0	38,0	46,50	4,1	38,0792
10	2	1	1	3	3	2	2	1	39,7	52,0	59,20	4,4	39,7598
11	2	1	2	1	1	3	3	2	42,1	55,9	61,60	4,5	41,6868
12	2	1	3	2	2	1	1	3	36,4	53,0	61,23	4,3	41,9317
13	2	2	1	2	3	1	3	2	31,1	44,0	54,09	4,2	38,9895
14	2	2	2	3	1	2	1	3	31,4	43,0	50,80	4,2	41,0395
15	2	2	3	1	2	3	2	1	33,9	46,1	50,58	4,2	42,9863
16	2	3	1	3	2	3	1	2	26,3	34,9	42,38	3,9	40,0117
17	2	3	2	1	3	1	2	3	28,7	39,1	49,56	4,1	40,1950
18	2	3	3	2	1	2	3	1	24,0	42,8	48,23	4,0	42,2609

On performans ölçütü için S/N değerleri eşitlik 2.15 ve 2.16 ile hesaplanmış ve sırası ile çizelge 4.5 - 4.6'ya aktarılmıştır.

Çizelge 4.5 Taguchi deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen S/N değerleri

Deney No.	$L_{18}$								S/N				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	R1	R2	R3	R4	R5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	35,2846	-23,2637	-6,02060	27,9588	-6,0206
2	1	1	2	2	2	2	2	2	37,1518	-23,2674	-3,52183	33,0643	-20,0000
3	1	1	3	3	3	3	3	3	39,0777	-23,2697	0,91515	36,9020	-22,2789
4	1	2	1	1	2	2	3	3	35,7238	-23,2613	-2,27887	42,2789	-6,0206
5	1	2	2	2	3	3	1	1	37,6165	-23,2633	-5,10545	43,5218	-21,5836
6	1	2	3	3	1	1	2	2	37,6951	-23,2660	-2,27887	43,5218	-21,5836
7	1	3	1	2	1	3	2	3	36,2088	-23,2529	-4,08240	45,5751	-16,9020
8	1	3	2	3	2	1	3	1	36,3474	-23,2552	-1,58362	44,6090	-20,0000
9	1	3	3	1	3	2	1	2	38,0792	-23,2562	-2,27887	47,2346	-15,5630
10	2	1	1	3	3	2	2	1	39,7598	-23,2670	-6,44439	35,5630	-6,0206
11	2	1	2	1	1	3	3	2	41,6868	-23,2687	-2,92256	42,2789	-18,0618
12	2	1	3	2	2	1	1	3	41,9317	-23,2704	1,93820	43,5218	-13,9794
13	2	2	1	2	3	1	3	2	38,9895	-23,2606	-1,58362	46,4444	0,0000
14	2	2	2	3	1	2	1	3	41,0395	-23,2620	1,93820	47,2346	-18,0618
15	2	2	3	1	2	3	2	1	42,9863	-23,2630	-3,52183	47,9588	-9,5424
16	2	3	1	3	2	3	1	2	40,0117	-23,2532	-0,82785	48,9432	-15,5630
17	2	3	2	1	3	1	2	3	40,1950	-23,2572	3,09804	49,2480	-12,0412
18	2	3	3	2	1	2	3	1	42,2609	-23,2596	6,02060	52,4650	-6,0206

Çizelge 4.6 Taguchi deneylerinde ikinci beş yanıt için elde edilen S/N değerleri

Çok yanıtli eniyileme problemi TOPSIS yöntemi ile tek yanıtli eniyileme problemine dönüştürülür. Normalize edilen karar matrisi ve ağırlıklı normalize edilmiş matris sırası ile eşitlik 2.29, 2.30, 2.31 ve 2.32 ile hesaplanmıştır. İdeal çözüm ( $A^*$ ) ve negatif ideal çözüm ( $A^-$ )

Deney No.	$L_{18}$								S/N				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	R6	R7	R8	R9	R10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	30,6040	33,8216	34,7756	12,6694	-30,9517
2	1	1	2	2	2	2	2	2	31,1981	33,9794	35,5340	12,8691	-31,3996
3	1	1	3	3	3	3	3	3	31,2696	34,6479	34,8073	12,6694	-31,8386
4	1	2	1	1	2	2	3	3	29,0969	32,3610	34,4115	12,4650	-31,0592
5	1	2	2	2	3	3	1	1	29,6001	32,5678	34,4131	12,4650	-31,5076
6	1	2	3	3	1	1	2	2	29,6289	32,6694	34,1684	12,4650	-31,5257
7	1	3	1	2	1	3	2	3	27,3471	30,3703	32,6065	11,8213	-31,1763
8	1	3	2	3	2	1	3	1	29,1576	31,8879	33,8851	12,2557	-31,2095
9	1	3	3	1	3	2	1	2	28,2995	31,5957	33,3491	12,2557	-31,6137
10	2	1	1	3	3	2	2	1	31,9758	34,3201	35,4464	12,8691	-31,9889
11	2	1	2	1	1	3	3	2	32,4856	34,9482	35,7916	13,0643	-32,4000
12	2	1	3	2	2	1	1	3	31,2220	34,4855	35,7393	12,6694	-32,4509
13	2	2	1	2	3	1	3	2	29,8552	32,8691	34,6623	12,4650	-31,8190
14	2	2	2	3	1	2	1	3	29,9386	32,6694	34,1173	12,4650	-32,2640
15	2	2	3	1	2	3	2	1	30,6040	33,2740	34,0796	12,4650	-32,6666
16	2	3	1	3	2	3	1	2	28,3991	30,8565	32,5432	11,8213	-32,0437
17	2	3	2	1	3	1	2	3	29,1576	31,8435	33,9026	12,2557	-32,0834
18	2	3	3	2	1	2	3	1	27,6042	32,6289	33,6663	12,0412	-32,5188

eşitlik 2.33 ve 2.34 yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlik 2.35 ve 2.36 ayırım ölçütlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Son olarak



her deney için karar noktalarının ideal çözüme göreli uzaklıkları ( $C_i^*$ ) hesaplanmış ve tüm bulgular çizelge 4.7'ye aktarılmıştır.

Çizelge 4.7 Vektör normalizasyonu kullanılarak elde edilen *TOPSIS* değerleri

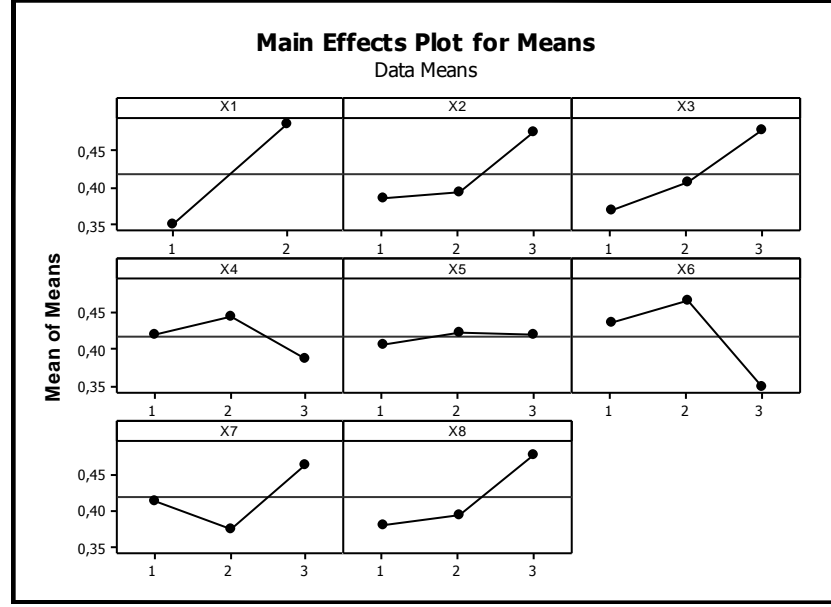
D. N.	Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi										$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i^*$
	vij1	vij2	vij3	vij4	vij5	vij6	vij7	vij8	vij9	vij10			
1	-0,012	-0,028	0,021	-0,008	-0,014	0,038	0,013	0,017	0,034	-0,024	0,062	0,026	<b>0,294</b>
2	-0,012	-0,016	0,025	-0,027	0,003	0,039	0,013	0,017	0,034	-0,024	0,054	0,033	<b>0,381</b>
3	-0,012	0,004	0,028	-0,030	-0,018	0,039	0,013	0,017	0,034	-0,025	0,045	0,036	<b>0,447</b>
4	-0,012	-0,011	0,032	-0,008	-0,015	0,036	0,012	0,017	0,033	-0,024	0,044	0,034	<b>0,433</b>
5	-0,012	-0,024	0,033	-0,029	-0,015	0,037	0,012	0,017	0,033	-0,025	0,062	0,018	<b>0,227</b>
6	-0,012	-0,011	0,033	-0,029	-0,027	0,037	0,012	0,016	0,033	-0,025	0,057	0,023	<b>0,287</b>
7	-0,012	-0,019	0,035	-0,023	-0,016	0,034	0,011	0,016	0,031	-0,024	0,056	0,022	<b>0,277</b>
8	-0,012	-0,007	0,034	-0,027	-0,019	0,036	0,012	0,016	0,033	-0,024	0,050	0,027	<b>0,354</b>
9	-0,012	-0,011	0,036	-0,021	-0,001	0,035	0,012	0,016	0,033	-0,025	0,045	0,036	<b>0,450</b>
10	-0,012	-0,030	0,027	-0,008	-0,016	0,040	0,013	0,017	0,034	-0,025	0,063	0,026	<b>0,292</b>
11	-0,012	-0,014	0,032	-0,024	-0,013	0,040	0,013	0,017	0,035	-0,025	0,051	0,026	<b>0,334</b>
12	-0,012	0,009	0,033	-0,019	-0,016	0,039	0,013	0,017	0,034	-0,025	0,034	0,044	<b>0,566</b>
13	-0,012	-0,007	0,035	0,000	-0,020	0,037	0,012	0,017	0,033	-0,025	0,042	0,041	<b>0,491</b>
14	-0,012	0,009	0,036	-0,024	-0,019	0,037	0,012	0,016	0,033	-0,025	0,038	0,043	<b>0,527</b>
15	-0,012	-0,016	0,036	-0,013	-0,011	0,038	0,013	0,016	0,033	-0,025	0,048	0,031	<b>0,394</b>
16	-0,012	-0,004	0,037	-0,021	-0,020	0,035	0,012	0,016	0,031	-0,025	0,045	0,033	<b>0,421</b>
17	-0,012	0,014	0,037	-0,016	-0,018	0,036	0,012	0,016	0,033	-0,025	0,030	0,050	<b>0,626</b>
18	-0,012	0,028	0,040	-0,008	-0,019	0,034	0,012	0,016	0,032	-0,025	0,024	0,065	<b>0,730</b>

$C_i^*$ ,  $i=1, 2, \dots, 18$  önerilen çok yanıtli eniyileme problemi için vekil cevaplardır. Duyarsız tasarım yöntemi prensiplerine göre eğer duyarsızlık ve performans üzerindeki kontrol faktörlerinin etkileri eklenebilirse (eğer süperpozisyon kuralını takip edecekse, ürünün sadece ana faktör etkilerini bildiğimiz kontrol faktörlerinin herhangi bir seviyesindeki performansını belirlemek mümkün olacaktır. Toplanabilirlik özelliğini kullanarak, faktör seviyelerindeki ortalama yanıtlar MINITAB programı ile çözülmüştür. İlişile faktör etkileri grafiği şekil 4.1'de verilmiştir. En küçük en iyidir ve en büyük en iyidir etki değerleri ile normalizasyon yöntemi son parametre tasarımını bulmamıza yardımcı olmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Optimum faktör seviyeleri

Faktörler	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Seviye 1	0.3501	0.3859	0.3682	0.4220	0.4081	0.4365	0.4143	0.3821
Seviye 2	<b>0.4869</b>	0.3932	0.4082	<b>0.4454</b>	<b>0.4250</b>	<b>0.4688</b>	0.3763	0.3941
Seviye 3		<b>0.4765</b>	<b>0.4791</b>	0.3881	0.4223	0.3502	<b>0.4649</b>	<b>0.4793</b>
Optimal faktör seviyeleri	2	3	3	2	2	2	3	3



Şekil 4.1 Faktör etkileri için vektör normalizasyonu ile ana etkiler grafiği

Parametre tasarımı aşamasında optimum koşullar ile mevcut koşullar arasında beklenen iyileşme oranının tahmin edilmesi için, optimal karışım oranlarını kullanarak bu on yanıt için S/N oranlarının kalite katkısı tahmin edilmektedir (Çizelge 4.9). Bu çizelgede TOPSIS tabanlı Taguchi uygulamasının beklenen katkısı görülmektedir.

Çizelge 4.9 Optimum koşullarda beklenen iyileşme oranları

Yanıtlar	Tanım	Kurumda kullanılan faktör seviyeleri	Optimal faktör seviyeleri	Beklenen iyileşme(dB)	Beklenen iyileşme (%)
1	Konvektif ısı aktarım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	22312321	23322233	0.0029	0.02

2	Hava içeriği (%)	1.5	1.5	0.0	0.0
---	------------------	-----	-----	-----	-----

D.	Taguchi tasarımı	Yanıtlar
----	------------------	----------

3	Çökme-yayılma değeri (mm)	250	290	0.16	16.0
4	Teorik ile pratik birim ağırlık farkı (kg/m <sup>3</sup> )	3	3	0.0	0.0
5	Su emme (%)	1.48	1.48	0.0	0.0
6	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 2 günlük	33.9	36.2	2.3	6.7
7	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 7 günlük	46.1	47.0	0.9	1.9
8	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 28 günlük	50.58	53.86	3.28	6.5
9	Yarmada çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 28 günlük	4.2	4.2	0.0	0.0
10	Üretim maliyeti (\$/mm <sup>2</sup> )	42.9863	42,25634	0.72996	1.7

#### 4.1.4 Doğrulama deneyi

Taguchi yöntemi kullanarak elde ettiğimiz optimal karışım oranlarının doğrulanması amacıyla bir doğrulama deneyi çalışması gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı, çekmede yarma dayanımı ile çökme-yayılma değerini maksimize ettiği ve konvektif ısı aktarım katsayısı, hava içeriği ve su emme yüzdeleri gerçekten minimize ettiği kontrol edilmiştir. Sonuçlar çizelge 4.10'da verilmiştir. Doğrulama deneyi, önerilen optimal karışım oranlarının basınç dayanımı, çekmede yarma dayanımı ile çökme-yayılma değerini maksimize ettiği ve konvektif ısı aktarım katsayısı, hava içeriği ve su emme yüzdeleri gerçekten minimize ettiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 Doğrulama deneyi sonuçları

$L_{18}$								R1 (W/m <sup>2</sup> K)	R2 %	R3 mm	R4 kg/m <sup>3</sup>	R5 %
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8					
2	3	3	2	2	2	3	3	14.556 6	1.5	290	3	1.48
								R6 (N/mm <sup>2</sup> )	R7 (N/mm <sup>2</sup> )	R8 (N/mm <sup>2</sup> )	R9 (N/mm <sup>2</sup> )	R10 \$/mm <sup>2</sup>
								36.2	47	53.86	4.2	42,25634

**4.1.5**

**Modell  
emede**

#### kullanılacak ve sabit alınacak faktörler

Tüm deneylerde çimento miktarı ( $X_1$ ), 350 kg/m<sup>3</sup>; uçucu kül ( $X_6$ ), ise 80 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Beton karışımlarında kırma kum miktarının toplam agregaya miktarı oranı ( $X_4$ ), 50% düzeyindedir. Taze beton karıştırma süresi ( $X_7$ ), 120 sn olarak bütün cevap yüzey deneylerinde sabit alınmıştır. Yine bütün deneylerde PCE III tipi ( $X_8$ ) süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Modellemede kullanılacak faktörler ise, su/bağlayıcı oranı ( $X_2$ ), 100 kg bağlayıcıya (çimento + uçucu kül miktarı) katılan süperplastikleştirici yüzdesi olarak tanımlanan süperakışkanlaştırıcı içeriğidir ( $X_3$ ) ve I nolu agregaya miktarının toplam agregaya miktarına oranı ( $X_5$ ) olarak belirlenmiştir. Cevap yüzey yöntemi için faktör seviyeleri çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Cevap yüzey yöntemi için faktörler ve seviyeleri

Faktörler	Cevap Yüzeyi deneylerinde kullanılan simgeler	Tanım	Seviyeler				
			-2	-1	0	1	2
			Birinci seviye	İkinci seviye	Üçüncü seviye	Dördüncü seviye	Beşinci seviye
$X_2$	A	Su bağlayıcı oranı	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
$X_5$	B	I nolu agregaya oranı (%)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$X_3$	C	Süperplastikleştirici içeriği	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00

#### 4.2 Cevap Yüzey Yöntemi ile Modelleme

Cevap yüzeyi için kullanılacak parametreler su/bağlayıcı oranı, I nolu agreganın toplam agregaya miktarına oranı ve SP yüzdesi olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.1 Konvektif ısı aktarım katsayısı

Ortalama konveksiyon ısı aktarım katsayısı; bir izotermal yüzeyden laminer ısı aktarımı prensibi ile eşitlik (4.1) ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki L örnek uzunluğudur ve değeri 150mm'dir. Nu, taşınım ısı aktarım katsayısının iletimle olan ısı aktarımına oranını temsil eden Nusselt sayısıdır ve eşitlik (4.2) ile hesaplanır. Reynolds sayısı fiziksel olarak zorlanmış konveksiyon akış sistemlerinde atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine oranı olan boyutsuz bir grup olarak tanımlanır. Nusselt sayısının hesaplanmasında kullanılan Re, Reynolds sayısı eşitlik (4.3) yardımı ile hesaplanmıştır. Tüm deneyler için beton yüzey sıcaklığı  $T_w$  (K), ile ortam sıcaklığı  $T_\infty$  (K) belirlenmiş ve atmosferik basınçta bu iki sıcaklığın ortalaması film sıcaklığında  $T_f$  (K), hava özellikleri; k termal iletkenlik, Pr Prandtl sayısı,  $\nu$  kinematik vizkozite belirlenmiştir (Holman 2010). Isı aktarım hesaplarında rüzgar hızı  $u_\infty$ , 2 m/sn olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 4.12'e aktarılmıştır.

Çizelge 4.12 Cevap yüzey deneylerinde elde edilen ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı

Deney no	$T_w$ , K	$T_\infty$ , K	$\nu \cdot 10^6$ , $m^2/sn$	$k \cdot 10^3$ , W/mK	Pr	Re	Nu	$\bar{h}_c$ (W/m <sup>2</sup> K)
1	289.25	283.25	286.25	14.1013	25.2383	0.711263	52.9410	17.8152

2	288.55	283.25	285.90	14.0771	25.2085	0.711371	52.9891	17.8103
3	288.45	283.25	285.85	14.0737	25.2043	0.711387	52.9960	17.8096
4	288.35	283.25	285.80	14.0702	25.2000	0.711402	53.0029	17.8090
5	288.15	283.25	285.70	14.0633	25.1915	0.711433	53.0166	17.8076
6	289.95	283.25	286.60	14.1254	25.2680	0.711154	52.8930	17.8200
7	285.15	283.65	284.40	13.9736	25.0810	0.711836	53.1966	17.7896
8	287.85	283.65	285.75	14.0668	25.1958	0.711418	53.0097	17.8083
9	287.75	283.65	285.70	14.0633	25.1915	0.711433	53.0166	17.8076
10	285.45	283.65	284.55	13.9839	25.0937	0.711790	53.1757	17.7917
11	289.25	283.65	286.45	14.1151	25.2553	0.711201	52.9136	17.8179
12	289.95	283.65	286.80	14.1392	25.2850	0.711092	52.8657	17.8228
13	285.25	283.45	284.35	13.9702	25.0768	0.711852	53.2035	17.7889
14	285.65	283.45	284.55	13.9839	25.0937	0.711790	53.1757	17.7917
15	285.85	283.45	284.65	13.9909	25.1023	0.711759	53.1618	17.7931
16	288.95	283.45	286.20	14.0978	25.2340	0.711278	52.9479	17.8145
17	288.85	283.45	286.15	14.0944	25.2298	0.711294	52.9547	17.8138
18	289.55	283.45	286.50	14.1185	25.2595	0.711185	52.9067	17.8186
19	289.35	283.45	286.40	14.1116	25.2510	0.711216	52.9204	17.8173
20	289.15	283.45	286.30	14.1047	25.2425	0.711247	52.9341	17.8159

#### 4.2.2 Üretim maliyeti tahmini

Uçucu kül, çimento, süperakışkanlaştırıcı, su, ince ve kaba agreganın ortalama maliyeti sırası ile 28.3 \$/ton, 68 \$/ton, 1.5 \$/kg, 3.125 \$/ton, 4.3 \$/ton, 3.7 \$/ton olarak belirlenmiştir. Tüm cevap yüzey deneylerinden hesaplanan üretim maliyeti çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Cevap yüzey deneyleri için üretim maliyeti (\$/ m<sup>3</sup>)

Deney No.	Uçucu kül	Çimento	SP miktarı	Su	Agrega ince	Agrega kaba	Üretim maliyeti
1	2,83	23,8	4,2	0,4856250	4,0334	3,5372	38,88623
2	2,83	23,8	8,4	0,4790625	4,0334	3,5372	38,98904
3	2,83	23,8	8,4	0,5884375	4,0334	3,5372	43,18904

4	2,83	23,8	4,2	0,5950000	4,0334	3,5372	43,08623
5	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
6	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
7	2,83	23,8	8,4	0,4790625	4,0334	3,5372	38,98904
8	2,83	23,8	4,2	0,4856250	4,0334	3,5372	38,88623
9	2,83	23,8	4,2	0,5950000	4,0334	3,5372	43,08623
10	2,83	23,8	8,4	0,5884375	4,0334	3,5372	43,18904
11	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
12	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
13	2,83	23,8	6,3	0,4278125	4,0334	3,5372	40,92841
14	2,83	23,8	6,3	0,6465625	4,0334	3,5372	41,14716
15	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
16	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
17	2,83	23,8	2,1	0,5437500	4,0334	3,5372	36,83779
18	2,83	23,8	10,5	0,5306250	4,0334	3,5372	45,23779
19	2,83	23,8	6,3	0,5371875	4,0334	3,5372	41,03779
20	2,83	23,8	6,3	0,5771875	4,0334	3,5372	41,03779

#### 4.2.3 İkinci dereceden modeller ve varyans analizi

Merkezi karma tasarım (MKT) yöntemi gereği, modellerde bulunacak olan parametreler karışım tasarımı oluşturulmadan önce kodlanarak çalışmada kullanılan bütün parametreler normalize edilmiştir. Bu kodlama işlemi ile ilgili detaylar Çizelge 4.11’de sunulmuştur. 3-5 kolonlar arası Merkezi karma tasarım kullanılarak belirlenen karışım oranlarına göre hazırlanan taze haldeki betonların üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları çizelge 4.14 - 4.15’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.14 Cevap yüzey deneylerinde ilk beş yanıt için elde edilen bulgular

Deney No.	MKT			Yanıtlar				
	Kodlanmış değişkenler			R1 (W/m <sup>2</sup> K)	R2 %	R3 mm	R4 kg/m <sup>3</sup>	R5 %
	A	B	C					
1	-1	-1	-1	17,8152	1,5	2,5	2416	1,65158
2	1	1	-1	17,8103	1,9	19,0	2350	2,76088
3	1	-1	1	17,8096	1,0	50,0	2391	2,36316
4	-1	1	1	17,8090	1,1	15,0	2437	1,35821
5	0	0	0	17,8076	1,1	20,0	2403	1,98673
6	0	0	0	17,8200	1,7	19,0	2372	1,89738
7	1	-1	-1	17,7896	1,4	19,0	2352	2,35374
8	-1	1	-1	17,8083	1,5	2,0	2433	2,25082
9	-1	-1	1	17,8076	1,2	14,5	2436	0,59867
10	1	1	1	17,7917	0,6	48,0	2375	2,03795
11	0	0	0	17,8179	1,6	18,0	2382	2,27705
12	0	0	0	17,8228	1,5	18,0	2399	1,58460
13	-2	0	0	17,7889	1,5	1,0	2416	1,67750
14	2	0	0	17,7917	0,1	60,0	2337	1,64694
15	0	-2	0	17,7931	1,3	17,5	2403	1,61669
16	0	2	0	17,8145	1,7	16,0	2381	2,99034
17	0	0	-2	17,8138	1,0	7,0	2414	1,70020
18	0	0	2	17,8186	1,2	45,0	2375	2,12471
19	0	0	0	17,8173	1,7	19,0	2392	1,51527
20	0	0	0	17,8159	1,6	18,0	2399	1,94290

Çizelge 4.15 Cevap yüzey deneylerinde diğer beş yanıt için elde edilen bulgular

Deney No.	MKT			Yanıtlar				
	Kodlanmış değişkenler			R6 (N/mm <sup>2</sup> )	R7 (N/mm <sup>2</sup> )	R8 (N/mm <sup>2</sup> )	R9 (N/mm <sup>2</sup> )	R10 \$/mm <sup>2</sup>
	A	B	C					
1	-1	-1	-1	33,7	49,3	55,00	4,3	38,88623
2	1	1	-1	37,9	54,5	55,50	4,3	38,98904
3	1	-1	1	31,5	43,1	47,40	4,1	43,18904
4	-1	1	1	30,1	38,1	46,60	4,1	43,08623
5	0	0	0	34,6	46,1	52,00	4,2	41,03779
6	0	0	0	35,0	41,6	51,81	4,2	41,03779
7	1	-1	-1	28,7	37,0	47,28	4,1	38,98904
8	-1	1	-1	39,3	50,4	58,10	4,4	38,88623
9	-1	-1	1	40,1	50,4	59,60	4,5	43,08623
10	1	1	1	31,2	43,0	49,00	4,1	43,18904
11	0	0	0	33,9	43,7	54,00	4,2	41,03779
12	0	0	0	35,1	45,5	51,13	4,2	41,03779
13	-2	0	0	50,6	57,0	62,60	4,5	40,92841
14	2	0	0	24,6	32,6	40,39	3,9	41,14716
15	0	-2	0	28,6	39,2	49,56	4,1	41,03779
16	0	2	0	36,1	47,4	49,58	4,0	41,03779
17	0	0	-2	34,1	43,8	47,23	4,1	36,83779
18	0	0	2	33,1	42,2	44,34	4,1	45,23779
19	0	0	0	34,1	41,2	52,25	4,2	41,03779
20	0	0	0	35,0	43,0	51,09	4,2	41,03779

Varyans analizi ile elde edilen sonuçlar çizelge 4.16 - 4.17'de, önemli bulunan regresyon eşitlikleri ise çizelge 4.18'de sunulmuştur.



Çizelge 4.16 İlk beş yanıt için varyans analizi

Değişkenlik kaynağı	Yanıtlar ( p-değeri)				
	R1	R2	R3	R4	R5
Model	0.074	0.155	0.000*	0.08	0.272
Doğrusal katkı	0.043*	0.123	0.000*	0.007*	0.696
Karesel katkı	0.011*	0.105*	0.000*	0.909	0.595
Etkileşim katkısı	0.605	0.578	0.001*	0.815	0.602

\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değeri)

Çizelge 4.17 Diğer beş yanıt için varyans analizi

Değişkenlik kaynağı	Yanıtlar ( p-değeri)				
	R6	R7	R8	R9	R10
Model	0.014*	0.025*	0.006*	0.008*	0.000*
Doğrusal katkı	0.125	0.187	0.002*	0.002*	1.000
Karesel katkı	0.451	0.929	0.195	0.319	1.000
Etkileşim katkısı	0.072	0.022*	0.033*	0.04*	

\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değeri)

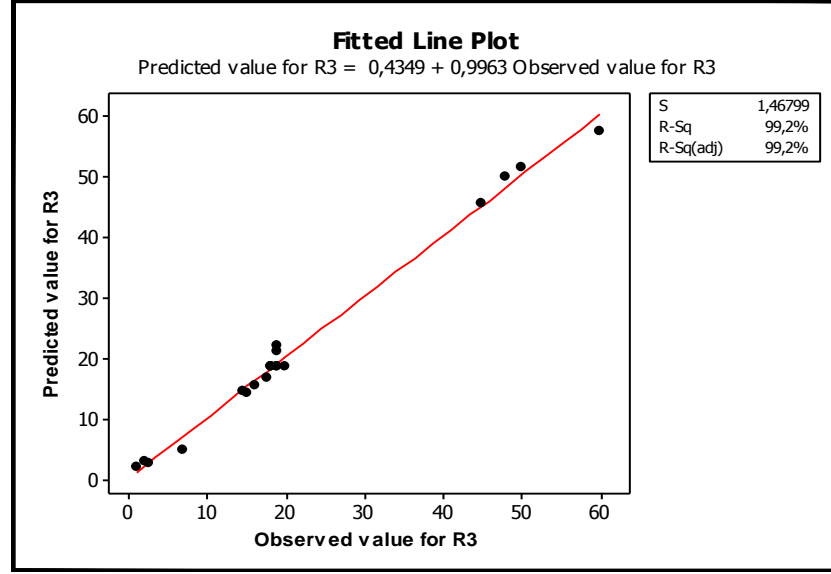
Çizelge 4.18 Tüm yanıtlar için elde edilen regresyon eşitlikleri

Kalite karakteristiği	Regresyon eşitlikleri	R <sup>2</sup> , %
1	R1 = 17.82-0.002A+0.003B+0.0003C-0.0068A <sup>2</sup> -0.0034B <sup>2</sup> -0.0003C <sup>2</sup> +0.001AB+0.001AC-0.004BC* R1 = 17.082+2.511A+0.7565B+0.027C-2.71A <sup>2</sup> -1.37B <sup>2</sup> -0.002C <sup>2</sup> +0.414AB+0.051AC-0.1897BC**	70.4
2	R2 = 1.54-0.20A+0.05B-0.125C-0.18A <sup>2</sup> -0.005B <sup>2</sup> -0.105C <sup>2</sup> +0.025AB-0.125AC-0.125BC* R2 = -19.72+72.82A+4.41B+5.94C-71.82A <sup>2</sup> -1.81B <sup>2</sup> -0.65C <sup>2</sup> +10AB-6.25AC-6.25BC**	63.78
3	R3 = 18.35+6.875A-0.156B+5.031C+0.70A <sup>2</sup> -0.159B <sup>2</sup> +0.419C <sup>2</sup> -0.0625AB+1.093AC-0.0312BC* R3 = 248.39-1083.0A+178.52B-107.8C+1120.45A <sup>2</sup> -254.5B <sup>2</sup> +10.48C <sup>2</sup> -100AB+218.75AC-6.25BC**	99.25 <sup>‡</sup>
4	R4 = 2393.6-25.75A-2.75B-2.38C-2.47A <sup>2</sup> +1.41B <sup>2</sup> -0.97C <sup>2</sup> -4.50AB+5AC-3.75BC* R4 = 2320.6+621.36A+788.18B-69.57C-986.36A <sup>2</sup> +563.6B <sup>2</sup> -6.04C <sup>2</sup> -1800AB+250AC-187.5BC**	73.2
5	R5 = 3.365+0.225A+0.261B-0.113C-0.053A <sup>2</sup> +0.107B <sup>2</sup> +0.01C <sup>2</sup> -0.16AB+0.154AC-0.072BC* R5 = -8.2611+32.25A+19.90B-3.388C-21.04A <sup>2</sup> +43.09B <sup>2</sup> +0.06C <sup>2</sup> -63.84AB+7.70AC-3.57BC**	57.22
6	R6 = 34.529-4.119A+1.219B-0.54C+0.702A <sup>2</sup> -0.61B <sup>2</sup> -0.3C <sup>2</sup> +1.66AB-0.137AC-3.137BC* R6 = 155.5-521.3A+2.17B+45.77C+280.9A <sup>2</sup> -244.1B <sup>2</sup> -1.86C <sup>2</sup> +665.0AB-6.875AC-156.87BC**	80.28 <sup>‡</sup>
7	R7 = 43.89-3.713A+1.41B-1.237C+0.509A <sup>2</sup> +0.1341B <sup>2</sup> +0.059C <sup>2</sup> +3.57AB+0.725AC-3.875BC* R7 = 274.84-678.9A-481.07B+26.33C+203.64A <sup>2</sup> +53.64B <sup>2</sup> +0.37C <sup>2</sup> +1430AB+36.25AC-193.75BC**	77.30 <sup>‡</sup>
8	R8 = 52.5168-4.0338A-0.0025B-1.191C+0.097A <sup>2</sup> -0.3841B <sup>2</sup> -1.33C <sup>2</sup> +2.465AB+0.065AC-2.84BC* R8 = 167.181-369.94A-245.83B+50.852C+38.86A <sup>2</sup> -153.63B <sup>2</sup> -8.31C <sup>2</sup> +986AB+3.25AC-142BC**	83.70 <sup>‡</sup>
9	R9 = 4.218-0.12A-0.0187B-0.0187C+0.0090A <sup>2</sup> -0.028B <sup>2</sup> -0.0116C <sup>2</sup> +0.0625AB-0.012AC-0.0875BC* R9 = 7.049-11.511A-1.9432B+1.598C+3.6364A <sup>2</sup> -11.364B <sup>2</sup> -0.0994C <sup>2</sup> +25AB-0.625AC-4.375BC**	82.50 <sup>‡</sup>
10	R10 = 41.0378+0.053A+2.10C* R10 = 34.2053+1.067A+0.0028B+5.2502C-0.0061A <sup>2</sup> -0.0056B <sup>2</sup> -0.0001C <sup>2</sup> **	100.0 <sup>‡</sup>

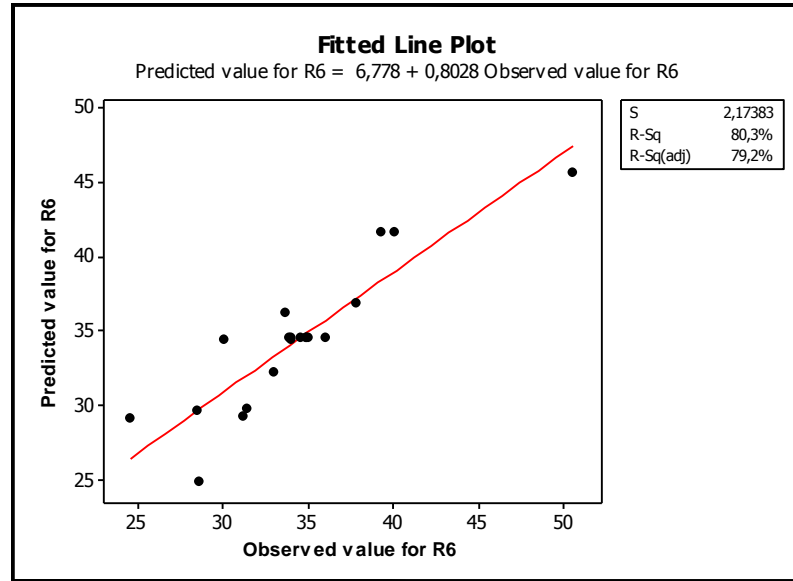
\* kodlanmış faktör seviyeleri ile analiz edilmiştir; \*\* kodlanmamış faktör seviyeleri ile analiz edilmiştir; ‡kullanışlı modeller

### 4.2.3 Meta-modellerin doğrulanması

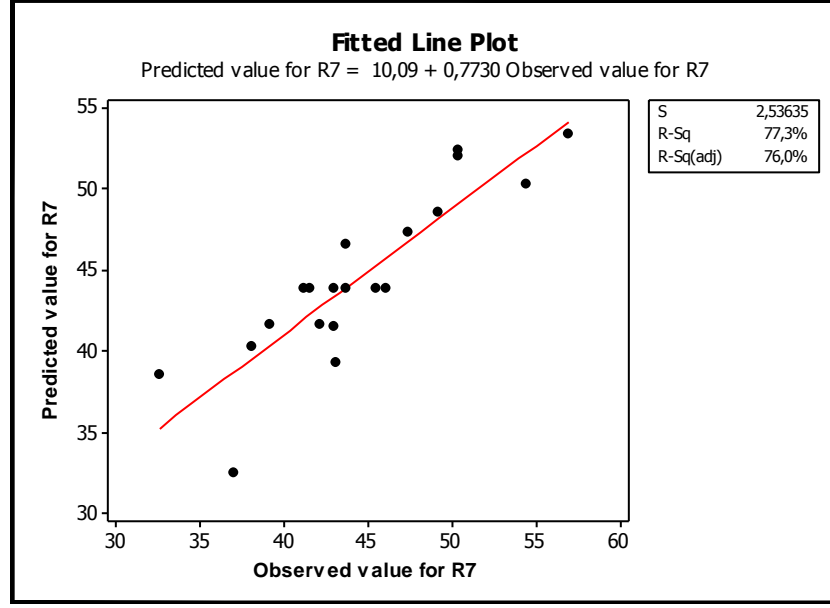
Yanıtların gerçek değeri, model ile tahmin edilen değerlerine karşı grafiğe geçirilmiştir (Şekil 4.2 - 4.7). Deneysel değer ile modellerden tahmin edilen değerler arasındaki farklar modellerin etkili olduğunu göstermiştir.



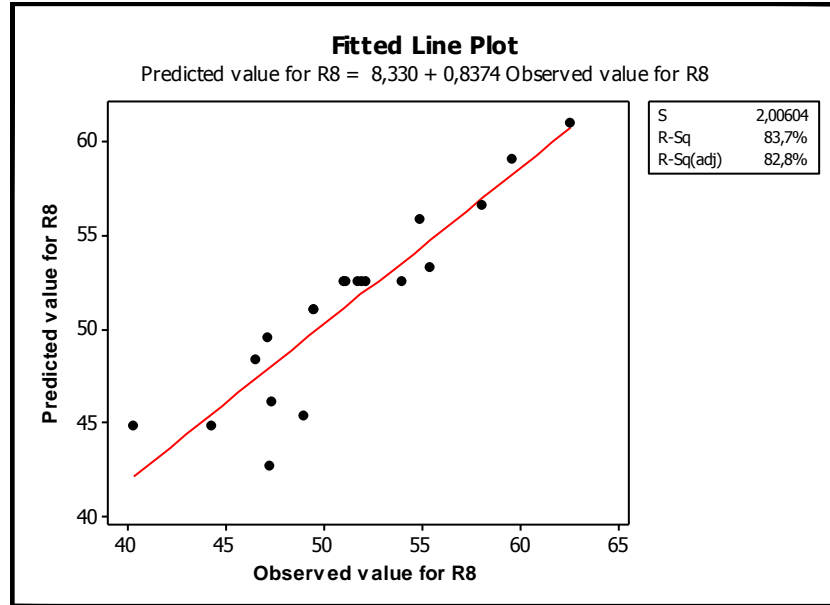
Şekil 4.2 R3 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği



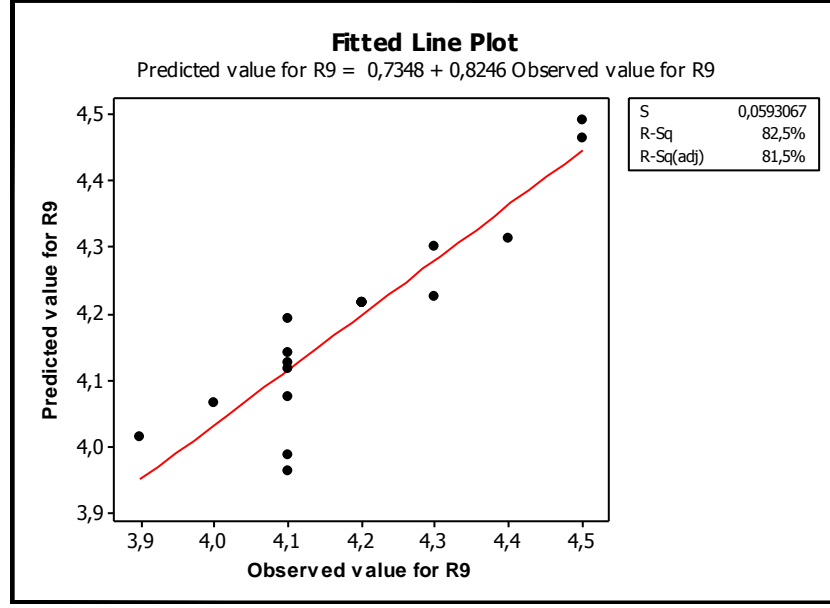
Şekil 4.3 R6 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği



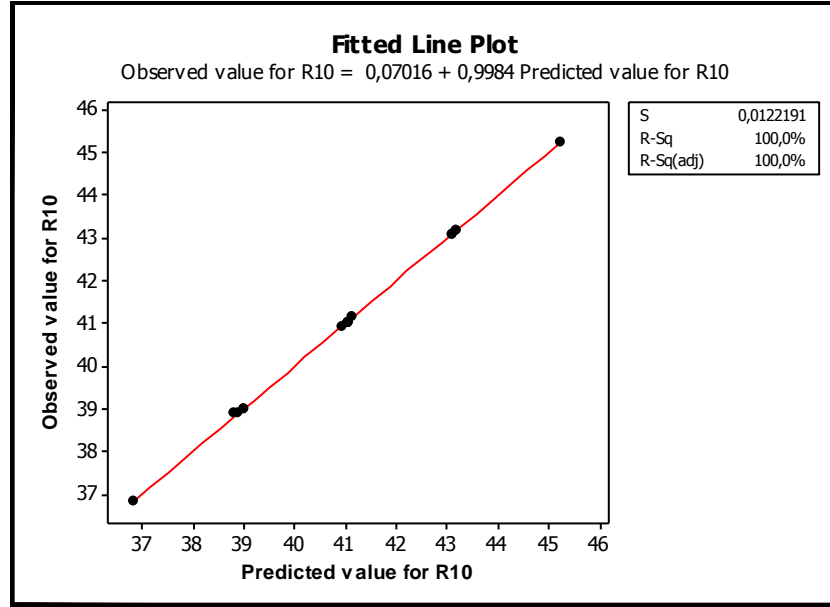
Şekil 4.4 R7 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği



Şekil 4.5 R8 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği



Şekil 4.6 R9 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği



Şekil 4.7 R10 için gözlenen değere karşı çizilen tahmin değerleri grafiği

#### 4.2.4 Faktör etkilerinin tahmin edilmesi

Çizelge 4.19 - 4.22'de kullanışlı olan modellerin faktör etkileri ve tüm yanıtlar için p-değerleri sunulmuştur. Negatif işaret antagonistik (faktör etkisinin yanıt üzerinde

azaltıcı) etkiyi, pozitif işaret ise yanıt üzerindeki faktör etkisinin sinerjistik (faktör etkisinin yanıt üzerinde arttırıcı) etki olduğunu simgelemektedir.

Çizelge 4.19 R3, R6 ve R7 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri

İlişki		Faktör	Yanıtlar					
			R3		R6		R7	
			Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri
Ana etkiler	Doğrusal	A	-6.126	0.000*	-1.781	0.105	-1.95	0.003*
		B	1.081	0.305	0.008	0.994	1.479	0.08
		C	-5.302	0.000*	1.359	0.204	0.658	0.526
Doğrusal katkı	Sade karesel	A <sup>2</sup>	7.146	0.000*	1.082	0.305	0.66	0.524
		B <sup>2</sup>	-1.623	0.136	-0.940	0.369	0.174	0.866
		C <sup>2</sup>	4.276	0.002*	-0.459	0.656	0.077	0.94
	Etkileşim	A*B	-0.36	0.727	1.445	0.179	2.613	0.026*
		B*C	6.296	0.000*	-0.119	0.907	0.53	0.608
		A*C	-0.18	0.861	-2.726	0.021*	-2.832	0.018*

\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değer); (+) Sinerjistik etki ;(-) Antagonistik etki

Çizelge 4.20 R8 ve R9 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri

İlişki		Faktör	Yanıtlar			
			R8		R9	
			Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri
Ana etkiler	Doğrusal	A	-5.486	0.001*	-5.422	0.001*
		B	-0.003	0.997	-0.856	0.412
		C	-1.62	0.136	-0.856	0.412
Doğrusal katkı	Sade karesel	A <sup>2</sup>	0.166	0.872	0.52	0.614
		B <sup>2</sup>	-0.655	0.527	-1.626	0.135
		C <sup>2</sup>	-2.268	0.047*	-0.911	0.384
	Etkileşim	A*B	2.371	0.039*	2.018	0.071
		B*C	0.063	0.951	-0.408	0.695
		A*C	-2.731	0.021*	-2.825	0.018*

\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değer); (+) Sinerjistik etki ;(-) Antagonistik etki

Çizelge 4.21 R1, R2 ve R4 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri

İlişki		Faktör	Yanıtlar					
			R1		R2		R4	
			Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri
Ana etkiler	Doğrusal	A	2.876	0.016*	2.308	0.044*	-4.590	0.001*
		B	0.983	0.349	0.150	0.884	-0.490	0.635
		C	0.359	0.727	1.638	0.133	-0.420	0.681
Doğrusal katkı	Sade karesel	A <sup>2</sup>	-3.488	0.006*	-2.566	0.028*	-0.551	0.594
		B <sup>2</sup>	-1.629	0.134	-0.065	0.949	0.315	0.759
		C <sup>2</sup>	-0.119	0.907	-1.494	0.166	-0.216	0.833
	Etkileşim	A*B	0.230	0.823	0.202	0.844	-0.567	0.583
		B*C	0.305	0.767	-1.008	0.337	0.630	0.543
		A*C	-1.345	0.208	-1.008	0.337	-0.473	0.647

\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değer); (+) Sinerjistik etki ;(-) Antagonistik etki

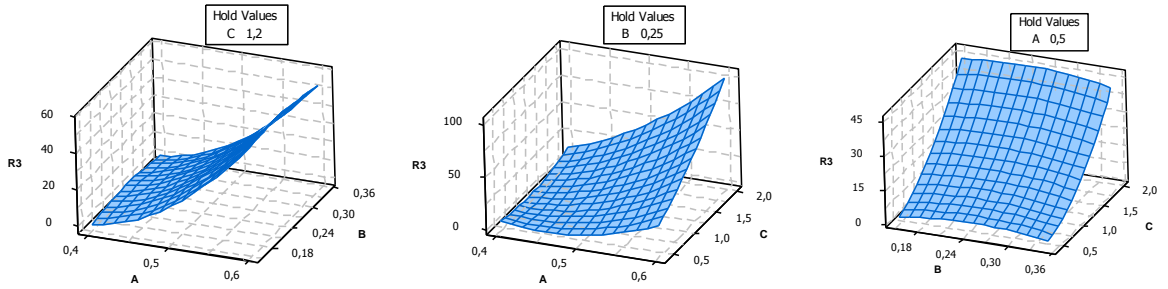
Çizelge 4.22 R5 ve R10 yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerleri

İlişki		Faktör	Yanıtlar			
			R5		R10	
			Faktör etkisi	p-değeri	Faktör etkisi	p-değeri
Ana etkiler	Doğrusal	A	1.902	0.086	0.135	0.895
		B	2.216	0.051	0.002	0.998
		C	-0.958	0.361	0.144	0.889
Doğrusal katkı	Sade karesel	A <sup>2</sup>	-0.558	0.589	-0.005	0.996
		B <sup>2</sup>	1.143	0.280	-0.005	0.996
		C <sup>2</sup>	0.106	0.918	-0.005	0.996
	Etkileşim	A*B	-0.955	0.362	0.0	1.0
		B*C	0.922	0.378	0.0	1.0
		A*C	-0.428	0.678	0.0	1.0

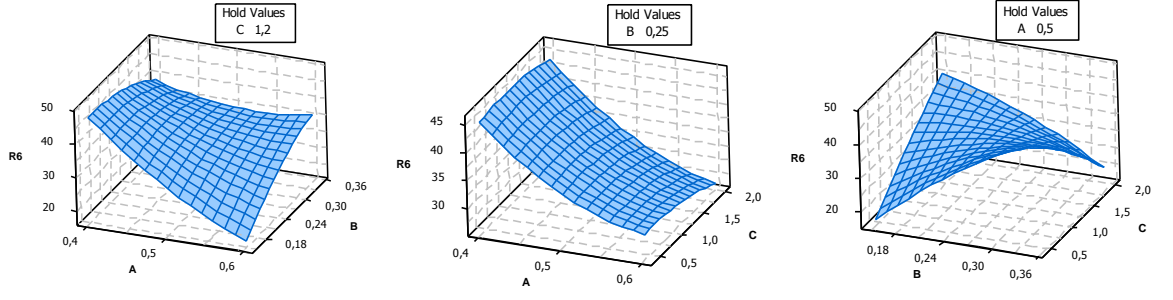
\*5% anlamlılık derecesinde anlamlı (p-değer); (+) Sinerjistik etki ;(-) Antagonistik etki

#### 4.2.5 Cevap yüzey grafikleri

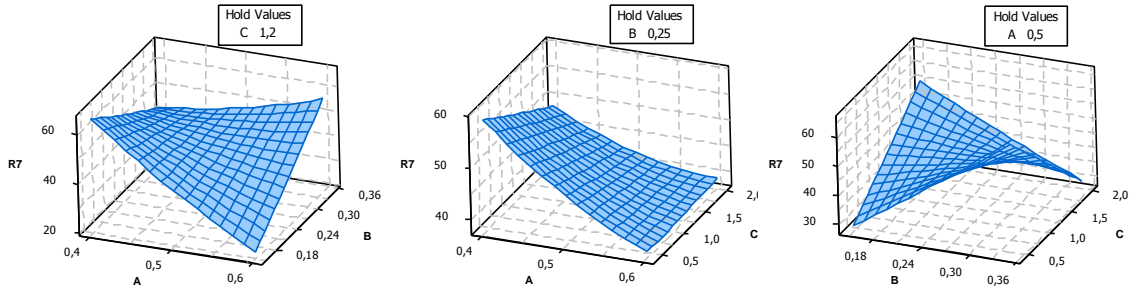
Polinom modellerin yardımı ile tahmini yanıtlar için üç boyutlu cevap yüzey grafikleri MINITAB programında çizilmiştir (Şekil 4.8-4.12). Yanıtlar ile faktör etkileri arasındaki ilişki bu grafikler ile incelenmiştir. Yanıt yüzey grafikleri, bir faktör orta değerinde sabit tutularak, diğer iki faktöre karşı çizilmiştir. Yanıtların tümünün yanıt yüzeyindeki sabit nokta, o yanıt için eğer nokta göstermektedir.



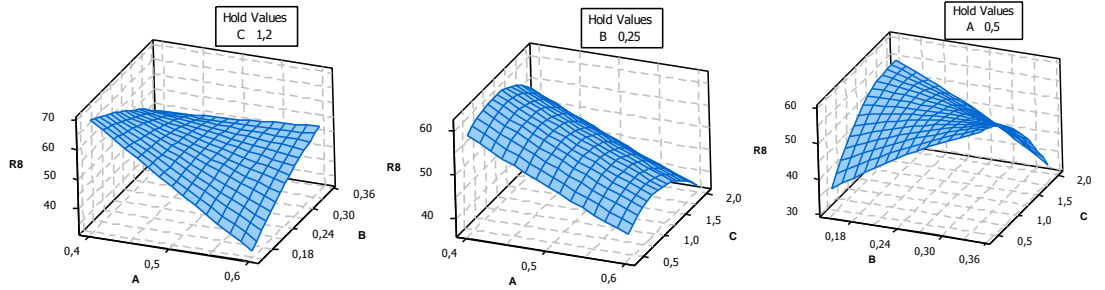
Şekil 4.8 Çökme-yayıma değeri için cevap yüzey grafikleri



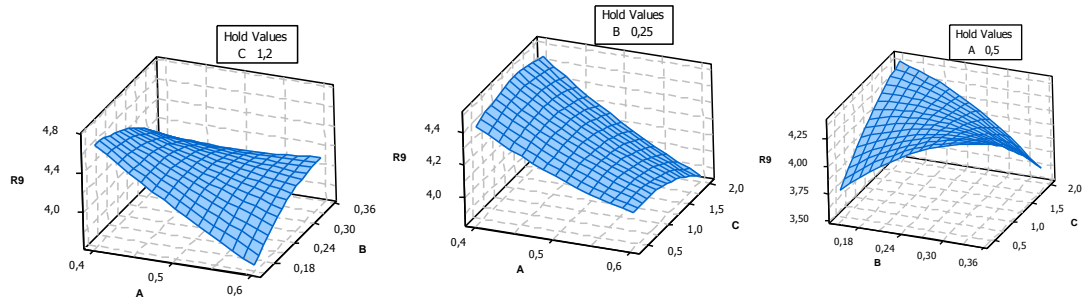
Şekil 4.9 İki günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri



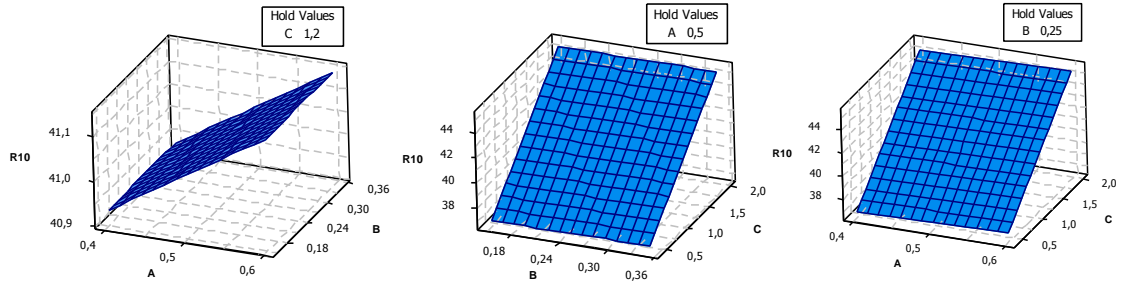
Şekil 4.10 Yedi günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri



Şekil 4.11 Yirmisekiz günlük basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri



Şekil 4.12 Yirmisekiz günlük yarmada çekme basınç dayanımı için cevap yüzey grafikleri



Şekil 4.13 Üretim maliyeti için cevap yüzey grafikleri

### 4.3 Kullanışlı Modeller ile Eniyileme

Eniyileme için kullanılacak yanıtlar; çökme-yayımla değeri (R3), iki günlük basınç dayanımı (R6), yedi günlük basınç dayanımı (R7), yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9) ve üretim maliyeti (R10) olarak belirlenmiştir. Bu modeller ile desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak ikinci eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir. İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı için MINITAB® programı, doğrusal olmayan programlama için ise MATLAB programı uygulanmıştır.

#### 4.3.1 İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı

Cevap yüzey grafiklerine göre, çökme-yayımla değeri (R3), iki günlük basınç dayanımı (R6), yedi günlük basınç dayanımı (R7), yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9) ve üretim maliyeti (R10) yanıtları için nominal tip en iyidir tipindeki İstenirlik fonksiyonu tanımlanmıştır.

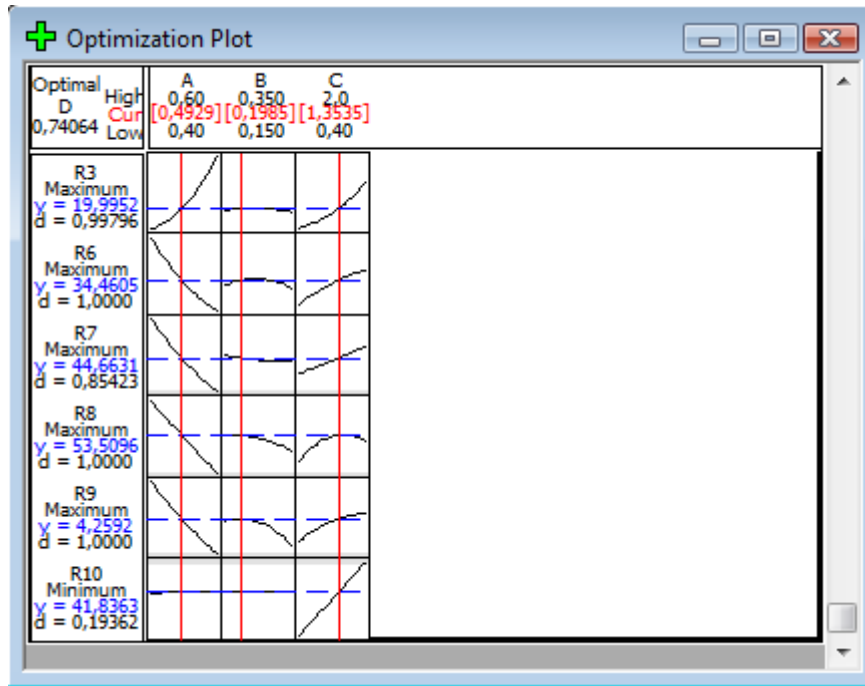
Bu yanıtlar için alt, üst ve arzu edilen seviyeler çizelge 4.23'de sunulmuştur. MINITAB® programı ile hesaplanan bireysel istenirlik değerleri, tüm istenirlik değerleri (D) ve hesaplanan tahmini değerleri yine çizelge 4.23'de sunulmuştur.



Çizelge 4.23 Hazır beton için RSM kullanarak tahmin edilen optimum seviyeler

Yanıt sembolü	Tanım	Seviyeler			Kararlılık noktası	Ağırlık	Kompozit desirability	Tahmini değer	Optimal D
		Düşük	Hedef	Üst					
R3	Çökme yayılma değeri (cm)	1	20	60	Maks.	8	0.997962	19,9952	0.740637
R6	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 2 günlük	24	33	51	Maks.	6	1.000000	34.4605	
R7	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 7 günlük	32	45	54	Maks.	6	0.854230	44.6631	
R8	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 28 günlük	40	50	62	Maks.	9	1.000000	53.5096	
R9	Yarmada çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) 28 günlük	3.9	4.2	4.5	Maks.	5	1.000000	4.2592	
R10	Üretim maliyeti (N/mm <sup>2</sup> )	38	41	45	Min.	7	0.193617	41.8363	

Bu yanıtların hedef değerleri için optimal karışım oranları A= 0.4929, B = 0.1985 ve C= 1.3535 olarak istenirlik fonksiyonu yaklaşımı için MINITAB® programında hesaplanmıştır.



Şekil 4.14 MINITAB® programında elde edilen eniyileme grafiği

### 4.3.3 Karesel programlama

Karesel programlama için belirlenen amaç fonksiyonları çizelge 4.24’de verilmiştir. Faktörlerdeki kısıtlar ise  $0.40 \leq A \leq 0.60$ ,  $0.15 \leq B \leq 0.35$  ve  $0.40 \leq C \leq 2.0$  olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.24 Karesel programlama için amaç fonksiyonları

Kalite karakteristiği	Kullanışlı modeller (kodlanmamış değer ile elde edilen)	Hedef
3	$R3 = 248.39-1083.0A+178.52B-107.8C+1120.45A^2-254.5B^2+10.48C^2-100AB+218.75AC-6.25BC$	Maksimum
6	$R6 = 155.5-521.3A+2.17B+45.77C+280.9A^2-244.1B^2-1.86C^2-665.0AB-6.875AC-156.87BC$	Maksimum
7	$R7 = 274.84-678.9A-481.07B+26.33C+203.64A^2+53.64B^2+0.37C^2+1430AB+36.25AC-193.75BC$	Maksimum
8	$R8 = 167.181-369.94A-245.83B+50.852C+38.86A^2-153.63B^2-8.31C^2+986AB+3.25AC-142BC$	Maksimum
9	$R9 = 7.049-11.511A-1.9432B+1.598C+3.6364A^2-11.364B^2-0.0994C^2+25AB-0.625AC-4.375BC$	Maksimum
10	$R10 = 34.2053+1.067A+0.0028B+5.2502C-0.0061A^2-0.0056B^2-0.0001C^2$	Minimum

Bu yanıtların hedef değerleri için optimal karışım oranları  $A=0.52$ ,  $B=0.25$  ve  $C=1.04$  olarak karesel programlama yaklaşımı için MATLAB® programında hesaplanmıştır.

### 4.3.4 Eniyileme için onay deneyleri

Desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak tahmin edilen optimal karışım oranları ile onay deneyi gerçekleştirilmiştir. Her iki yaklaşım içinde tahmin edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine yakındır.

Çizelge 4.25 Sonuçların onayı için t-test sonuçları (istenirlik fonksiyonu yaklaşımı)

Numara	Yanıtlar	Tahmini değerler	Onay deneyi	Fark (d)	Ortalama, $\bar{d}$	Standart sapma	t, Test İstatistiği‡	$t_{5,0.95}$ ( $t_{n-1,1-\alpha}$ )
1	R3	19,9952	20,0	-0,0048	0,837317	2,89	*0.709688	2.45
2	R6	34,4605	38,2	-3,7395				
3	R7	44,6631	41,1	3,5631				
4	R8	53,5096	49,2	4,3096				
5	R9	4,2592	4,2	0,0592				
6	R10	41,8363	41	0,8363				
Toplam		n=6						

\*Null hipotezi  $H_0=$  Deneysel değerler ile modelden tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir fark yoktur. Çünkü  $0.71 < 2.45$ , null hipotezi red edilemez.‡  $t = \bar{d}\sqrt{n}/s_d$

Çizelge 4.26 Sonuçların onayı için t- test sonuçları (karesel programlama yaklaşımı)

Numara	Yanıtlar	Tahmini değerler	Onay deneyi	Fark (d)	Ortalama, $\bar{d}$	Standart sapma	t, Test İstatistiği‡	$T_{5,0.95}$ ( $t_{n-1,1-\alpha}$ )
1	R3	19,8162	20,0000	-0,1838	0.074	0.520	*0.3486	2.45
2	R6	33,2004	32,6000	0,6004				
3	R7	42,8736	43,6000	-0,7264				
4	R8	51,1762	50,5000	0,6762				
5	R9	4,1794	4,1000	0,0794				
6	R10	40,2189	40,2189	0,0000				
Toplam		n=5						

\*Null hipotezi  $H_0=$  Deneysel değerler ile modelden tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir fark yoktur. Çünkü  $0.3486 < 2.45$ , null hipotezi red edilemez.‡  $t = \bar{d}\sqrt{n}/s_d$

#### 4.3.5 İki yöntemin kesinliğinin karşılaştırması

Ortalama iki değer gibi, iki kesinlikte karşılaştırılabilir. Böyle karşılaştırmalarda da sıfır hipotezinden yararlanılır (Gündüz 2010).

Çizelge 4.27 İki metodun karşılaştırılması için F- testi sonuçları

Numara	Yanıtlar	İFY	KP	Standart sapma İFY, sd1	Standart sapma KP, sd2	F, Test İstatistiği‡	$F_{5,5;0.95} (t_{n-1,m-1,1-\omega})$
1	R3	-0,0048	-0,1838	2.89	0.520	5,556*	5.05
2	R6	-3,7395	0,6004				
3	R7	3,5631	-0,7264				
4	R8	4,3096	0,6762				
5	R9	0,0592	0,0794				
6	R10	0,8363	0,0000				
Toplam		n=6	m=6				

\*Null hipotezi  $H_0$ = iki yöntem ile elde edilen değerler arasında anlamlı bir fark yoktur. Çünkü  $5.55 > 5.05$ , null hipotezi red edilir.‡  $F = s_{d1} / s_{d2}$

Optimal karışım parametrelerinin bulunmasında; karesel programlama yönteminin istenirlik fonksiyonu yaklaşımına göre daha etkili olduğu sonucuna varılabilir.

#### 4.4 MATLAB Aracı ile Grafiksel Kullanıcı Arayüzü İnşası

Grafiksel kullanıcı arayüzü, içeriğinde yer alan nesnelerin kullanılması ile kullanıcıya etkileşim sağlayan ve bir işin veya bir programın koşturulmasını sağlayan grafiksel bir program arayüzüdür. Bunların yanında MATLAB GUI ile MATLAB'in sunduğu hesaplama imkânları kullanılarak da data alımı ve grafik çizimi gibi pek çok işlem gerçekleştirilebilir. Ayrıca oluşturulan arayüz, diğer kullanıcılarında rahatlıkla kullanım imkanı verir.

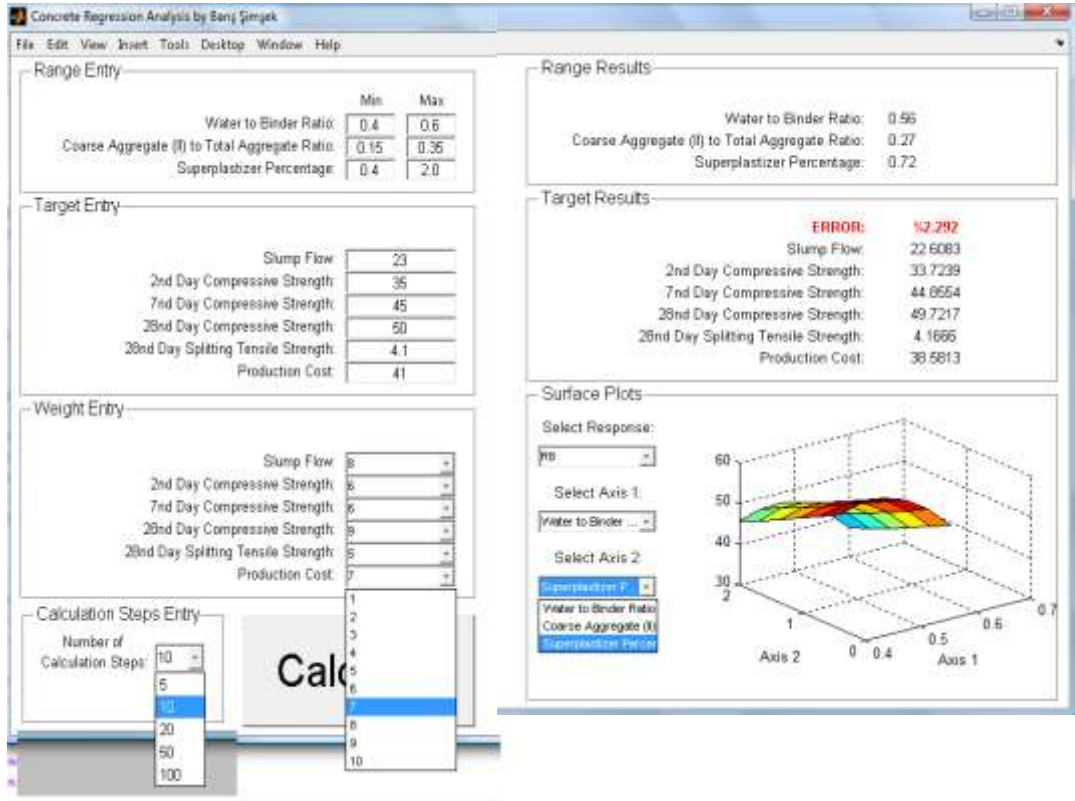
Programlama yöntemi ile MATLAB arayüzü oluşturulurken, tasarım ve geliştirmeye üzerinde daha fazla kontrol için, tüm bileşen özelliklerini ve davranışlarını tanımlayan bir MATLAB kodu oluşturabiliriz. MATLAB bize arayüzü programlama yöntemi ile oluşturabilmek için Windows için ActiveX kontrolleri ve kaydırıcılar, butonlar gibi kullanıcı arayüz kontrollerini içerir (Anonymous 2011).

Çalışmada karesel programlama için kullanılan MATLAB kodu aracılığıyla, MATLAB tabanlı bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur (Şekil 4.15).

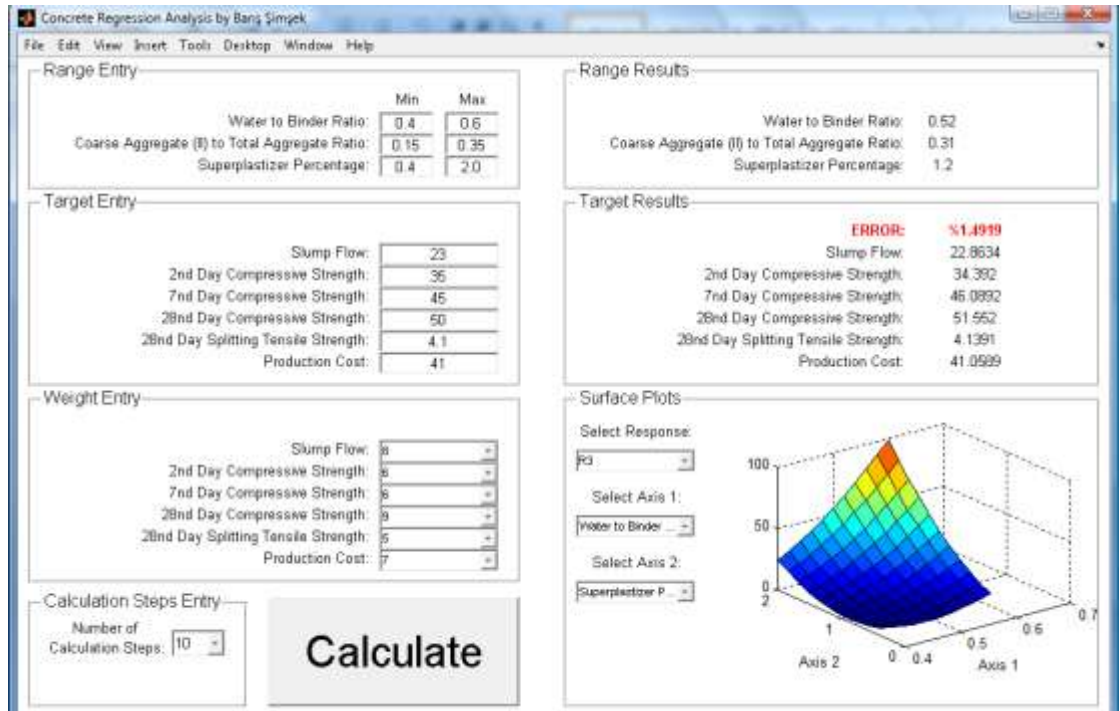
Grafiksel kullanıcı arayüzü aralık, hedef, ağırlık, hesaplama adımları gibi alt menüler içeren paneller ihtiva eder. Her bir beton kalite kriterindeki kararlılığa bağlı olarak yanıt yüzey grafikleri arayüz aracılığı ile görüntülenebilir (Şekil 4.16). Şekil 4.17’de verilen oluşturulan grafiksel arayüzü pop-up menüler, butonlar ve eksenler içerir.

```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function concreteRegression
2 %CONCRETE REGRESSION ANALYSIS GUI
3 clc;
4 close all;
5 clear all;
6 %%
7 global selectedResponses;
8 global RMatrixes;
9 global surfaceAxes;
10 %%
11 white = [1 1 1];
12
13
14 set(0,'units','pixels')
15 Pix_SS = get(0,'MonitorPositions');
16
17 mainWindowHandle = figure('Name','Concrete Regression Analysis by Barış Şimşek');
18 rect = [(Pix_SS(3)-1000)/2, (Pix_SS(4)-600)/2, 1000, 600];
19 set(mainWindowHandle,'Position',rect);
20 set(mainWindowHandle,'NumberTitle','off');
21 set(mainWindowHandle,'Resize','off');
22 %set(mainWindowHandle,'MenuBar','none');
23 set(mainWindowHandle,'Color',white);
24
25
26 %% A B C VALUES ENTRY
27 rangeEntryPanel = uipanel('Title','Range Entry','FontSize',12,...
28     'BackgroundColor','white',...
29     'Position',[.01 .8 .45 .2]);
30
31 A = uicontrol('Style','text',...
32     'Position',[10 50 300 20],...
```

Şekil 4.15 Programlama yöntemi ile oluşturulan MATLAB® tabanlı arayüzünün bir parçası



Şekil 4.16 Geliştirilen esnek grafiksel kullanıcı arayüzü



Şekil 4.17 Beton laboratuvar personeli için geliştirilen esnek grafiksel kullanıcı arayüzü

#### 4.5 Grafiksel Kullanıcı Arayüzünün Doğrulanması

Kullanıcı arayüzü modelinin doğrulanması için GKA modeli ile hesaplanan optimal karışım parametreleri ile on deney gerçekleştirilmiştir. Tüm beton kriterleri için GKA modeli koşturularak elde edilen tahmini değerler ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişki çizelge 4.28 - 4.29'da verilmiştir. Regresyon katsayıları; MATLAB® tabanlı GKA modelinin doğrulanması için bir kanıttır.

Çizelge 4.28 R3, R6 ve R7 için GKA modeli ve deney sonuçları kullanarak hesaplanan R<sup>2</sup> sonuçları

Deney. no.	Deney tasarımı: kodlanmamış değişkenler			<sup>a</sup> R3	<sup>b</sup> R3 <sup>1</sup>	R3 için W <sup>d</sup>	<sup>a</sup> R6	<sup>b</sup> R6	R6 için W	<sup>a</sup> R7	<sup>b</sup> R7	R7 için W
	A	B	C									
1	0.50	0.31	1.36	21.2703	21	7	33.3602	33.0	7	43.4313	43.1	6
2	0.52	0.29	1.04	19.1198	19	5	35.3209	35.1	6	46.4735	45.2	5
3	0.48	0.27	1.36	16.6633	17	9	35.6867	35.1	7	44.2483	44.3	5
4	0.46	0.33	1.52	13.4788	13	8	32.0011	32.0	6	38.836	39.2	4
5	0.54	0.23	0.40	10.6994	11	9	28.181	30.0	9	38.0091	38.0	5
6	0.52	0.21	0.56	9.426	9	8	27.2862	28.0	7	37.0049	36.5	6
7	0.50	0.29	1.04	13.9528	14	7	36.3025	36.1	8	46.8492	47.0	6
8	0.46	0.23	1.20	9.0645	9	9	38.2381	38.0	7	47.7855	47.5	6
9	0.42	0.21	1.52	6.6287	7	10	45.2598	45.0	6	55.2644	54.9	4
10	0.54	0.19	0.40	10.0942	10	8	20.341	20.1	6	28.5627	28.3	5
R <sup>2</sup>				99.6			99.0			99.6		
				99.5 <sup>c</sup>			98.9 <sup>c</sup>			99.6 <sup>c</sup>		

<sup>a</sup> Yanıt için GKA kullanarak elde edilen tahmini değerler

<sup>b</sup> Yanıt için deneylerden elde edilen gözlenen değerler

<sup>c</sup>R<sup>2</sup> (adj.)

<sup>d</sup>W: ağırlıklar

<sup>1</sup>Normal beton için çökme-yayıma sınıfları S2-S5 arası değişiyor, lütfen Ek 5'e bakınız

<sup>2</sup>Normal beton için basınç dayanımı sınıfı C 25/30 – C 50/60 arası değişiyor (Yüksek dayanımlı beton), lütfen Ek 6'ya bakınız

Çizelge 4.29 R8, R9 ve R10 için GKA modeli ve deney sonuçları kullanarak hesaplanan  $R^2$  sonuçları

Deney. no.	Deney tasarımı: kodlanmamış değişkenler			<sup>a</sup> R <sup>2</sup>	<sup>b</sup> R8	R8 için W	<sup>a</sup> R9	<sup>b</sup> R9	R9 için W	<sup>a</sup> R10	<sup>b</sup> R10	R10 için W
	A	B	C									
1	0.50	0.31	1.36	49.9162	50.0	8	4.1031	4.1	5	41.8777	41.8777	8
2	0.52	0.29	1.04	52.6162	52.3	8	4.1942	4.2	4	40.2189	40.2189	8
3	0.48	0.27	1.36	52.5428	54.1	7	4.2234	4.2	9	41.8565	41.8565	9
4	0.46	0.33	1.52	46.1928	45.4	9	4.0074	4.1	7	42.6752	42.6752	8
5	0.54	0.23	0.40	43.1874	43.0	8	4.0361	4.1	7	36.8801	36.8801	7
6	0.52	0.21	0.56	44.7101	44.6	9	4.0345	4.0	5	37.6989	37.6989	8
7	0.50	0.29	1.04	53.4458	53.1	8	4.2183	4.1	7	40.1977	40.1977	7
8	0.46	0.23	1.20	56.5402	55.9	10	4.3423	4.3	5	40.9953	40.9953	6
9	0.42	0.21	1.52	62.0709	62.0	10	4.5554	4.5	4	42.6328	42.6328	8
10	0.54	0.19	0.40	36.576	36.2	10	3.8348	4.0	3	36.8801	36.8801	9
$R^2$				99.3			99.3			100.0		
				99.2 <sup>c</sup>			99.2 <sup>c</sup>			100.0 <sup>c</sup>		

<sup>a</sup> Yanıt için GKA kullanarak elde edilen tahmini değerler

<sup>b</sup> Yanıt için deneylerden elde edilen gözlenen değerler

<sup>c</sup>  $R^2$  (adj.)

<sup>d</sup>W: ağırlıklar

<sup>1</sup>Normal beton için çökme-yayıma sınıfları S2-S5 arası değişiyor, lütfen Ek 5'e bakınız

<sup>2</sup>Normal beton için basınç dayanımı sınıfı C 25/30 – C 50/60 arası değişiyor (Yüksek dayanımlı beton), lütfen Ek 6'ya bakınız



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ilk defa TOPSIS tabanlı Taguchi yöntemi, Cevap yüzey yöntemi ile beraber kullanılmıştır. İki aşamalı eniyileme ve modelleme çalışmasının ilk aşaması olan TOPSIS tabanlı Taguchi yöntemi ile belirlenen kalite kriterleri üzerinde daha etkili faktörler tanımlanmıştır. Bu faktörler, ikinci eniyileme aşaması olan cevap yüzey yönteminde kullanılarak modellerin ikinci dereceden karesel bir modele daha uyumlu olması sağlanmıştır. Yanıtlar üzerinde etkili olan parametre sayısının çok olmasından dolayı, sadece cevap yüzey yöntemi ile eniyileme ve modelleme için çok fazla deney yapılması gerektiğinden hibrid TOPSIS-Taguchi tabanlı cevap yüzey yöntemi deney sayısını mümkün olduğu kadar azaltarak eniyileme ve modelleme imkanı vermesi bakımından seçilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen sistematik eniyileme ve modelleme yapısı bir çok alana uygulanabilir niteliktedir. Bu nedenle kullanılan yöntem birçok araştırmacı için teşvik edici nitelikte olacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen sistematik eniyileme ve modelleme yapısının ilk aşaması TOPSIS-Taguchi tabanlı eniyileme aşamasıdır. Bu aşamada ürün performansının belirlenen kriterler ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Normal hazır betonun kalite karakteristikleri ortalama konvektif ısı aktarım katsayısı, hava içeriği, çökme değeri, teorik ile pratik birim ağırlık farkı, su emme yüzdesi, iki günlük basınç dayanımı, yedi günlük basınç dayanımı, yirmi sekiz günlük basınç dayanımı, yirmisekiz günlük yarmada çekme dayanımı ve üretim maliyeti olarak belirlenmiştir. Bu performans kriterleri üzerinde etkili faktörler ise çimento miktarı, su bağlayıcı oranı, kırma kumun toplam agregaya oranı, I nolu iri agreganın toplam agregaya karışım oranı, süperakışkanlaştırıcı içeriği, uçucu kül miktarı, taze beton karıştırma süresi, polikarboksilat eter bazlı süper akışkanlaştırıcı tipi olarak tanımlanmıştır. Beton kalite karakteristikleri olarak elde edilen veriler Taguchi tasarımında faktör seviyelerinin kombinasyonu olan senaryoların işletilmesi ile elde edilmiştir. Sinyal gürültü oranları bu veriler için hesaplanmıştır. Sinyal gürültü oranları ile bir karar matrisi oluşturduktan sonra TOPSIS yöntemi çok yanıtlı eniyileme problemini tek yanıtlı hale getirmek için kullanılmıştır. Taguchi'nin tek yanıtlı eniyileme yöntemi kullanılarak, yanıtlar üzerinde

etkili olan faktörler varyans analizi ile bulunmuştur. Yine aynı yöntem ile optimal karışım parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen optimal karışım parametreleri ile doğrulama deneyi yapılmıştır. Optimal karışım seviyeleri ile kurumda mevcut kullanılan seviyeler ile üretilen betonların kalite kriterleri karşılaştırılmıştır.

Bu itibarla üretim maliyetinde %1.7'lik tasarruf ile çökme-yayıma değerinde %16, iki günlük basınç dayanımında %6.7, yedi günlük basınç dayanımında %1.9 ve yirmisekiz günlük basınç dayanımında %6.5'lük iyileşme oranı gerçekleştirilmiştir. Bu iyileşme oranları kullanılan yöntemin etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca hazır beton optimal karışım oranlarının bulunması için TOPSIS&Taguchi tabanlı eniyileme çalışmasının etkili olduğu görülmektedir. Bu iyileşme oranları kurumla paylaşılmış ve sistem performansının iyileşmesi için yeni çalışmalar başlamıştır.

TOPSIS-Taguchi tabanlı eniyileme çalışması ile hazır beton kalite karakteristikleri üzerinde etkili parametrelerin optimal seviyeleri hesaplanmıştır. Çimento miktarı ( $X_1$ ),  $350 \text{ kg/m}^3$ ; uçucu kül ( $X_6$ ), ise  $80 \text{ kg/m}^3$ , kırma kum miktarının toplam agrega miktarı oranı ( $X_4$ ), 50% düzeyinde ve taze beton karıştırma süresi ( $X_7$ ), 120 sn olarak bütün cevap yüzey deneylerinde sabit alınmıştır. Yine modelleme aşamasında bütün deneylerde PCE III tipi süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Modellemede kullanılacak faktörler ise, su/bağlayıcı oranı ( $X_2$ ), 100 kg bağlayıcıya (çimento + uçucu kül miktarı) katılan süperplastikleştirici yüzdesi olarak tanımlanan süperakışkanlaştırıcı içeriğidir ( $X_3$ ) ve I nolu agrega miktarının toplam agrega miktarına oranı ( $X_5$ ) olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerin seçiminde kurumdaki uzman tavsiyeleri; yol betonundan, yüksek dayanımlı betona kadar geniş bir aralıkta beton tipi üretimi için modellerin kullanışlı olması ve Faktör etkileri için vektör normalizasyonu ile ana etkiler grafiği beraber değerlendirilerek karar verilmiştir. Cevap yüzey yöntemi ile tasarlanan deneylerde faktör sayısı 4'den fazla olduğunda deney sayısı katlanarak artmaktadır. Bu nedenle deney sayısını azaltarak cevap yüzey yönteminin ilk aşaması olan eleme denemeleri ve bölge araştırması bölümü TOPSIS-Taguchi tabanlı eniyileme çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Böylece, cevap yüzey yönteminin en büyük dezavantajı olan, yanıtların ikinci dereceden çok terimli bir modele daha uyumlu olması sağlanmıştır.

Beton kalite karakteristikleri üzerinde etkili 3 faktör için merkezi karma tasarıma dayanan cevap yüzey yöntemi ile 20 deney gerçekleştirmiştir. Varyans analizleri ile çökme-yayımla değeri (R3), iki günlük basınç dayanımı (R6), yedi günlük basınç dayanımı (R7), yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8) ve yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9) yanıtları için elde edilen karesel regresyon modelleri sırası ile 0.000, 0.014, 0.025, 0.006 ve 0.008 p-değerleri ile %95 güven seviyesinde önemli bulunmuştur. Optimal karışım oranlarının olası farklı kombinasyonlarının keşfi için yeterli görüldüğünden, Optimal karışım oranlarının Desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak tahmin etmek için bu modellerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapılan varyans analizi ile çökme-yayımla değerinin (R3), su bağlayıcı oranının karesi ile ( $A^2$ ) ve süperakışkanlaştırıcı içeriğinin karesi ile ( $C^2$ ), sinerjistik olarak 0.000 ve 0.002 p-değeri ile önemli şekilde etkilendiği belirlenmiştir. Çökme-yayımla değeri (R3), 0.002 p-değeri ile süperakışkanlaştırıcı içeriğinin (B) ve agrega karışım oranı (C) etkileşiminden önemli oranda sinerjistik olarak etkilenmektedir. Çökme-yayımla değeri (R3), su bağlayıcı oranı(A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği ile (C), antagonistik olarak 0.000 ve 0.000 p-değeri ile önemli şekilde etkilendiği gözlenmiştir.

İki günlük basınç dayanımı (R6), su bağlayıcı oranı (A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriğinin (C) etkileşimi ile, antagonistik olarak 0.021 p-değeri ile önemli şekilde etkilendiği belirlenmiştir.

Yedi günlük basınç dayanımı (R7), su bağlayıcı oranı ile (A) ve agrega karışım oranı ile (B), sinerjistik olarak sırası ile 0.003 ve 0.08 p-değeri ile önemli şekilde etkilenmektedir. Yedi günlük basınç dayanımı (R7), 0.018 p-değeri ile su bağlayıcı oranı ile (A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) etkileşiminden önemli oranda antagonistik olarak etkilenmektedir. Yedi günlük basınç dayanımı (R7), 0.026 p-değeri ile agrega karışım oranı ile (B) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) etkileşiminden önemli oranda sinerjistik olarak etkilenmektedir.

Yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), su bağlayıcı oranı ile (A) antagonistik olarak 0.001 p-değeri ile önemli şekilde etkilenmektedir. Yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), 0.047 p-değeri ile su bağlayıcı oranının karesi ile (A<sup>2</sup>) önemli oranda antagonistik olarak etkilenmektedir. Yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), 0.021 p-değeri ile su bağlayıcı oranı ile (A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) etkileşiminden önemli oranda antagonistik olarak etkilenmektedir. Yirmisekiz günlük basınç dayanımı (R8), 0.039 p-değeri ile su bağlayıcı oranı ile (A) ve agrega karışım oranı ile (B) etkileşiminden önemli oranda sinerjistik olarak etkilenmektedir.

Yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9), su bağlayıcı oranı ile (A) antagonistik olarak 0.001 p-değeri ile önemli şekilde etkilenmektedir. Yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9), 0.018 p-değeri ile su bağlayıcı oranı ile (A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) etkileşiminden önemli oranda antagonistik olarak etkilenmektedir. Yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı (R9), 0.071 p-değeri ile su bağlayıcı oranı ile (A) ve agrega karışım oranı ile (B) etkileşiminden önemli oranda sinerjistik olarak etkilenmektedir.

Yanıtları için faktör etkileri ve ilişkili p-değerlerinden su bağlayıcı oranının (A) yanıtlar üzerinde en büyük varyansa sebep olduğu bu nedenle yanıtlar üzerinde en etkili faktör olduğu söylenebilir (Cho ve Zoh 2007). Agrega karışım oranı (B) ise ikinci önemli faktördür. Agrega karışım oranı (B) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) arasındaki etkileşim, başta çökme-yayılma değeri olmak üzere, yanıtlar üzerinde en etkili etkileşim olduğu görülmektedir. İkinci dereceden önemli etkileşim ise su bağlayıcı oranının (A) ve süperakışkanlaştırıcı içeriği (C) arasındaki etkileşimdir. Bu etkileşim beton basınç dayanımını üzerinde ters etkiye neden olmaktadır.

Aşırı veya düşük su bağlayıcı oranının (A) daha düşük konvektif ısı aktarımına sahip olması bakımından daha düşük ısı aktarımına sebep olduğu görülmektedir. I nolu agreganın beton karışımında artması yüksek ısı kaybına (yüksek ısı aktarım katsayısı) ve su emme yüzdesine neden olduğu belirlenmiştir. Beton içindeki hava içeriği yüzdesi, su bağlayıcı oranının (A) artması ve süperakışkanlaştırıcı içeriğinin (C) artması ile azalmaktadır. Çökme-yayılma değeri su bağlayıcı (A) oranının artması ile artmıştır.

Bulgulardan I nolu ve II nolu agreganın eşit oranda karıştırılması gerektiği yorumu da çıkarılabilir. Basınç dayanımı su bağlayıcı (A) oranının artması ile azalırken, I nolu agrega oranınının (B) artması ile artmaktadır.

Kullanışlı modeller ile desirability (istenirlik) fonksiyonu yaklaşımı ve doğrusal olmayan programlama kullanarak ikinci eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada iki yönteminde optimal karışım oranlarının bulunmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen F-testi ile nispeten karesel programlama tekniğinin optimal karışım parametrelerinin bulunmasında biraz daha kesin sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bununla beraber karesel programlamanın bir diğer avantajı; özellikle maliyet kısıtı veya kullanılan hammadde kısıtlarını eklenebilmesi açısından çalışmalarda doğrusal olmayan programlama tekniğinin daha esnek olması bakımından daha kullanışlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca çalışmada, deneyler ile onaylanan ve karesel programlama için oluşturulan MATLAB kodu grafiksel kullanıcı arayüzünün oluşturulması için kullanılmıştır. Geliştirilen GKA sadece laboratuvar personelini ve karar vericileri birçok işlemden kurtarmakla kalmaz, aynı zamanda kullanıcı girdilerin çeşitli kombinasyonlarını vererek ve kalite kriterlerine değişik ağırlıklar atayarak, sadece bir butona basarak tüm hesaplamaları yapma imkanı verecektir. Yine geliştirilen arayüz karar vericilere tek bir tuş ile istenilen yanıtlar ile istenilen faktörleri 3-boyutlu grafikler ile analiz yapma imkanı verir. Bu nedenle, laboratuvar personeli tarafından deneyler ile doğrulanan, oluşturulan MATLAB tabanlı grafiksel kullanıcı arayüzü optimal karışım parametrelerinin belirlenmesi ve karışım oranlarının eniyileme problemlerinin çözümünde oldukça fonksiyonel ve etkilidir. GKA modeli laboratuvar teknisyenlerine beton üretim sürecini izleme imkanı ve zamandan tasarruf etme imkanı verecektir. GKA modeli yine laboratuvar teknisyenlerine, S1'den S5'e çökme yayılma sınıfında C30/37'den C 50/60'a (yüksek dayanımlı beton) beton dayanımı sınıfında optimal karışım parametrelerini bulma imkanı verir.

Bu çalışma bir hazır beton tesisinde çok yanıtlı eniyileme problemini hibrid TOPSIS-Taguchi tabanlı cevap yüzey yöntemi ile çözmeyi amaçlamıştır. Yüksek korelasyona

sahip ikinci dereceden modeller beton kalitesinin iyileştirmesi için kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca oluşturulan GKA modeli beton üretim performansını artırmak için kullanılmaktadır.

Kaliteli hazır betonun üretilmesi ancak ısı yalıtımı, ses yalıtımı, su yalıtımı, dayanım, kalıcılık, akışkanlık gibi müşterinin hazır betonda beklediği özelliklerin tasarım aşamasında dikkate alınması ile mümkün olabilir.

## KAYNAKLAR

- Anonim. 1981. TS 3624. Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Deneyi. Türk Standart Enstitüsü, 9 s., Ankara.
- Anonim. 1996. DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Çimento hammaddeleri ve yapı malzemeleri, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı., Cilt 2, 183 s., Ankara.
- Anonim. 2000. DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Çimento ve hazır beton, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı., 121 s., Ankara.
- Anonim. 2001. DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Çimento hammaddeleri, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı., Cilt 1, 54 s., Ankara.
- Anonim. 2002a. TS EN 206-1. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standart Enstitüsü, 63 s., Ankara.
- Anonim. 2002b. TS EN 12390-1. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 1: Deney Numunesi Ve Kalıplarının Şekil, Boyut Ve Diğer Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, 7 s., Ankara.
- Anonim. 2002c. TS EN 12390-4. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, 18 s., Ankara.
- Anonymous. 1994. ACI Committee 116. Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.
- Anonymous. 2000. ASTM C 618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standard, No. 04.02.
- Anonymous. 2002. ASTM, Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete (ASTM C494-C494M-99), 2002 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04-02, Concrete and Aggregates.
- Anonymous. 2011. The Math Works, Inc. Getting Started Guide R2011b. Programming a GUI: chapter: 6-7, Massachusetts, USA.
- Anonymous.2014. Web sitesi. Documentation Center: What is a GUI, R2014a, [http://www.mathworks.com/help/matlab/creating\\_guis/what-is-a\\_gui.html](http://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/what-is-a_gui.html). Erişim tarihi: 04.11.2014.

- Anonim. 2003a. TS EN 1008. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 18s., Ankara.
- Anonim. 2003b. TS EN 12390-3. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 12 s., Ankara.
- Anonim. 2008a. DPT. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı., Cilt 1, 364 s., Ankara.
- Anonim. 2008b. TS EN 450-1+A1. Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, 32 s., Ankara.
- Anonim. 2009. TS 706 EN 12620+A1. Beton Agregaları. Türk Standart Enstitüsü, 50s., Ankara.
- Anonim. 2010a. TS EN 12350-6. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: yoğunluk. Türk Standart Enstitüsü, 6 s., Ankara.
- Anonim. 2010b. TS EN 197-1, 2002, Çimento-Bölüm 1: “Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Anonim. 2010c. TS EN 12350-7. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 7: hava muhtevasının tayini-basınç yöntemleri. Türk Standart Enstitüsü, 18 s., Ankara.
- Anonim. 2010d. TS EN 12350-2. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, 5 s., Ankara.
- Anonim. 2010d. TS EN 12390-6. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımlarının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 10 s., Ankara.
- Anonim. 2012. 2011 yılı hazır beton sektörü istatistikleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, 6 s., İstanbul.
- Anonim.2012. Betonkatkı Maddeleri. (<http://www.kalitekontrol.net/beton/beton-katki-maddeleri.html>), Erişim Tarihi: 13.09.2012.
- Anonim. 2012. Hazır beton, teknik bilgiler, Karışım suyu. (<http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=26>), Erişim Tarihi: 13.09.2012.
- Anonim. 2013. TS EN 934-2+A1. Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, 24 s., Ankara.



- Aitcin, P.C. 1998. High Performance Concrete. E&FN Spon, University Of Sherbrooke, Canada.
- Albuquerque, A.T., Debs, M.K.E and Melo, M.A.C. 2012. A cost optimization-based design of precast concrete floors using genetic algorithms. *Expert Systems with Applications*, Vol.22, 348–356.
- Aldahdooh, M.A.A., Bunnori, N.M. and Johari, M.A.M. 2013. Evaluation of ultra-high performance-fiber reinforced concrete binder content using the response surface method *Materials and Design* 52, 957–965.
- Alqadi, A.N.S., Mustapha, K.N.B. 2013. Development of self-compacting concrete using contrast constant factorial design. *Journal of King Saud University, Engineering Sciences*, Vol.25(2), 105–112.
- Akçay, B. and Taşdemir, M.A. 2009. Optimisation of using lightweight aggregates in mitigating autogenous deformation of concrete. *Construction and Building Materials*, vol.23, 353–363.
- Akdeniz, F. 2009. Olasılık ve İstatistik. Nobel Kitabevi, 14. Baskı, İstanbul.
- Akman, S. 1999. Role of Admixtures on the Properties of Fresh High Performance Concrete. RILEM Symposium , Mexico.
- Akram, T., Memon, A.S. and Obaid, H. 2009. Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash. *Construction and Building Materials*, vol. 23, 703–712.
- Apaydın, M.S. 2007. Farklı kökenli agregaların beton özelliklerine etkisi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 73 s., İstanbul.
- Arıöz, Ö., Arslan, G., Tuncan and M., Kıvrak, S. 2007. Web-based quality control of ready mixed concrete. *Building and Environment*, Vol. 42, 1465-1470.
- Asiltürk, İ. and Neşeli, S. 2012. Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis. *Measurement*, Vol.45, 785-794.
- Atar, N. 2006. Suda Çözünen Polimerlerin Çimento ve Beton Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi, 76 s., Kütahya.
- Atayılmaz, Ş.Ö. 2010. Transient and steady-state natural convection heat transfer from a heated horizontal concrete cylinder. *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 49, 1933-1943.

- Ballabio, D., and Vasighi, M. (2012). A MATLAB toolbox for Self Organizing Maps and supervised neural network learning strategies. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 118, 24-32.
- Bayramov, F., Taşdemir, C. and Taşdemir, M.A. 2004. Optimisation of steel fibre reinforced concretes by means of statistical response surface method. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 26, 665–675.
- Bazaraa, M.S., Sherali, H.D. and Shetty, C.M. 1993. *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. John Wiley and Sons, 638 p.
- Beşer, M. 2005. Kuadratik Programlama Tabanlı Modelleme Yardımı ile Portföy Optimizasyonu ve İMKB-30 Portföy Oluşturma Uygulaması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, 61 s., İstanbul.
- Biagini, S. 1995. High-range water reducers(superplasticizers), RILEM Report No:10, Application of Admixture in Concrete, ed. A.M. Paillère E&FN Span., 48-56.
- Biswas S.A., Datta S., Bhaumik S. and Majumdar G. 2009. Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi Response Optimization: a case study in submerged arc welding(SAW). *International Conference on Mechanical Engineering, ICME 09-RT-35*, 1-5.
- Box, G.E.P. and Bisgaard, S. 1987. *The Scientific Context of Quality Improvement*. *Quality Progress*, no.25, pp.54-61.
- Buedo, J.F., Sober, M.M., Mohmara, Y.A., Olivas, E.S., Martinez, J.C.B., and Martinez, J.M.M. (2013). Matlab-based interface for the simultaneous acquisition of force measures and Doppler ultrasound muscular images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 110, 76 – 81.
- Büyükalaca, O. and Bulut, H. 2004. Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey. *Applied Energy*, Vol.77, 187–204.
- Can, M. 2007. İstatistiksel süreç kontrolünde deney tasarımı süreç optimizasyonu. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi, 107 s., Konya.
- Castilho, V.C., Debs, M.K.E. and Nicoletti, M.C. 2007. Using a modified genetic algorithm to minimize the production costs for slabs of precast prestressed concrete joists. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 20, 519-530.
- Chang, C.Y., Huang, R., Lee, P.C. and Weng, T.L. 2011. Application of a weighted Grey-Taguchi method for optimizing recycled aggregate concrete mixtures. *Cement& Concrete Composites*, Vol. 33, 1038–1049.

- Chang, K.Y. 2011. The optimal design for PEMFC modeling based on Taguchi method and genetic algorithm neural networks. *International journal of hydrogen energy*, Vol. 36, 13683 -13694.
- Cho H., Zoh, D.K. 2007. Photocatalytic degradation of azo dye (Reactive Red 120) in TiO<sub>2</sub>/UV system: Optimization and modeling using a response surface methodology (RSM) based on the central composite design. *Dyes and Pigments*, vol.75, 533-543.
- Chong, M.N., Zhu, H.Y. and Jin, B. 2010. Response surface optimization of photocatalytic process for degradation of Congo Red using H-titanate nanofiber catalyst. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 156, 278–285.
- Cihan, M.T., Güner, A. and Yüzer, N. 2013. Response surfaces for compressive strength of concrete *Construction and Building Materials*, Vol. 40, 763–774.
- Colleparidi, M. 2005. *Admixtures-Enhancing Concrete Performance*. 6th Int. Congress on Global Construction and Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, 2005.
- Çayeli Beton. 2012. Hazır beton, sertleşmiş beton özellikleri. (<http://www.cayelibeton.com.tr/hbeton06.php>), Erişim Tarihi: 15.09.2012.
- Çömlekçi, N. 2003. *Deney tasarımı ilke ve teknikleri*. Alfa yayınları, İstanbul.
- Datta, S., Nandi, G. and Bandyopadhyay, A. 2009. Application of entropy measurement technique in grey based Taguchi method for solution of correlated multiple response optimization problems: A case study in welding. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 28, 55-63.
- Daszykowski, M., Serneels, S., Kaczmarek, K., Espen, P.V., Croux, C., and Walczak, B. (2007). TOMCAT: A MATLAB toolbox for multivariate calibration techniques. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 85, 269 - 277.
- Deligiannis, V. and Manesis, S. 2008. Concrete batching and mixing plants: A new modeling and control approach based on global automata. *Automation in Construction*, Vol. 17, 368–376.
- Dellino, G., Kleijnen, J.P.C. and Meloni, C. 2009. Robust optimization in simulation: Taguchi and Response Surface Methodology. *Int. J. Production Economics*, Vol. 125, 52–59.
- Demir, H. 2010. Experimental and numerical studies of natural convection from horizontal concrete cylinder heated with a cylindrical heat source. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, 422–429.
- Demiryürek, B.E. 2007. *Türkiye’de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme*. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 176 s., İstanbul.

- Dicle Eser Yapı. 2012. Beton Katkılarının Değerlendirilmesinde ve Kalite Kontrolünde Önemli Parametreler.([http://www.dicleeseryapi.com/documents/Beton\\_Katkileri.pdf](http://www.dicleeseryapi.com/documents/Beton_Katkileri.pdf)), Erişim Tarihi: 13.09.2012.
- Dvorkin, L., Dvorkin, O. Zhitkovsky, V. And Ribakov, Y. 2011. A method for optimal design of steel fiber reinforced concrete composition. *Materials and Design*, Vol. 32, 3254-3262.
- Duda, H. W. 1985. *Cement data book, Volume 1: International Process Engineering in the Cement Industry*, 656 p., Bauverlag GmbH-Wiesbaden und Berlin.
- Erdoğan, T. Y. 1995. Türkiye’de üretilen çimentolar, özellikleri ve kullanımları, Çimento sempozyumu, TMMOB inşaat ve kimya mühendisleri odası, 67- 68 s., Ankara.
- Erdoğan, T.Y. 1997. *Admixtures for Concrete*. Middle East Technical University Press, 188 s., Ankara.
- Erdogan, T. Y., 2003. *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.S Yayını.
- Eroğlu, L., Şahmaran, M., Yaman Ö.İ. ve Tokyay, M. 2007. Karışım parametrelerinin kendiliğinden yerleşen betonun taze özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. II. Yapılarda kimyasal katkıları sempozyumu, 12-13 Nisan, 249-259, Ankara.
- Eş, A. 2008. Sürdürülebilirlik ve firma düzeyinde sürdürülebilirlik performans ölçümü. Yüksek lisans tezi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, 123 s., Bolu.
- Gitlow, H., Oppenheim, A. and Oppenheim, R. 1995. *Quality Management*, Homewood IL., US., Irwin Inc.
- Gunter, B. 1987. A Perspective on the Taguchi Method. *Quality Progress*, pp. 44-52.
- Gupta, R., Bera, J.N., and Mitra, M. (2010). Development of an embedded system and MATLAB-based GUI for online acquisition and analysis of ECG signal. *Measurement* 43, 1119 – 1126.
- Gülsahin, S. ve Akkaya, Y. 2006. Taze Betonda Segregasyonun Ölçülmesi ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi. *Sika Teknik Bülten*, Sayı:2, İstanbul.
- Gündüz, T. 2010. *Kimyacılar için İstatistik*. Gazi Kitabevi, 2. Baskı, Ankara.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Algın, Z. and Mermerdaş, K. 2014. Optimization of concrete mixture with hybrid blends of metakaolin and fly ash using response surface methodology. *Composites: Part B*, Vol.60, 707-715.

- Hinislioglu, S. and Bayrak, O.U. 2004. Optimization of early flexural strength of pavement concrete with silica fume and fly ash by the Taguchi method. *Civil Engineering and Environmental System*, Vol. 21, no. 2, 79–90.
- Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer*. McGraw Hill Company, 10th ed, NY.
- Hoyland, A. and Rausand, M. 2003. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. 2.ed, Wiley series in Probability and Mathematical Methods, USA.
- Hou, T.H, Su, C.H. and Liu, W.L. 2007. Parameters optimization of a nano-particle wet milling process using the Taguchi method, response surface method and genetic algorithm. *Powder Technology*, Vol.173, 153-162.
- Huang, J.T. and Liao, Y.S. 2003. Optimization of machining parameters of wire –EDM based on grey relational and statistical analyses. *International Journal of Production Research*, Vol. 41, no.8, 1707-1720.
- Hwang, C. L. and Yoon, P. 1981. *Multiple Attribute Decision Making In: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Springer, Verlag-Berlin, Germany.
- İç, Y.T. 2012. An experimental design approach using TOPSIS method for the selection of computer-integrated manufacturing technologies, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 28, 245–256
- İç, Y.T. ve Yıldırım, S. 2012. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile birlikte Taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 27, no.2, 447-458. s.
- Jaumot, J., and Tauler, R. (2010). MVC2: MCR-BANDS: A user friendly MATLAB program for the evaluation of rotation ambiguities in Multivariate Curve Resolution. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 103, 96-107.
- Jean, M.D., Lin, B.T. and Chou, J.H. 2006. Design of a fuzzy logic approach for optimization reinforced zirconia depositions using plasma sprayings. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 201, 3129–3138.
- Jeong, I.J. and Kim, K.J. 2009. An interactive desirability function method to multiresponse optimization. *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, 412-426.
- Kaçar, S. ve Çankaya, İ. 2012. Matlab ve ASP.NET tabanlı web arayüzü kullanılarak doğrusal olmayan sistemlerin analizi. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 27, No: 4, 795-806*.
- Karahan, O. 2006. Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. *Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, 256 s., Adana*.
- Kasapoğlu, Ö.A.2007. Talaşlı imalatta bir kalite karakteristiğinin modellenmesi. *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 191 s., İstanbul*.

- Khuri, A.I. and Cornell, J.A.1996. Response Surface Design and Analysis”, Second Edition, USA,NY:Statistics Textbook and monographs,Vol 152.
- Kılınç, C. 2007. Katkı dozajı ve taze beton sıcaklığının kendinden yerleşen beton özelliklerine etkisi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 92 s., İstanbul.
- Kobu, B. Üretim Yönetimi, İstanbul, İşletme İktisadı Enstitüsü Yayınları, 1998, İstanbul.
- Kocaçıtak, S. 1978. Çimento ve Deneyleeri. D.S.İ. Yayın No: 882, Ankara.
- Koç, B. ve Ertekin, K.F. 2012. Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. Gıda Dergisi, cilt 35, no.1.
- Koçkal, N.U. and Özturan, T. 2011. Optimization of properties of fly ash aggregates for high-strength lightweight concrete production. Materials and Design, Vol.32, 3586-3593.
- Köksal, F., Şahin, Y., Gencel, O.and Yiğit, İ. 2013. Fracture enegy-based optimisation of steel fibre reinforced concretes. Engineering Fracture Mechanics, Vol.107, 29-37.
- Köksoy, O. 2001. Taguchi ve Cevap Yüzey Felsefesinin Birleştirilmesi Problem ve Çözüm Stratejileri. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kuo, Y., Yang,T. and Huang, G.W. 2008. The use of a grey-based Taguchi method for optimizing multi-response simulation problems. Engineering Optimization, vol. 40, no.6, 517–528.
- Kovach, J. and Cho, B.R. 2009. A D-optimal design approach to constrained multi response robust design with prioritized mean and variance considerations. Computers & Industrial Engineering, Vol.57, 237–245.
- Kwak, J.S. 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, 327–334.
- Lan, T.S. 2009. Taguchi optimization of multi objective CNC machining using TOPSIS. Information Technology Journal, Vol. 8, no.6, 917- 922.
- Lau, C.S., Abdullah, M.Z. and Ani, C.F. 2012. Optimization modeling of the cooling stage of reflow soldering process for ball grid array package using the grey-based Taguchi method. Microelectronics Reliability, Vol. 52, 1143–1152
- Law, A. 2007. Simulation Modelling and Analysis. McGraw-Hill, 4.ed., USA.

- Lawson, D. 2005. Engineering disasters; lessons to be learned, professional engineering, ASME Press, 399 p., N.J., A.B.D.
- Lea, F. M. 1956. The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold Ltd., London.
- Lee, Y., Choi, M.S., Yi, S.T. and Kim, J.K. 2009. Experimental study on the convective heat transfer coefficient of early-age concrete. Cement & Concrete Composites, Vol. 31, 60–71.
- Liao, H.C. 2003. Using PCR-TOPSIS to optimise Taguchi's multi response problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, 649-655.
- Lin, Y.H., Tyan, Y.Y., Chang, T.P. and Chang, C.Y. 2004. An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Research, Vol. 34, 1373–1380.
- Logothesis, N. 1992. Managing for Total Quality from Deming to Taguchi and SPC. Prentice-Hall, Pearson Education Inc., NY., USA.
- Lovato, P.S., Possan, E., Molin, D.C.C, Masuero, A.B. and Ribeiro, J.L.D. 2012. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. Construction and Building Materials, Vol. 26, 437–447.
- Luenberger, D.G. 1984. Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, Reading, 491 p.
- Mehta, P.K. 1983. Pozzolanic and Cementitious By-products as Mineral Admixtures for Concrete-a Critical Review, ACI SP-79.
- Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D. 2003. Concrete. Second Edition, 644 s., Prentice-Hall, Pearson Education Inc.
- Mohammed, B.S., Fang, O.C., Hossain, K.M.A. and Lachemi, M. 2012. Mix proportioning of concrete containing paper mill residuals using response surface methodology. Construction and Building Materials, vol.35, 63–68.
- Moir, G.K. 2003. Cements. In: Newman J, Choo BS, eds. Advanced Concrete Technology; Constituent Materials. Oxford, UK: Elsevier Butterworth Heinemann, pp. 3–45.
- Montgomery, C.Douglas. 2005. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, 6Edition, USA.
- Montgomery, C.Douglas. 2009. Statistical Quality Control: A Modern Introduction. John Wiley and Sons, 6Edition, USA.

- Muthukumar, M., Mohan, D. and Rajendran, M. 2003. Optimization of mix proportions of mineral aggregates using Box-Behnken design of experiments. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 25, 751-758.
- Muthukumar, M. and Mohan, D. 2004. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion. *European Polymer Journal*, Vol. 40, 2167–2177.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.C. 1995. *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, NY.
- Nambiar, E.K.K and Ramamurthy, K. 2006. Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology. *Cement & Concrete Composites*, Vol.28, 752–760.
- Narendra, H., Muthu, K.U., Al-Mattarneh, H., Naidu, N.V.R and Sowmya, B.S. 2008. Optimization of Self Compacting Concrete Mixes using Taguchi Method. *ICCBT-A*, Vol.17, pp. 191-204, Malaysia.
- Neville, A.M. 1981. *Properties Of Concrete*. Third Edition, Longman Scientific and Technical.
- Noori, Hamid and Russell Radford.1995. *Production and Operations Management*. New York, McGraw- Hill, Inc.,186-190.
- Noordin, M.Y., Venkatesh, V.C., Sharif, S., Elting, S. and Abdullah, A. 2004. Application of Response Surface Methodology in Describing the Performance of Coated Carbide Tools When Turning AISI 1045 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, s.46-58.
- Nunes, S., Figueiras, H., Oliveira, P.M., Coutinho, J.S. and Figueiras, J . 2006. A methodology to assess robustness of SCC mixtures. *Cement and Concrete Research*, Vol.36, 2115–2122.
- O’Mahoney, D.C., Katnam, K.B., O’Dowd, N.P., McCarthy, C.T. and Young, T.M. 2013. Taguchi analysis of bonded composite single-lap joints using a combined interface–adhesive damage model. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Vol. 40, 168–178.
- Olçay, A.1998. *Kimyasal Teknolojiler*. A.Ü. Fen Fakültesi, Ankara.
- Olivia, M. and Nikraz, H. 2012. Properties of fly ash geopolymer concrete designed by Taguchi method. *Materials and Design*, Vol. 36, 191–198.
- Olivieri, A.C., Wu, H.L. and Yu, R.Q. 2009. MVC2: A MATLAB graphical interface toolbox for second-order multivariate calibration. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 96, 246- 251.



- Olivieri, A.C., Wu, H.L. and Yu, R.Q. 2012. MVC3: A MATLAB graphical interface toolbox for third-order multivariate calibration. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 116: 9 -16.
- Orhunbilge, N. 1997. *Örnekleme Yöntemleri ve Hipotez Testleri*, İstanbul, İ.Ü. Basım ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Orhunbilge, N. 2002. *Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi*, İstanbul, İ.Ü. Basım ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Ozbay, E., Oztas, A., Baykasoglu, A. ve Ozbebek, H. 2009. Investigating mix proportions of high strength self compacting concrete by using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, vol. 23, 694–702.
- Özdamar, Kazım. 2004. *İstatistiksel Paket Programlar ile Veri Analizi 1*. 5.Baskı, Kaan Kitabevi, 528-536.
- Özdemir, A. 2002. Bazı Yapı Malzemelerin Kapiler Su Emme Potansiyelleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Vol. 26, Cilt 1, Konya.
- Özdemir, G. 2006. *Tasarımla Gelen Kalite. YA/EM Yöneylem Arştırması/ Endüstri Mühendisliği, XXVI. Ulusal Kongresi, 3-5 Temmuz 2006, Kocaeli, s.249.*
- Özgür, S. 1996. *Türkiye çimento sanayii ve üretilen çimento türleri*. Yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi, 164s., Balıkesir.
- Özkan Ö. 2007. *Personel Seçiminde Kara Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: AHP, Electre ve Topsis Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Özkul, H., Tasdemir, M.A., Tokyay, M. ve Uyan, M. 1999. *Her yönüyle beton*. THBB, 117 s., İstanbul.
- Özkurt, Ö.1999. *Deney Tasarımları ve İstatistiksel Veri Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztop, M.2007. *Taguchi deney tasarımı yöntemi ile Alüminyum ekstrüzyon prosesinin iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Paiva, H.M., Soares, S.F.C., Galvao, R.K.H. and Araujo, M.C.U. 2012. A graphical user interface for variable selection employing the Successive Projections Algorithm. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 118, 260 -266.
- Phadke, M.S.1989. *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall, 334 p., NJ, USA.

- Rahim, A., Sharma, U.K., Murugesan, K., Sharma, A. and Arora, P. 2013. Multi-response optimization of post-fire residual compressive strength of high performance concrete. *Construction and Building Materials*, Vol.38, 265–273.
- Ramezani, M., Bashiri, M. and Atkinson, C.H. 2011. A goal programming-TOPSIS approach to multiple response optimization using the concepts of non-dominated solutions and prediction intervals. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, 9557-9563.
- Ramyar, K. 2007. Portland çimentosu: süperakışkanlaştırıcı katkı uyumunu etkileyen faktörler. II. Yapılarda kimyasal katkılar sempozyumu, 12-13 Nisan, 197-211, Ankara.
- Ross, P. J. 1989. *Taguchi techniques for quality engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Roussel, N. 2006. A theoretical frame to study stability of fresh concrete. *Materials and Structures*, vol.39, 81-91.
- Saat, M. 2000. Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı. Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt 2, sayı 3, s. 97-108.
- Santin, O.G. 2011. Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating. *Energy and Buildings*, Vol. 43, 2662–2672.
- Savaş, K. 2007. Kontrol Sistemleri için Matlab’da Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulamaları Tasarımı. Lisans bitirme tezi. Marmara Üniversitesi, 209 s., İstanbul.
- Siddique, R. 2013. Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash *Construction and Building Materials*, 47, 1444–1450.
- Sonebi, M., Bassuoni, M.T. 2013. Investigating the effect of mixture design parameters on pervious concrete by statistical modelling. *Construction and Building Materials*, Vol.38, 147–154.
- Snee, R.D. 1993. *Creating Robust Work Processes*. Quality Progress, pp.37-41.
- Şahin, R., Taşdemir, M.A., Gül, R., Çelik, C. 2007. Taze beton özelliklerinin optimizasyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 38, cilt 2, 127-135.
- Şanyılmaz, M. 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi, 97s., Kütahya.
- Sensöz, B.Ö. ve Yalçın, S. 2000. Çimento ve beton. *Batıçim yayını*, 125 s., İzmir.

- Şimşek, B. ve Şimşek, E.H. 2012a. Taze beton konvektif ısı aktarım katsayısı: merkezi kompozit tasarımına dayalı cevap yüzey yöntemi kullanarak optimizasyon ve modelleme. Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Bildiriler cd'si, 3-6 Eylül, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- Şimşek, B. ve Şimşek, E.H. 2012b. Kubik taze betonun konvektif ısı aktarımı üzerinde deneysel Taguchi optimizasyonu yaklaşımı. Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Bildiriler cd'si, 3-6 Eylül, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- Şimşek, B., İç, Y.T. and Şimşek, E.H. 2013. A TOPSIS based Taguchi optimization to determine of high strength self compacting concrete. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 125, 18-36.
- Şirvancı, M. 1996. Kalite için Deney Tasarımı.Taguchi Yaklaşımı, s.112, Literatür Yayıncılık, Milwaukee, ABD.
- Taguchi, G. and Wu, Y. 1989. Taguchi methods case studies from the US and Europe. Ameriken supplier institute inc., Michigan, USA.
- Taguchi, G. Chowdhury, S. and Wu, Y.2005.Taguchi's Quality Engineering Handbook. John Wiley and Sons., 1662 p., New Jersey, USA.
- Tanyıldızı, H. and Coşkun, A. 2008a. Performance of lightweight concrete with silica fume after high temperature. Construction and Building Materials, Vol.22, 2124–2129.
- Tanyıldızı, H. and Coşkun, A. 2008b. The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash. Construction and Building Materials, Vol.22, 2269–2275.
- Tan, O., Zaimoglu, A.S., Hınıslıoğlu, S. and Altun, S. 2005. Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.20, 167–173.
- Tong, L.I., Chen, C.C. and Wang, C.H. 2007. Optimization of multi-response processes using the VIKOR method. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 31, 1049–1057.
- Tosun, E. 2006. Frezeleme işlemlerinde genetik algoritma yaklaşımı ile kesme koşullarının optimizasyonu. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi, 104 s., Konya.
- Tsao, C.C. and Hocheng, H. 2008. Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network. Journal of Materials Processing Technology, Vol.203, 342-348.
- Türkel, A. 2006. Betonun basınç dayanımına numune boyutunun etkisi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 71 s., İstanbul.

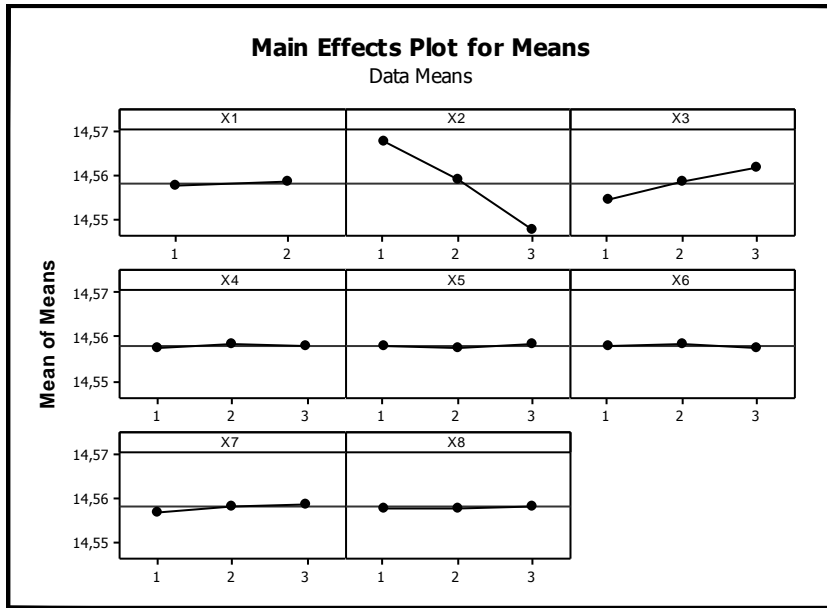
- Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F. ve Yeğınobalı, A., 2003. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. Ar-Ge Enstitüsü, TÇMB, Ankara, 75 s.
- Türkmen, İ., Gül, R. and Çelik, C. 2008. A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures. Building and Enviroment, Vol.43, 1127-1137.
- Usta, H. 2005. Hazır beton sektör araştırması. İstanbul Ticaret Odası, 42s., İstanbul.
- Uyan M., Yıldırım H. 1991.Yüksek dayanımlı beton üretiminde süperakışkanlaştırıcı beton katkı maddelerinin etkinliği, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Verbeck, G.J. 1968. Field and laboratory studies of the sulfate resistance of concrete. In performance of concrete resistance of concrete to sulfate and other environmental conditions: Thorvaldson symposium, 113-124 p.
- Vieira, R.K., Soares, R.C., Pinheiro, S.C., Paiva, O.A. Eleutèrio, J.O. and Vasconcelos, R.P. 2010. Completely random experimental design with mixture and process variables for optimization of rubberized concrete. Construction and Building Materials, Vol.24, 1754–1760.
- Walpole, E.R.Myers, H.R. Myers, L.S. and Ye, K. 2007. Probability & Statistics for Engineers & Scientists. Pearson Prentice Hall, 8 ed, Upper Saddle River, New Jersey.
- Wang, K.S., Chen, J.H., Huang, Y.H. and Huang, S.L. 2013. Integrated Taguchi method and response surface methodology to confirm hydrogen production by anaerobic fermentation of cow manure. International Journal of Hydrogen energy, Vol.38., 45-53.
- Wong, G.S., Alexander, M.A., Haskins, R., Poole, T., Malone, P.G. and Wakeley, L. 2001. Portland Cement Concrete Rheology and Workability, Final Report, USAE Research and Development Center.
- Xu, Y., Jiang, L., Xu, J. and Li, Y. 2012. Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick. Construction and Building Materials, Vol.27, 32-38.
- Yan, S., Lin, H.C.and Liu Y.C. 2011. Optimal schedule adjustments for supplying ready mixed concrete following incidents. Automation in Construction, Vol. 20, 1041–1050
- Yang, T. and Chou, P. 2005. Solving a multi-response simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple-attribute decision-making method. Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 68, no.1, 9–21.
- Yang, T., Wen, Y.F. and Wang, F.F. 2011. Evaluation of robustness of supply chain information-sharing strategies using a hybrid Taguchi and multiple criteria decision making method . Int. J. Production Economics, Vol. 134, 458–466.

- Yazıcı, A. 2005. Doğrusal olmayan programlama yöntemlerinin sistem denetiminde kullanımı. Doktora tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 118 s., Eskişehir.
- Yeğınobalı, A. ve Ertün, T. 2005. Çimentoda Yeni Standardlar ve Mineral Katkılar. Ar-Ge Enstitüsü, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Yeh, C. 2007. Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks. *Cement and Concrete Composites*, Vol.29, 474-480.
- Yıldırım, H. 2007. Betonda akışkanlaştırıcı katkı kullanımında istenen şartlar ve Türkiye'deki durum, *Yapı Kimyasalları Dergisi*, Cilt 1, 60-64.
- Yu, R., Spiesz, P. and Brouwers, H.J.H. 2014. Mix design and properties assessment of ultra high performance fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol.56, 29-39.
- Zain, M.F.M., Safiuddin, M. and Yusof, K.M. 1999. A study on the properties of freshly mixed high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1427–1432.
- Zhang, D.S. 1996. Air Entrainment in Fresh Concrete with PFA. *Cement and Concrete Composites*, Vol.18, 409-416.

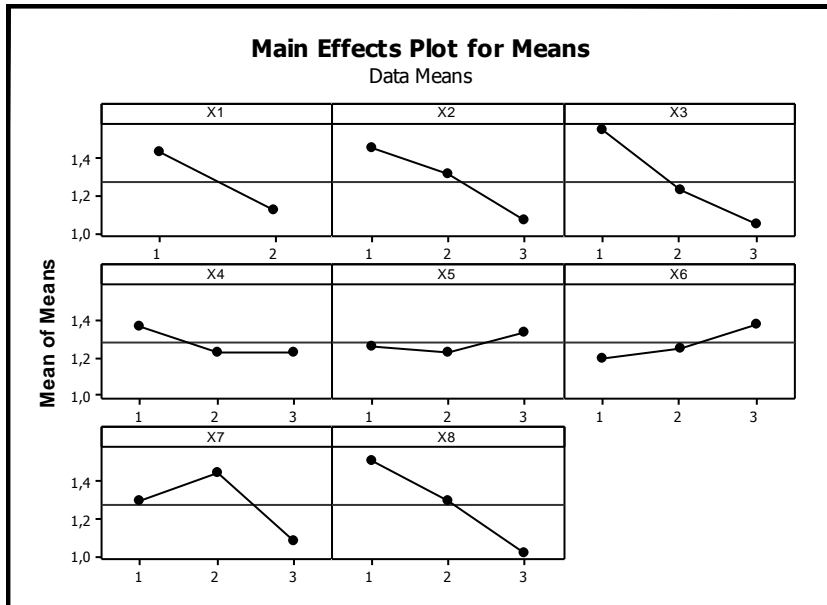
## **EKLER**

- EK1 Taguchi deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri
- EK 2 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri
- EK 3 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen etkileşim grafikleri
- EK 4 Tüm yanıtlar için cevap yüzey grafikleri
- EK 5 Çökme-yayımla sınıfları (TS-EN 206-1, 2002)
- EK 6 Basınç dayanım sınıfları (TS-EN 206-1, 2002)
- EK 7 Student-t tablosu
- EK 8 F tablosu

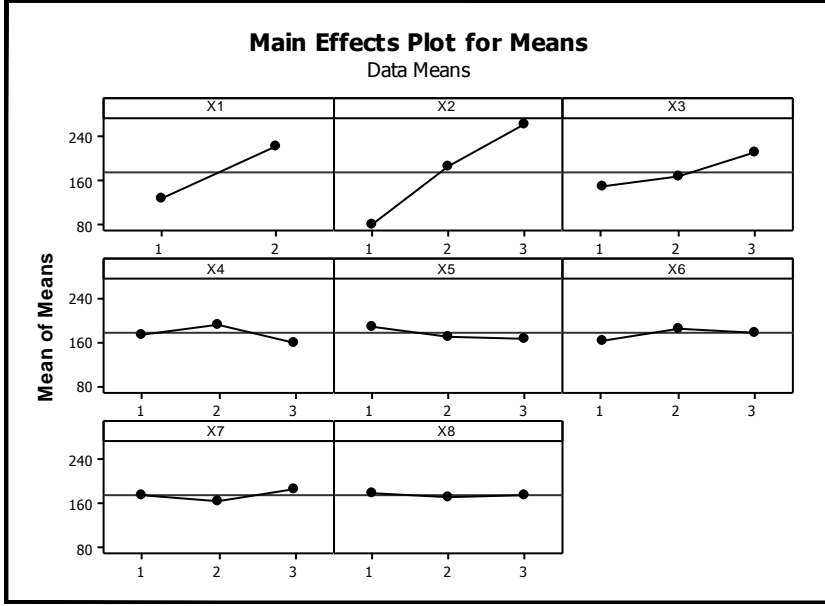
## EK 1 Taguchi deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri



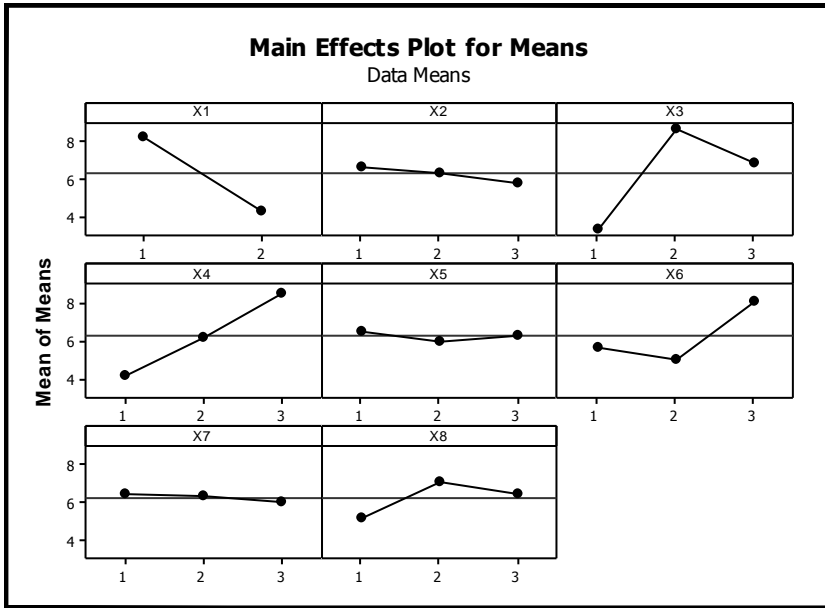
Şekil 1 Isı aktarım katsayısı için ana etkiler grafiği



Şekil 2 Hava içeriği için ana etkiler grafiği

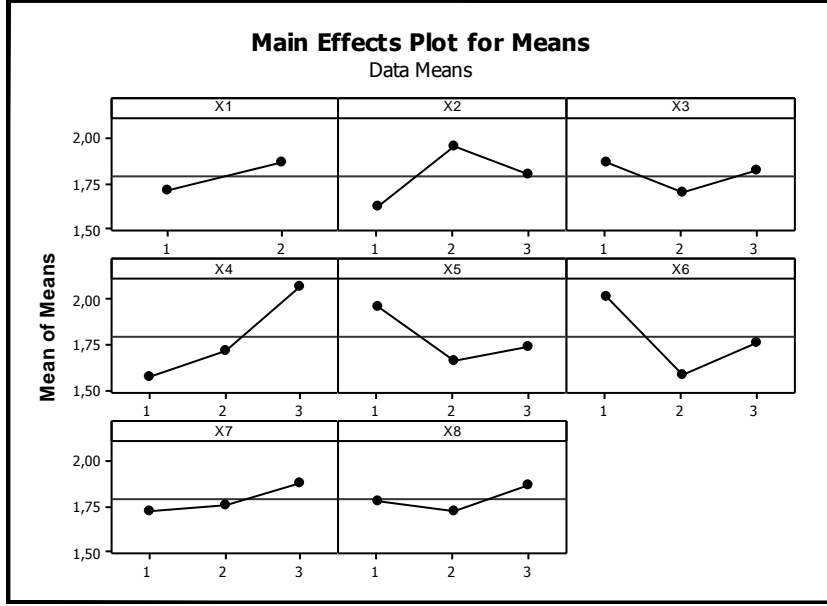


Şekil 3 Çökme-yayımla değeri için ana etkiler grafiği

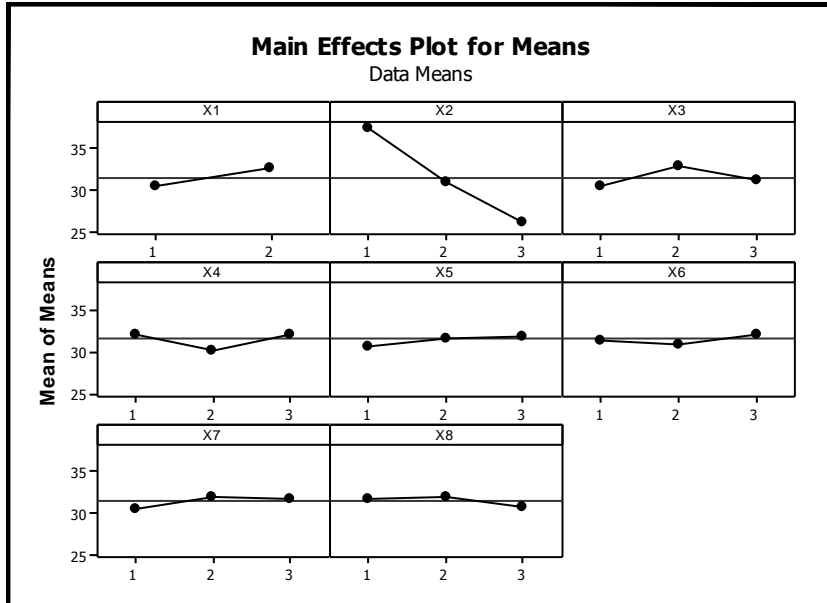


Şekil 4 birim ağırlıktaki değışim için ana etkiler grafiği

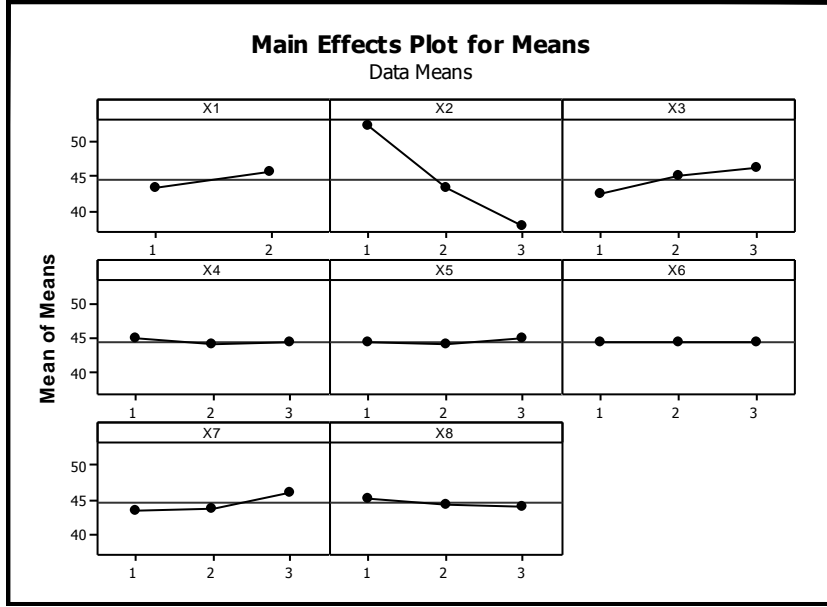




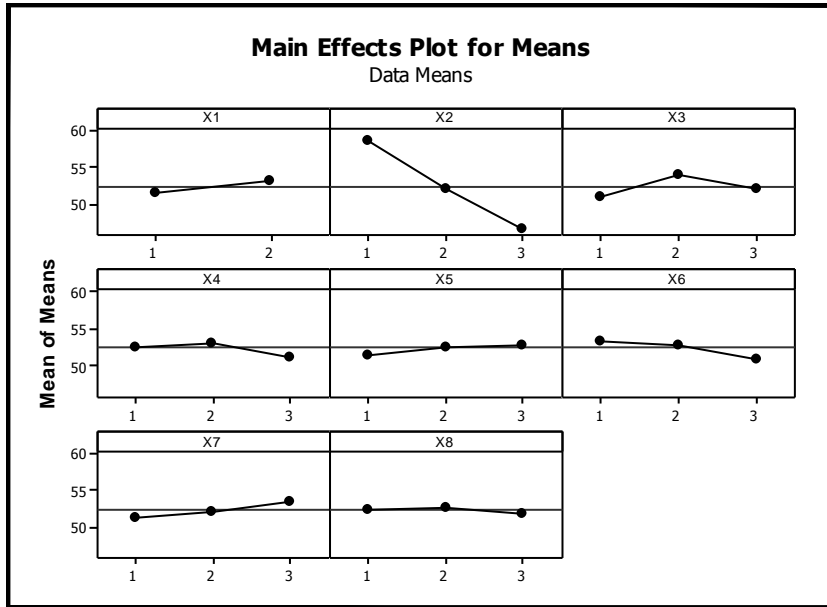
Şekil 5 Su emme yüzdesi için ana etkiler grafiği



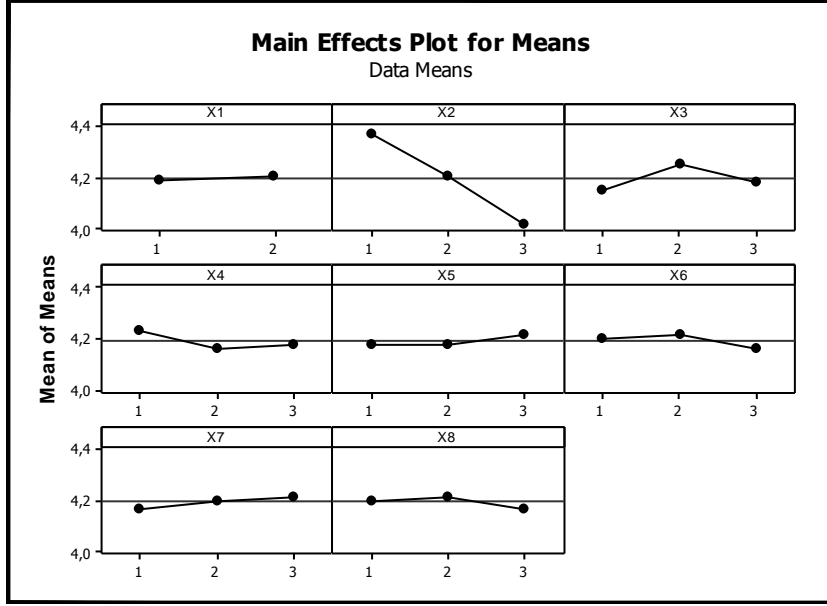
Şekil 6 İki günlük basınç dayanımı için ana etkiler grafiği



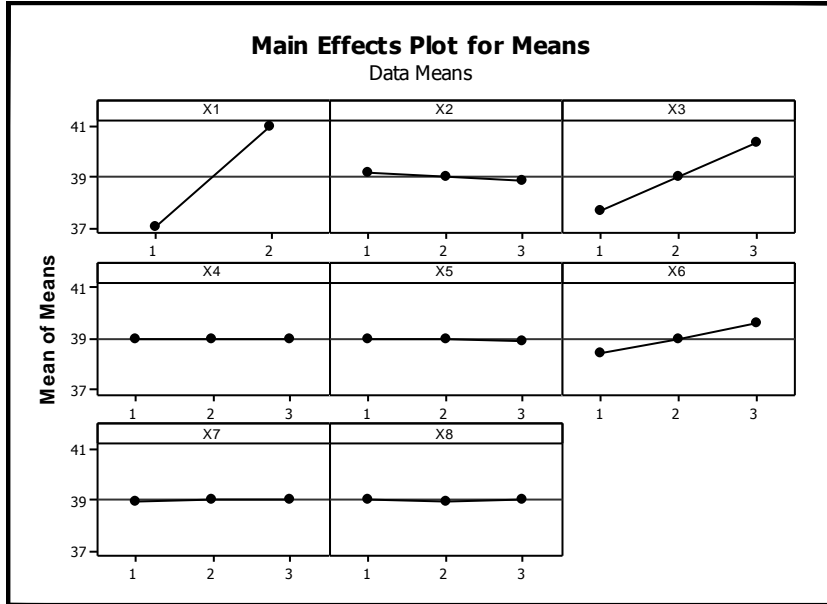
Şekil 7 Yedi günlük basınç dayanımı için ana etkiler grafiği



Şekil 8 Yirmisekiz günlük basınç dayanımı için ana etkiler grafiği

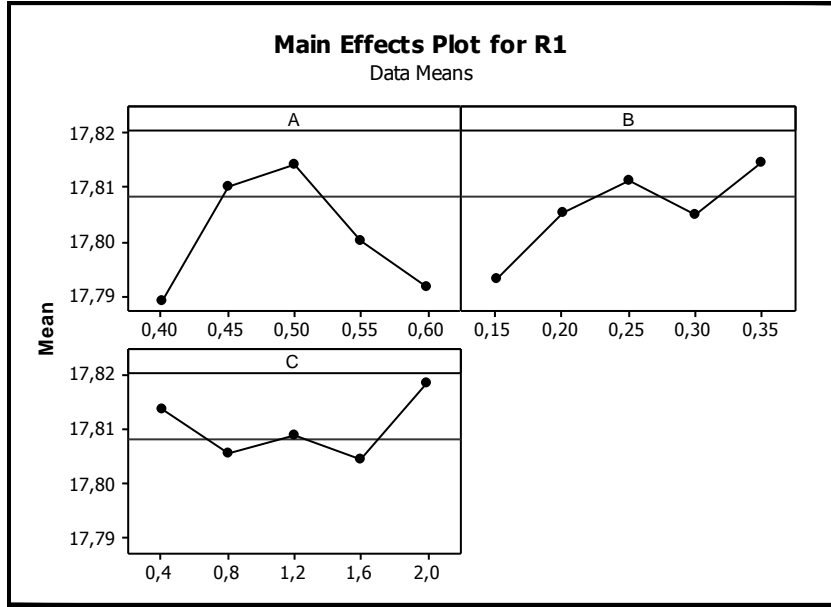


Şekil 9 Yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı için ana etkiler grafiği

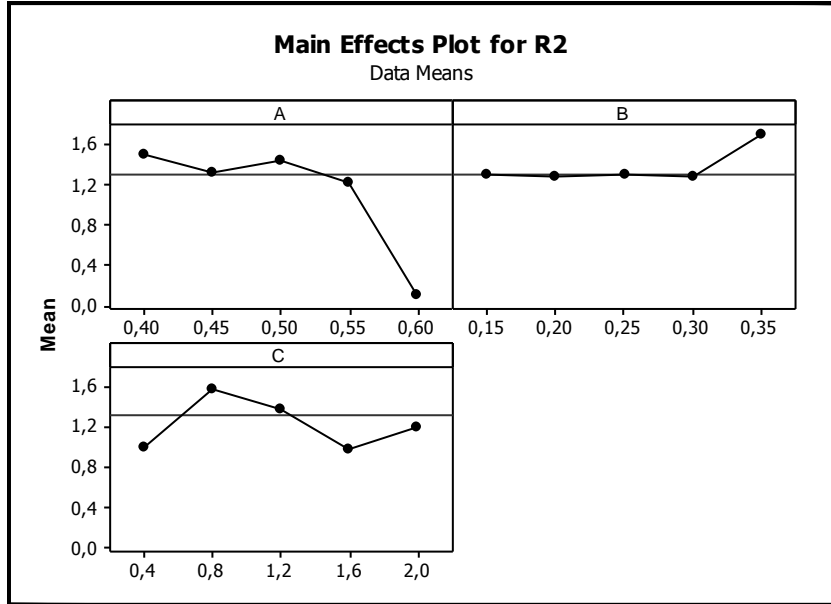


Şekil10 Üretim maliyeti için ana etkiler grafiği

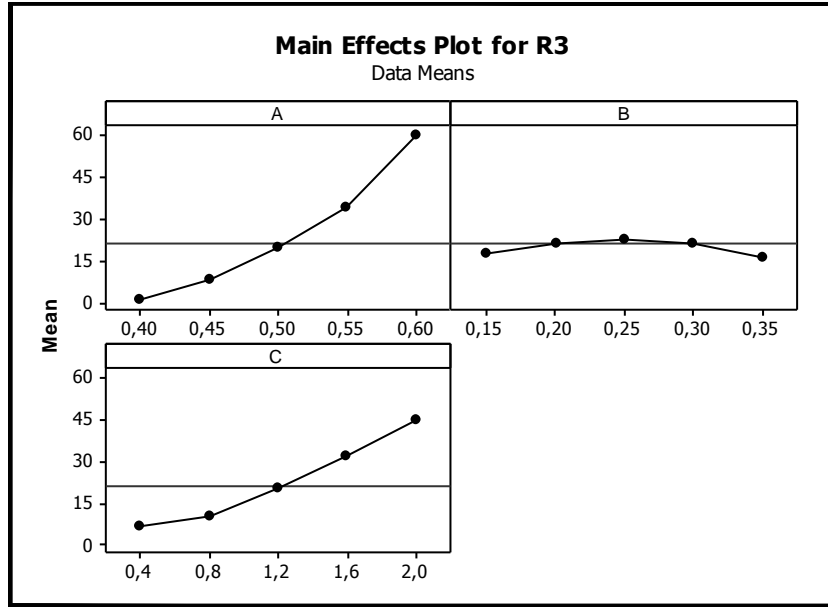
## EK 2 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen ana etkiler grafikleri



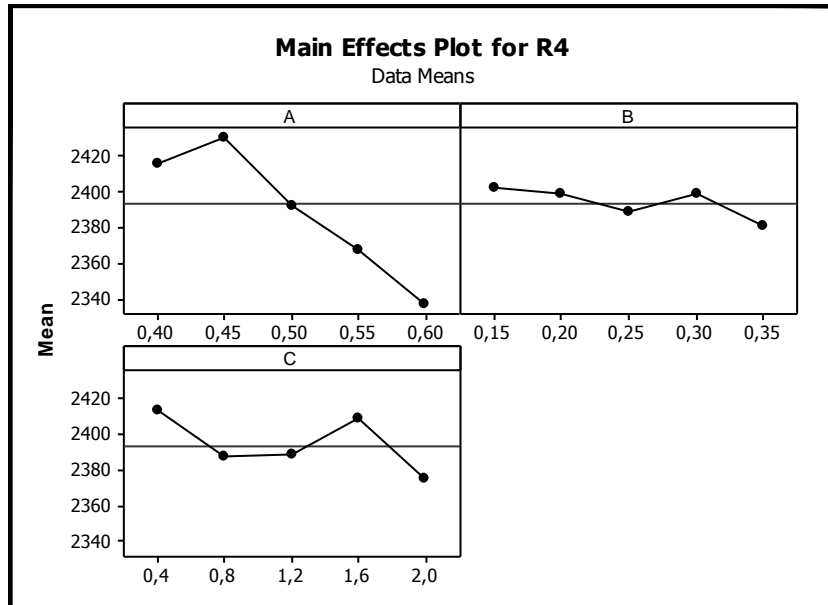
Şekil 1 Konvektif ısı aktarım katsayısı için ana etkiler grafiği



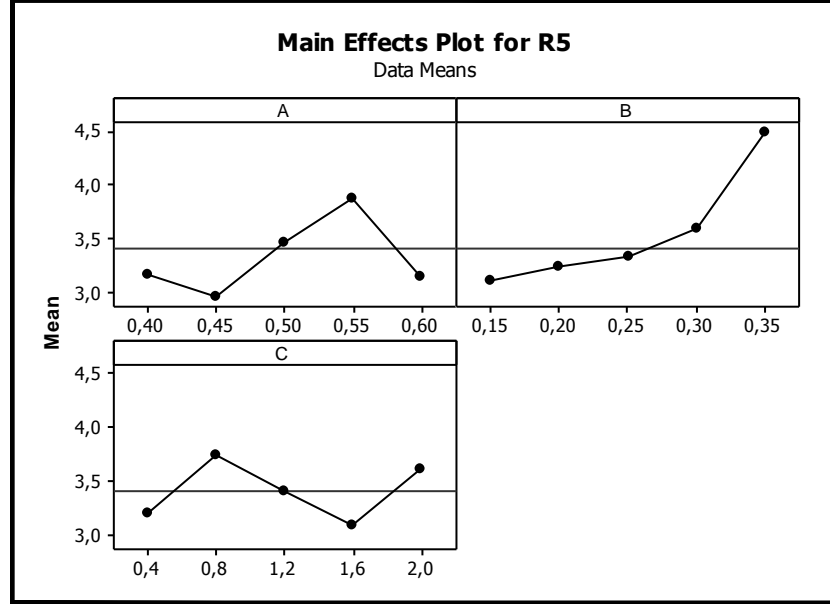
Şekil 2 Hava içeriği için ana etkiler grafiği



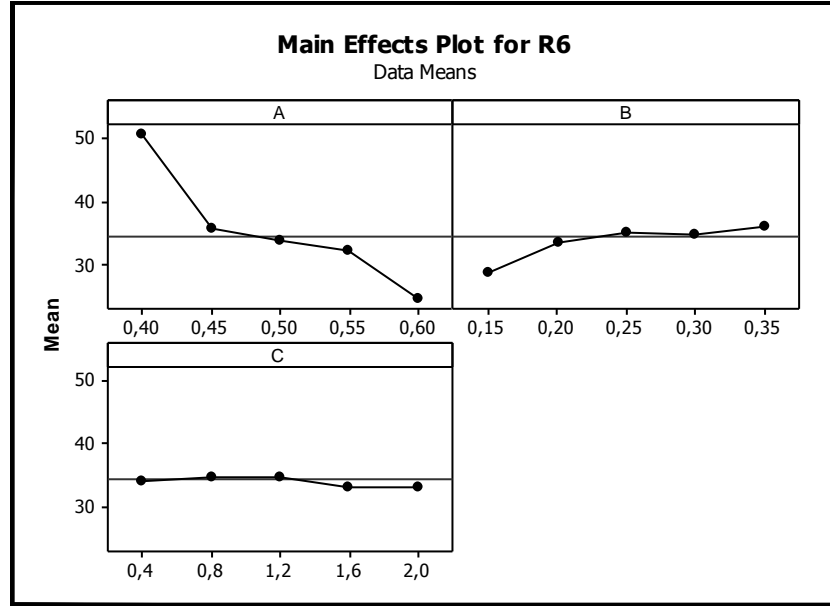
Şekil.3 Çökme-yayıma değeri için ana etkiler grafiği



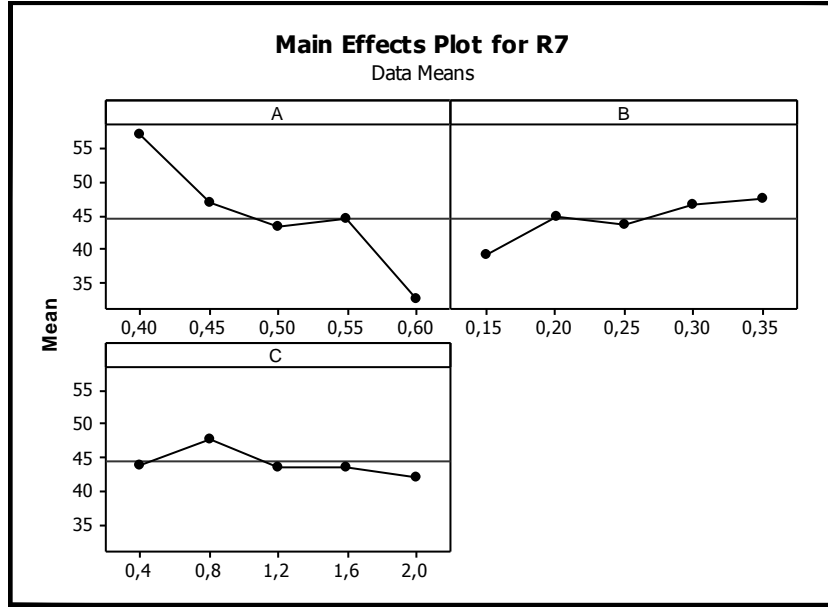
Şekil 4 Birim ağırlık değeri için ana etkiler grafiği



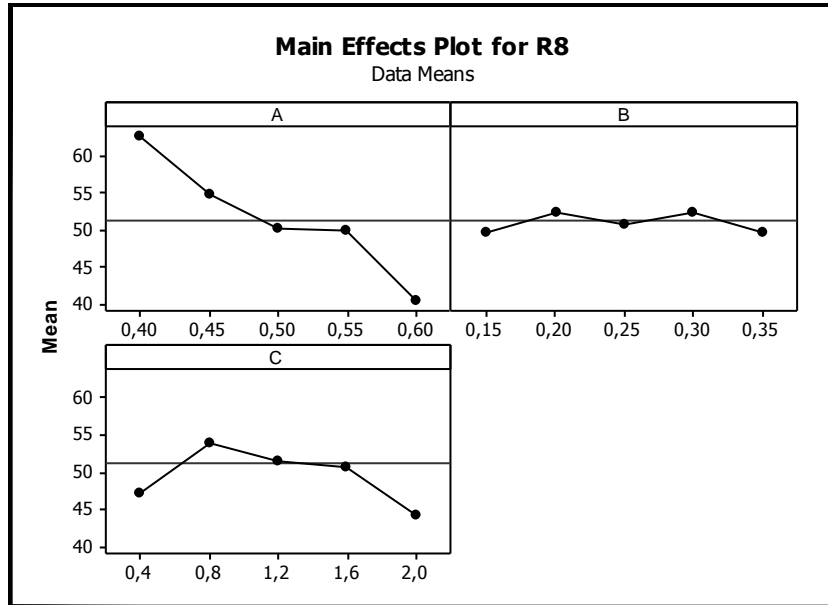
Şekil 5 Su emme yüzdesi için ana etkiler grafiği



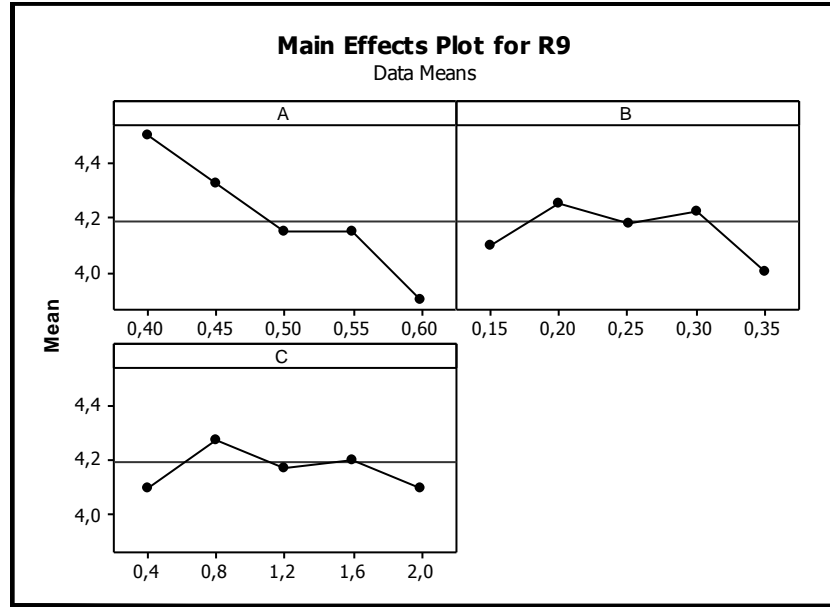
Şekil 6 İki günlük basınç dayanımı değeri için ana etkiler grafiği



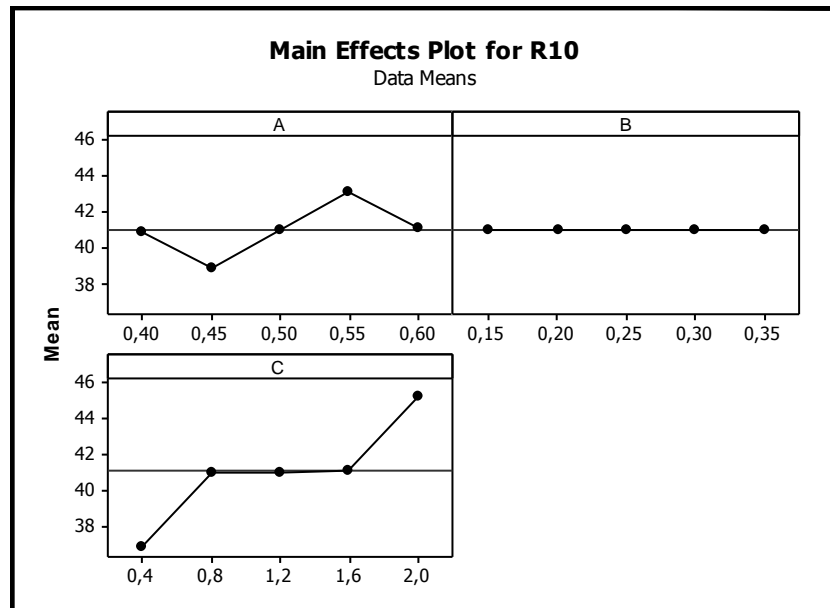
Şekil 7 Yedi günlük basınç dayanımı değeri için ana etkiler grafiği



Şekil 8 Yirmisekiz günlük basınç dayanımı için ana etkiler grafiği



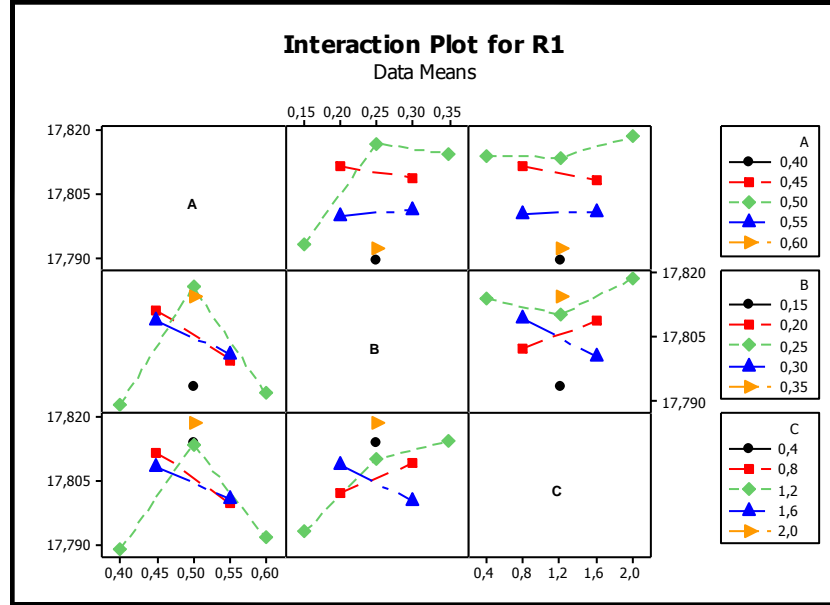
Şekil 9 Yirmisekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı için ana etkiler grafiği



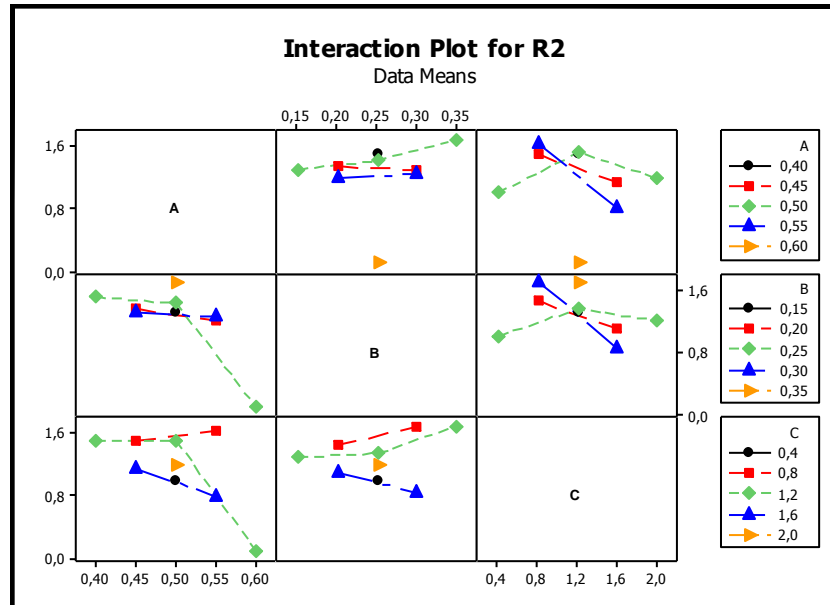
Şekil 10 Üretim maliyeti için ana etkiler grafiği



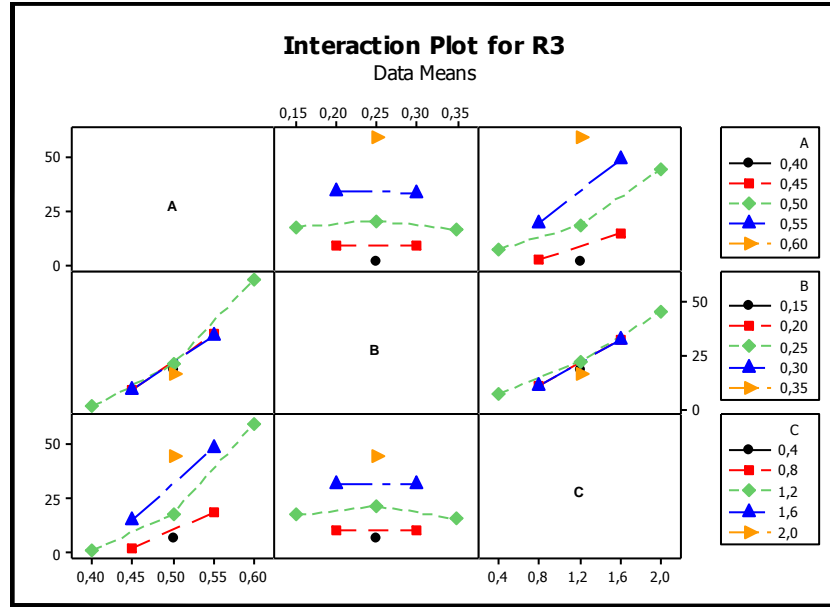
**EK 3 Cevap yüzey deneylerinden elde edilen etkileşim grafikleri**



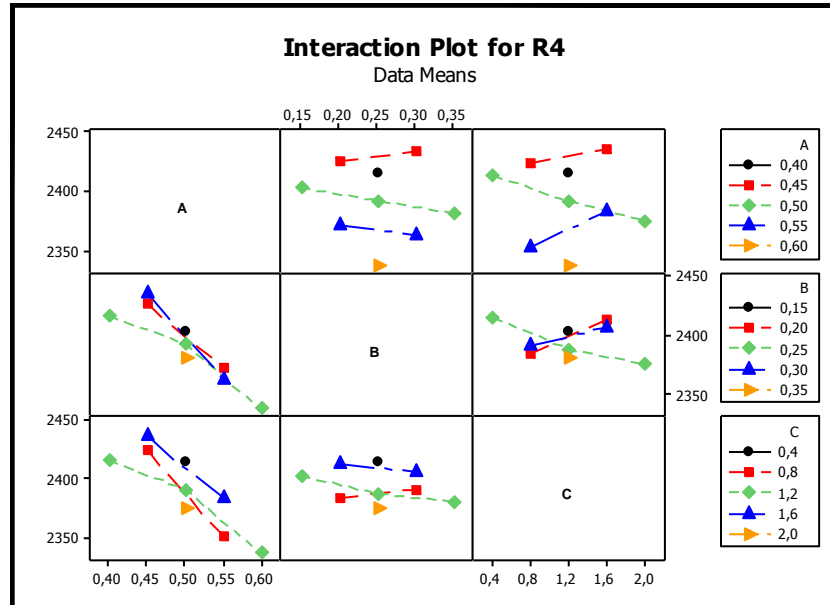
Şekil 1 Konvektif ısı aktarım katsayısı için etkileşim grafiği



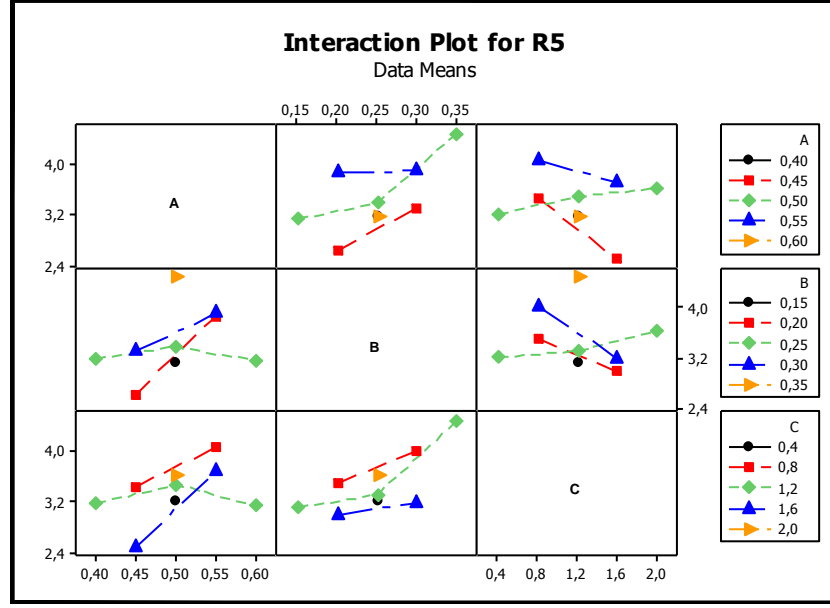
Şekil 2 Hava içeriği yüzdesi için etkileşim grafiği



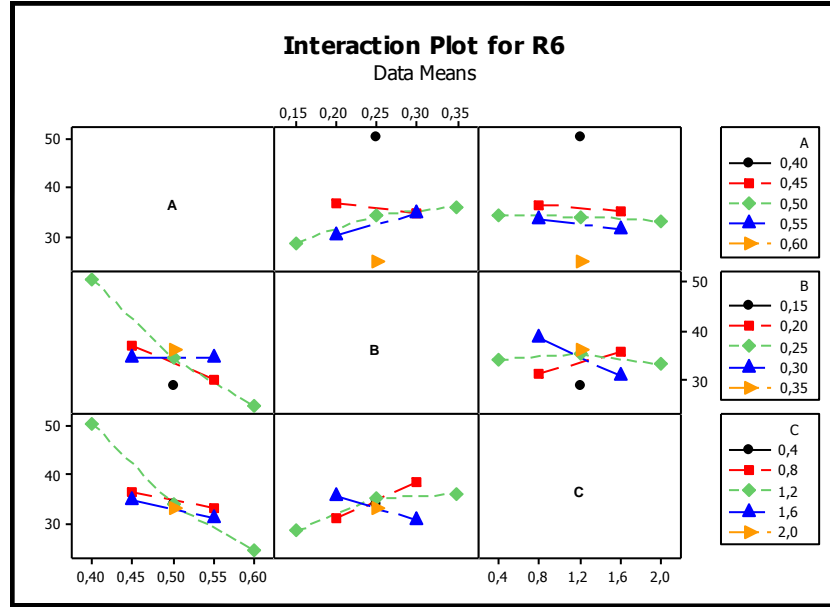
Şekil 3 Çökme yayılma değeri için etkileşim grafiği



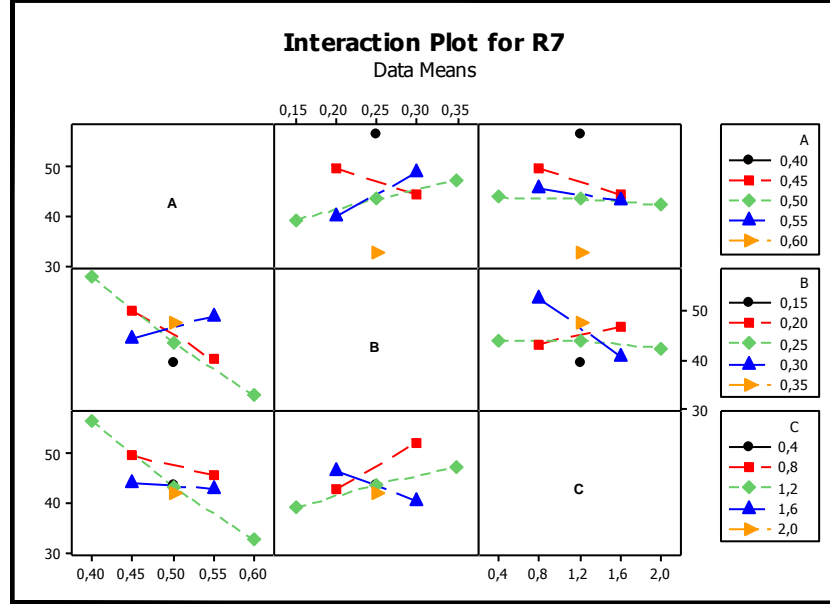
Şekil 4 Birim ağırlık için etkileşim grafiği



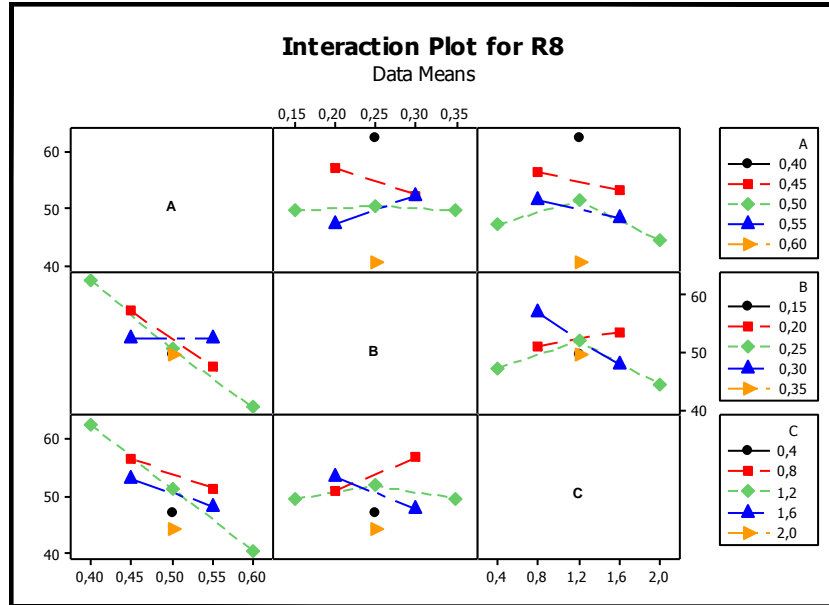
Şekil 5 Su emme yüzdesi için etkileşim grafiği



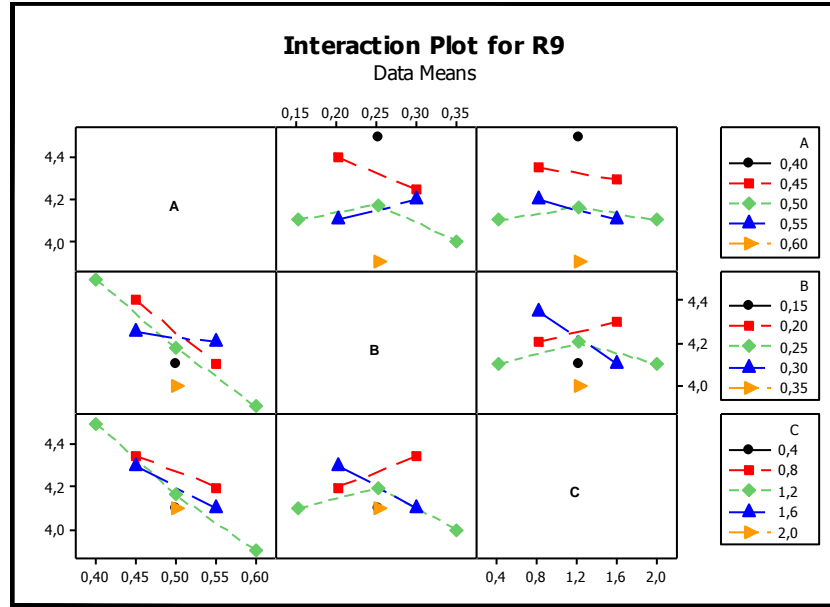
Şekil 6 İki günlük basınç dayanımı için etkileşim grafiği



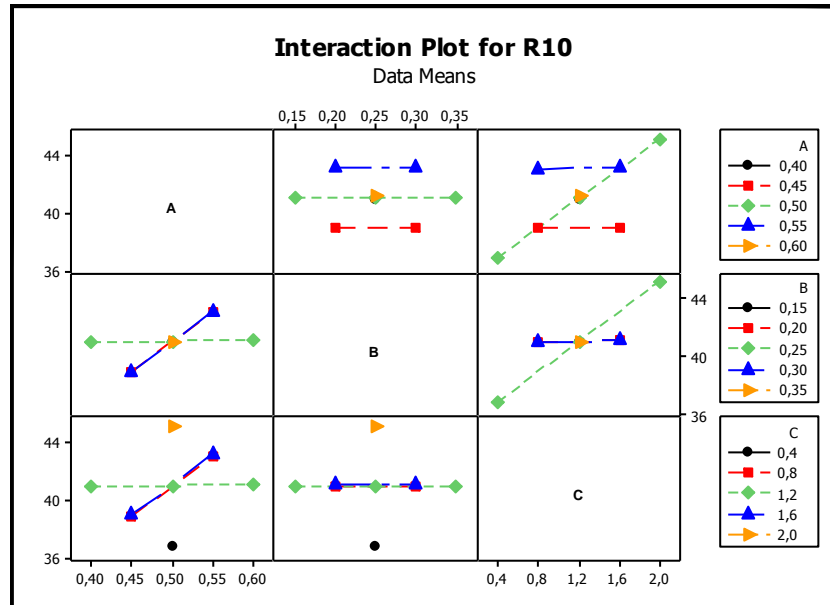
Şekil 7 Yedi günlük basınç dayanımı için etkileşim grafiği



Şekil 8 Yirmi sekiz günlük basınç dayanımı için etkileşim grafiği

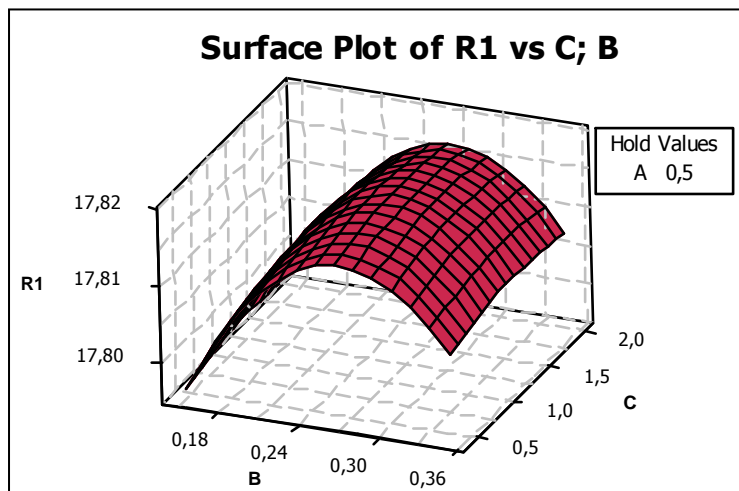
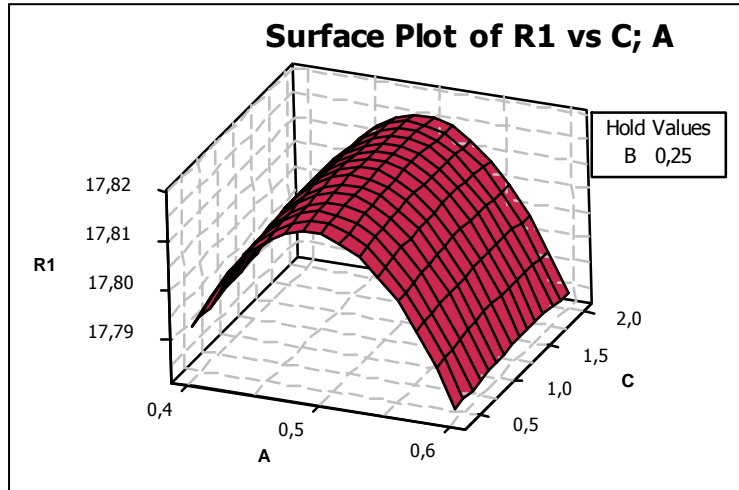
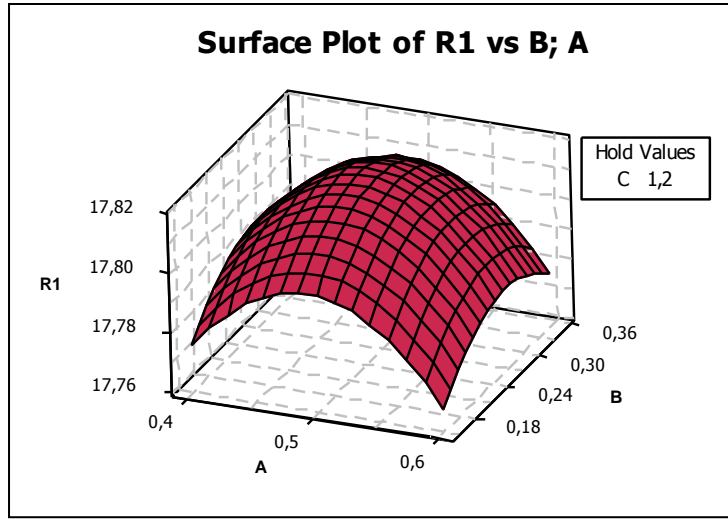


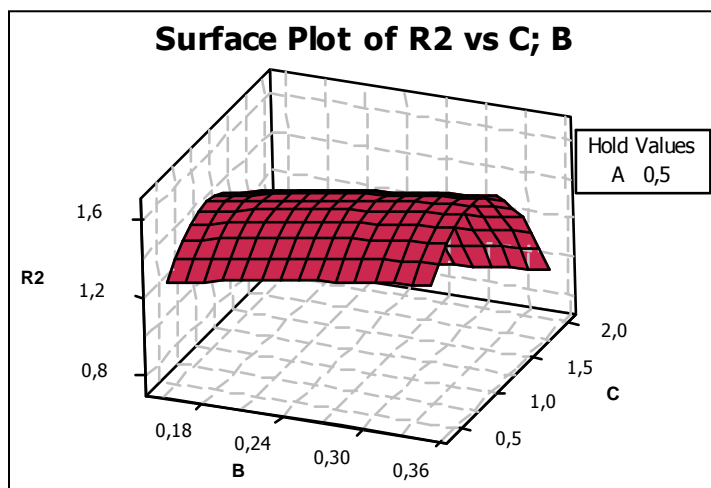
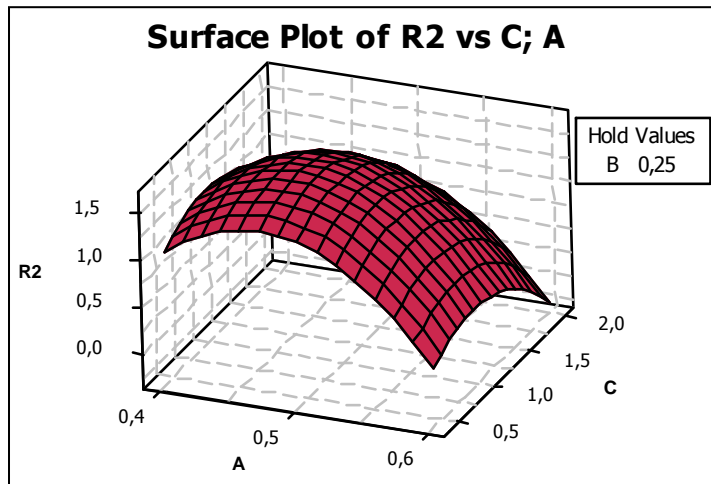
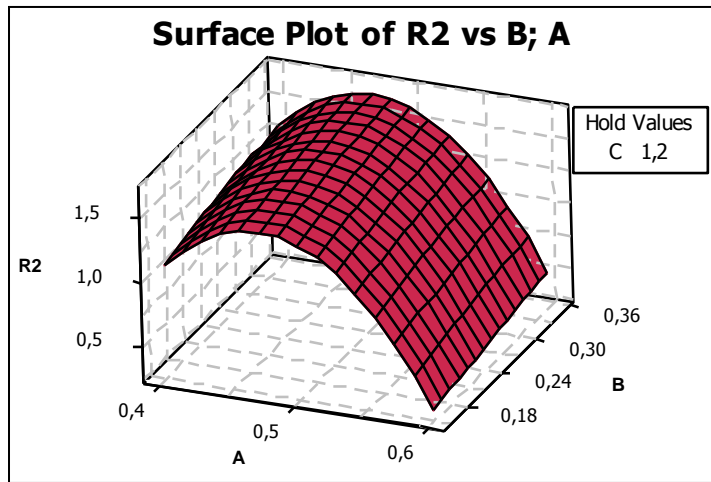
Şekil 9 Yirmi sekiz günlük çekmede yarma basınç dayanımı için etkileşim grafiği

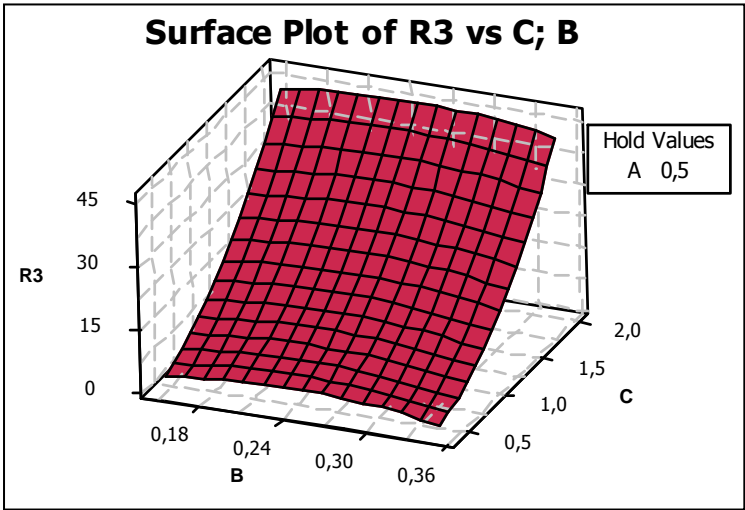
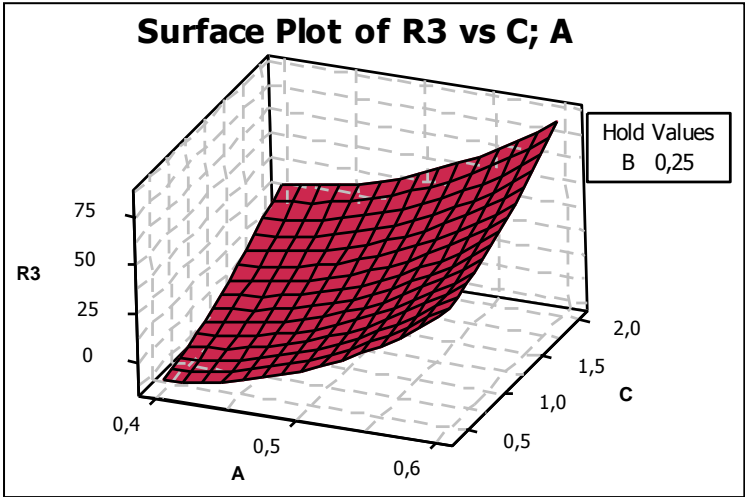
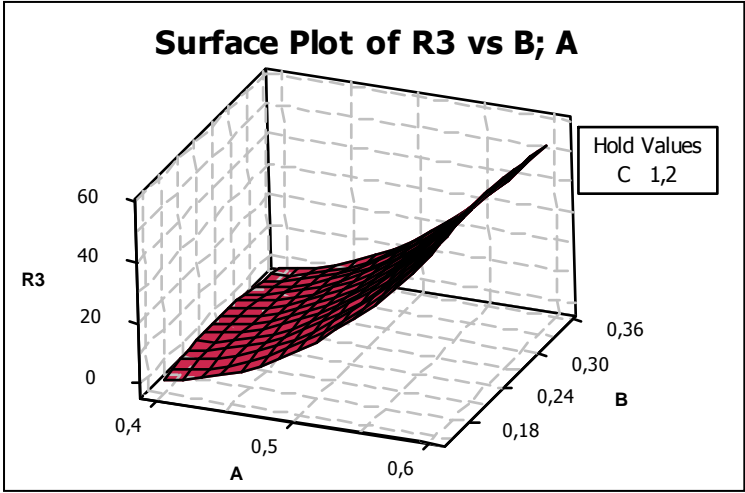


Şekil 10 Üretim maliyeti için etkileşim grafiği

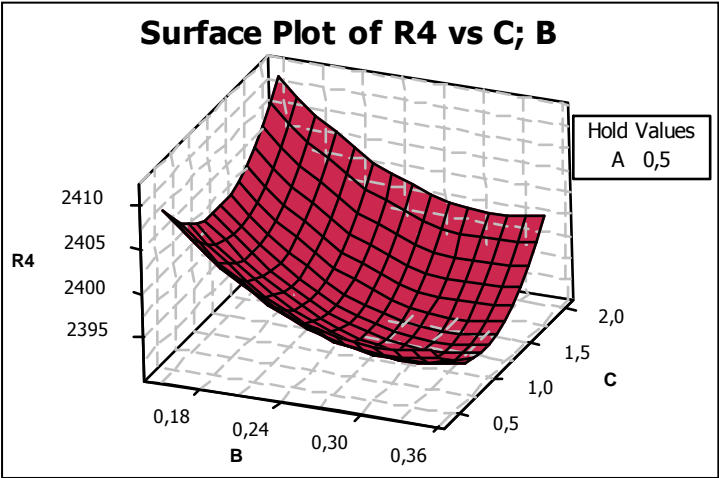
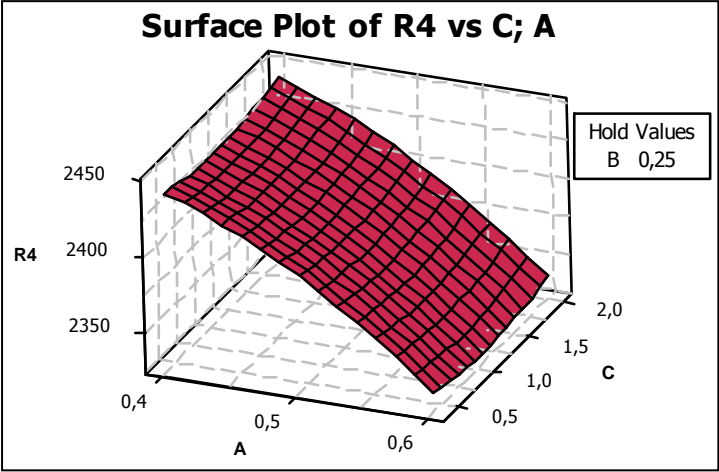
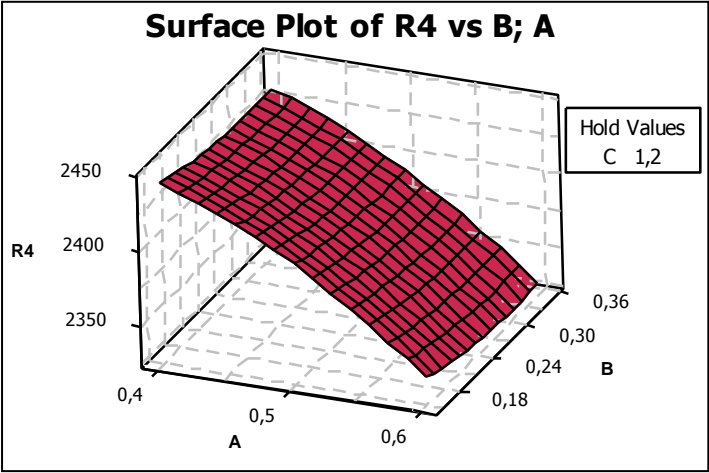
**EK 4 Tüm yanıtlar için cevap yüzey grafikleri**

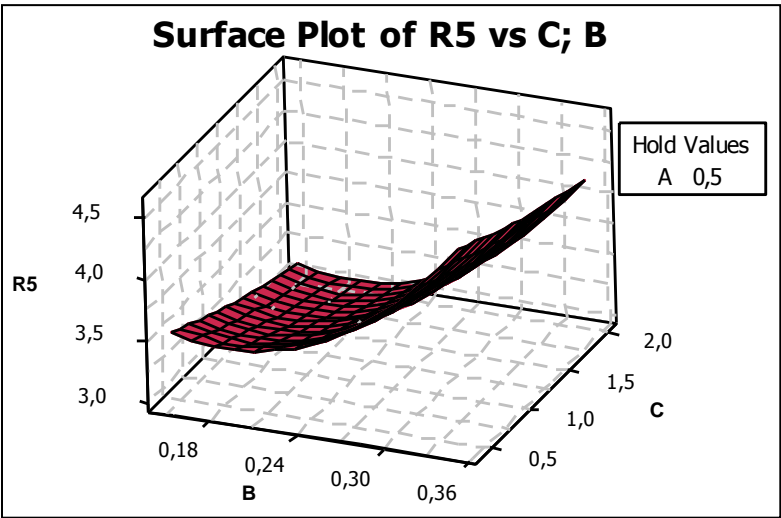
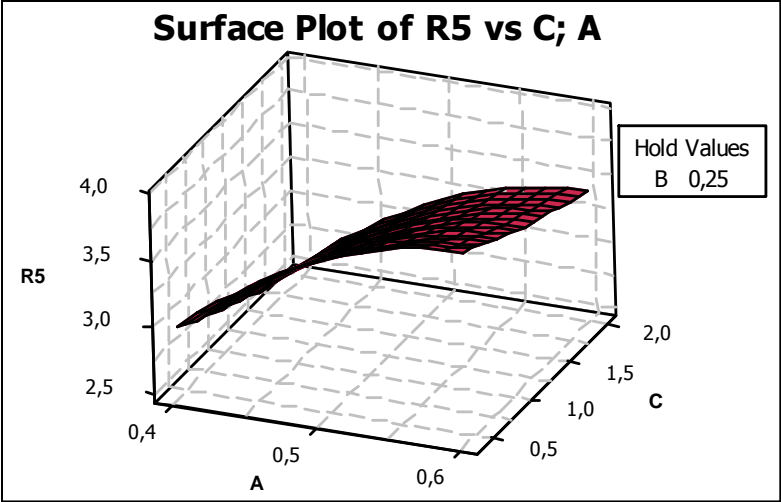
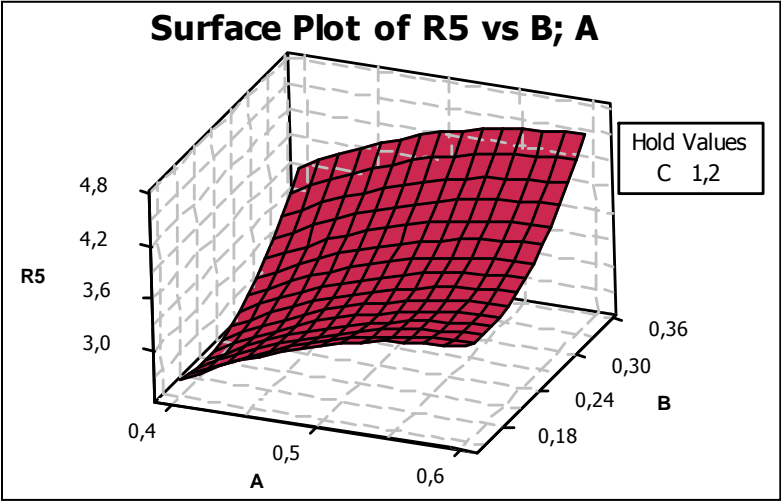


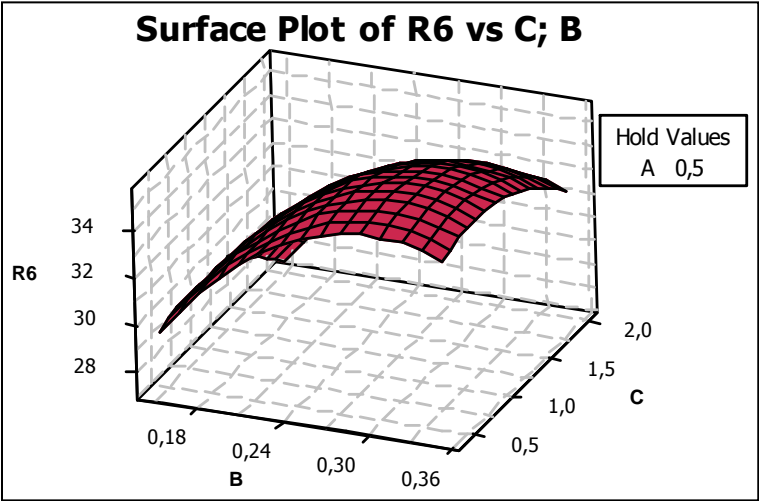
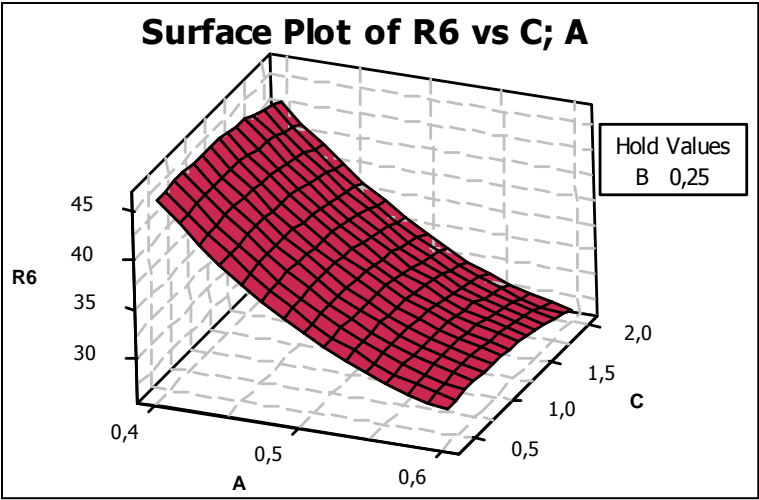
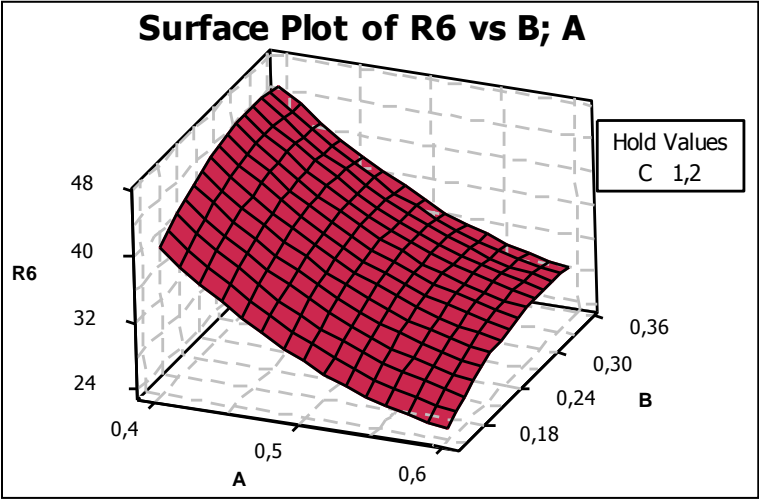


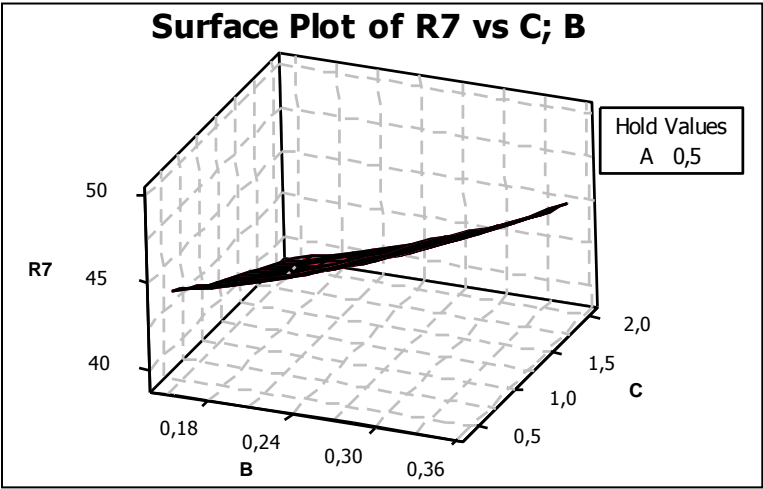
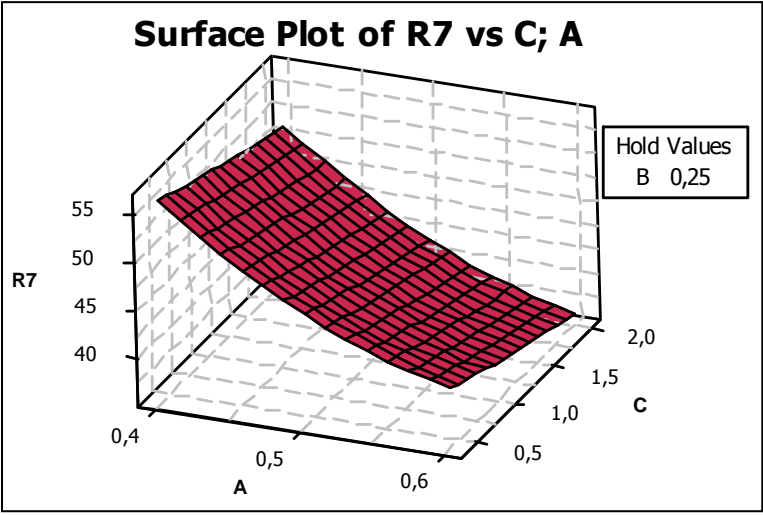
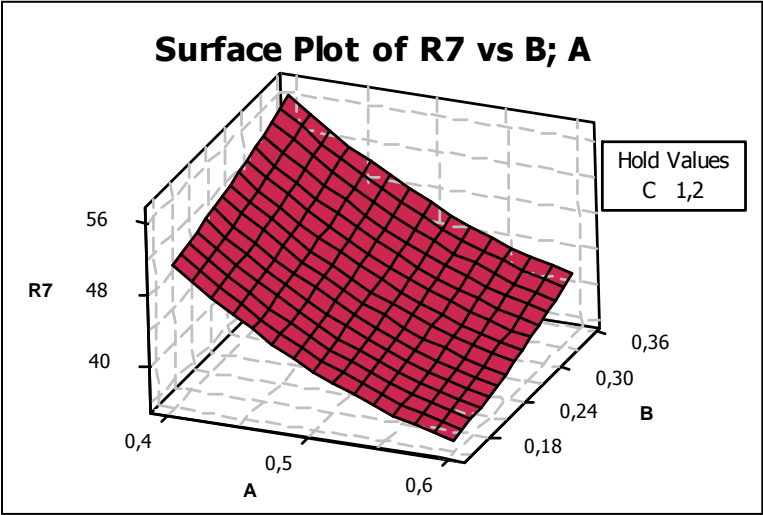


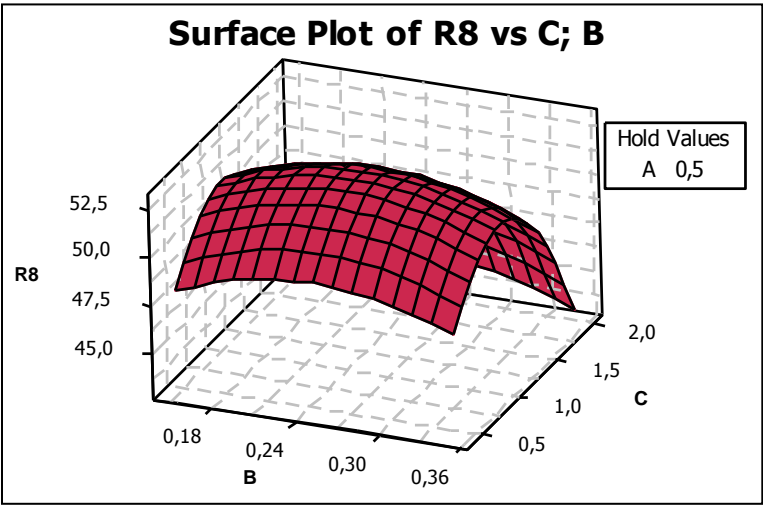
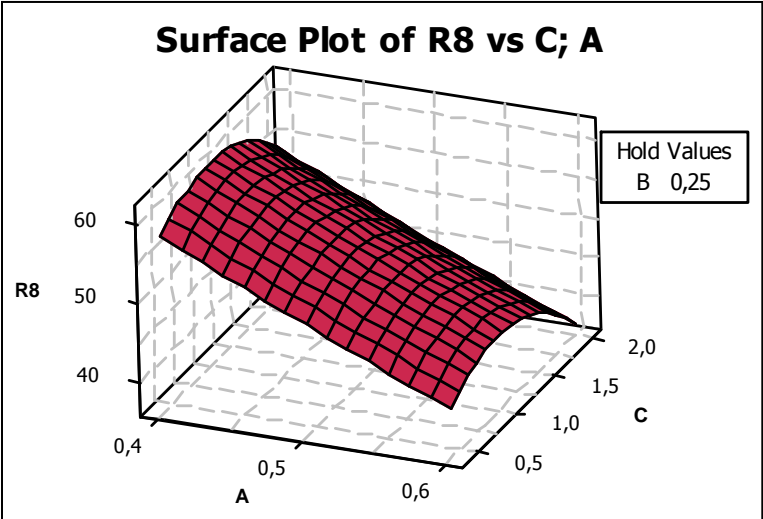
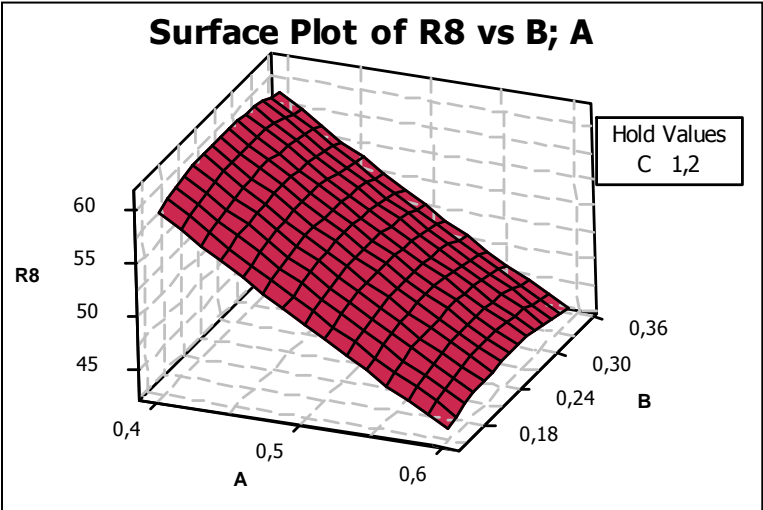


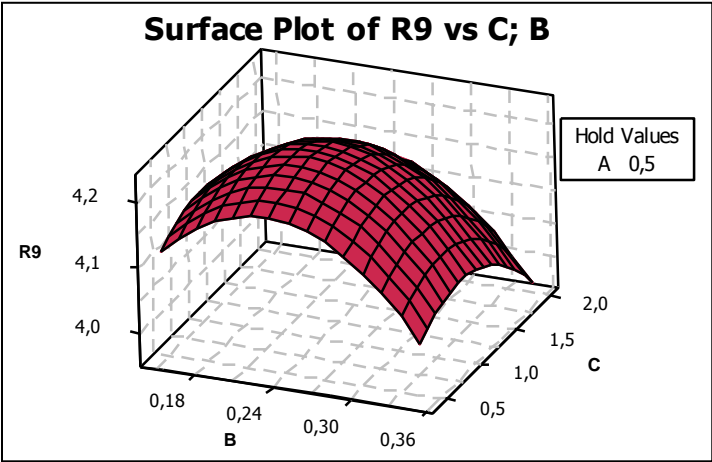
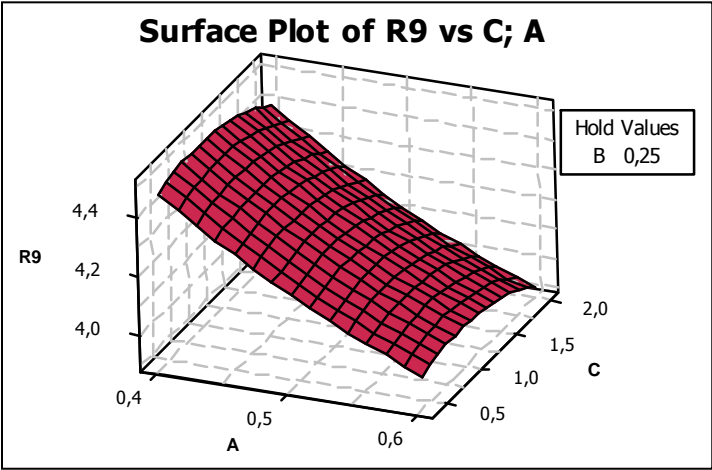
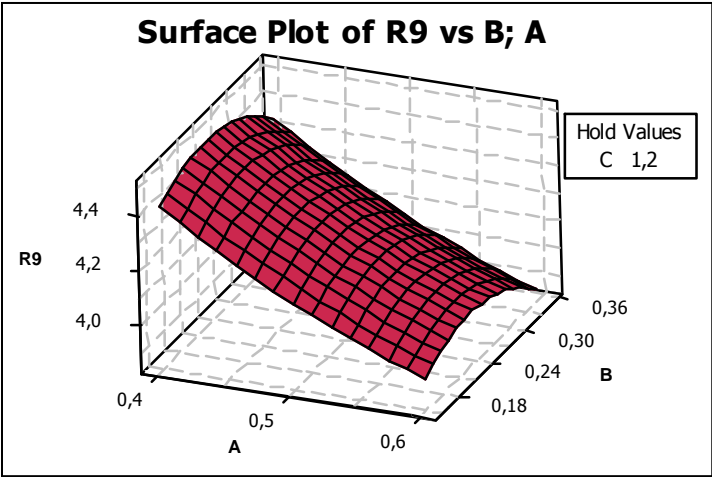


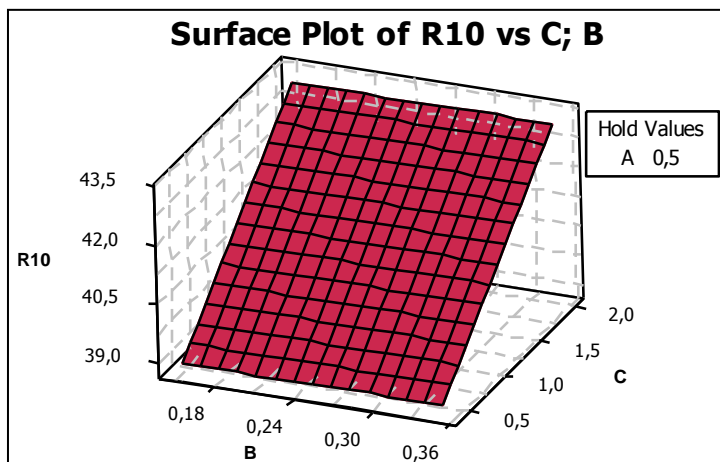
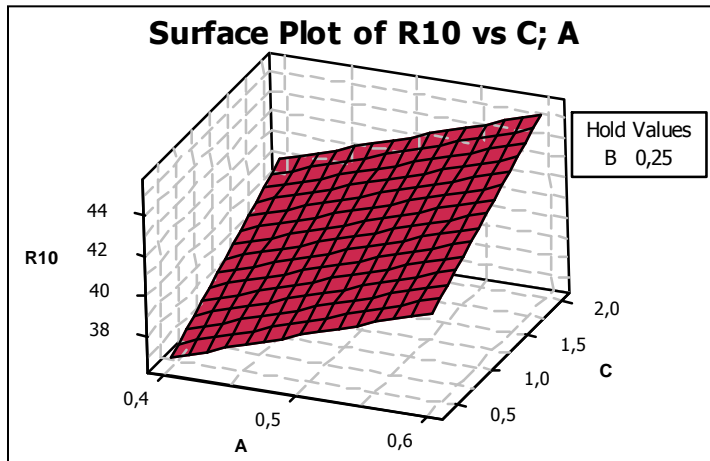
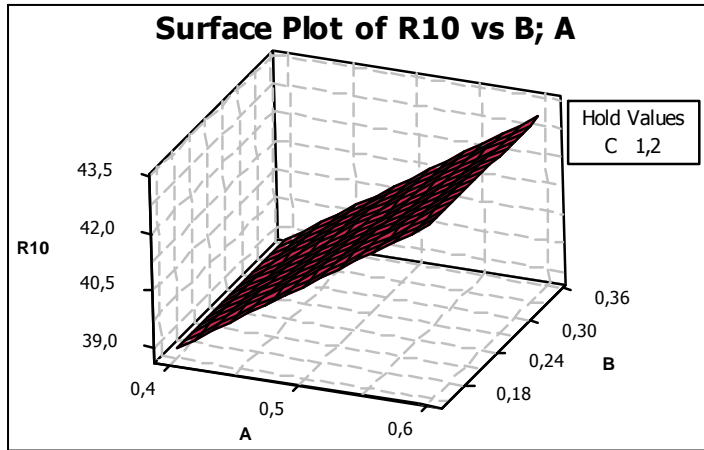












## EK 5 Çökme-yayılma sınıfları (TS-EN 206-1, 2002)

Sınıf	Çökme, mm
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	$\geq 220$
F1	$\leq 340$
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	$\geq 630$



## EK 6 Basınç dayanım sınıfları (TS-EN 206-1, 2002)

Basınç dayanım sınıfları	Minimum karakteristik silindirik dayanım, (N/mm <sup>2</sup> )	Minimum karakteristik kübik dayanım, (N/mm <sup>2</sup> )
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

## EK 7 Student-t tablosu

sd	$\alpha$											
	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.710	15.890	31.820	63.660	127.300	318.300	636.600
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.090	22.330	31.600
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.210	12.920
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.663.	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.150	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	0.679	0.849	1.047	1.295	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496
60	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
$\infty$	0.674	0.841	1.036	1.282	1.640	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291

EK 8 F tablosu

sd*	sd PAY								
	PAYDA	1	2	3	4	5	6	7	8
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Barış Şimşek

Doğum Yeri : Balıkesir

Doğum Tarihi : 04.07.1978

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Sümer Lisesi

Lisans : Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği / 2006

Yüksek Lisans : Başkent Üniversitesi Kalite Mühendisliği (2010)

Doktora : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği  
Anabilim Dalı Nisan 2014 /

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Interavias Havacılık – Özel Projeler Müdür Yardımcısı / Devam ediyor

### **Yayınlar (SCI)**

1. Şimşek, B. and İç, Y.T. 2014. Multi-Response Simulation Optimization Approach for the Performance Optimization of an AMC. Safety Science, vol. 66, 61-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.02.001>.
2. Şimşek, B., İç, YT., Şimşek, EH. 2013. A TOPSIS based Taguchi optimization to determine optimal mixture parameters of high strength self compacting concrete. Chemometrics and Intelligent Laboratory systems, Vol. 125, 18- 36.
3. Şimşek B., Şimşek, HE., Altunok, T. 2013. Empirical and Statistical Modeling of Heat Lost from Surface of A Cement Rotary Kiln System. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, vol. 28(1), 59-66.
4. Şimşek, B., Pakdil, F., Dengiz, B., Testik, C.M. 2013. Driver Performance Appraisal Using GPS Terminal Measurements: A Conceptual Framework. Transportation Research Part C, Vol. 26, 49-60.
- 5.

### **Hakemli Dergiler (EI)**

1. Şimşek B., İç YT., Şimşek HE. 2013. A full factorial design based desirability function approach for optimization of properties of C40/50 concrete class. Mathematical and Computational Applications, vol. 18(3), 330-339, 2013.

### **Uluslararası Kongre Sunum**

1. Şimşek, B., İç, Y.T., Şimşek, H. E. A full factorial design based desirability function approach for optimization of properties of C40/50 concrete class. 4. International Conference on Mathematical and Computational Applications (ICMCA-13), Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 11-13 Haziran 2013.