

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEPKİ YÜZEYİ YÖNTEMBİLGİSİNİN BETON UYGULAMASINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

M. TİMUR CİHAN

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NABİ YÜZER
EŞ DANIŞMAN
PROF. DR. ABDURRAHMAN GÜNER**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEPKİ YÜZEYİ YÖNTEMBİLGİSİNİN BETON UYGULAMASINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

M. Timur CİHAN tarafından hazırlanan tez çalışması 09.10.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER

İstanbul Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turan ÖZTURAN

Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yılmaz AKKAYA

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı'nın 109M748 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında yapılan çalışma kapsamında tepki yüzeyi yöntem bilgisinin etki değişkeni çok fazla olan beton uygulamasında kullanılabilirliğinin geliştirilmesi incelendi. Bu amaçla öncelikle beton çökme değeri ve basma dayanımına etki eden eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenler belirlenerek, farklı deneysel tasarımlar (kısmî faktöriyel tasarım ve D–Eniyileme tasarım) kullanılarak etki değişkenlerinin etkinlik düzeylerine göre değişkenlikleri ve elenerek sayıları uygun bir şekilde azaltıldı. Son olarak çoklu en iyileme amacıyla belirlenen değişim aralıklarında arzu edilebilirlik fonksiyonları kullanılarak farklı çimento standard dayanımlarında farklı beton dayanım sınıfları için eniyi bölgeler belirlendi.

Bu araştırmanın yapılmasında çalışmanın yürütücülüğünü üstlenerek, her zaman yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Prof. Dr. Nabi YÜZER ve Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER'e, konu ile ilgili bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Turan ÖZTURAN ve Prof. Dr. Şükran DİLMAÇ'a, 109M748 nolu "Normal Betonun Alışlagelmiş Uygulama Özelliklerinin Kontrol Edilebilir Değişkenlere Göre Tepki Yüzeylerinin Belirlenmesi" adlı projeyi destekleyerek katkıda bulunan TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Mühendislik Araştırma Grubu'na, deneysel çalışmalarda kullanmak üzere malzemeleri temin eden AKÇANSA ve SET Beton'a ayrıca İnş. Yük. Müh. Oktay CAFEROV, deneysel çalışmalarında yardımcı olan Tek. Mehmet Ali ÜNLÜ'ye ve çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz, 2012

M. Timur CİHAN

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvi
ABSTRACT.....	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez.....	10
BÖLÜM 2	11
BETON	11
2.1 Bağlayıcı Maddeler -Çimento.....	12
2.1.1 Portland Çimento Üretimi.....	13
2.1.2 Çimento Hidratasyonu	14
2.1.3 Çimentoların Genel Özellikleri	15
2.2 Agregalar	17
2.2.1 Agregaların Sınıflandırılması	17
2.2.2 Agregaların Özellikleri.....	18
2.3 Su	25
2.4 Katkı Maddeleri.....	26

2.4.1	Kimyasal Katkı Maddeleri	27
2.4.2	Mineral Katkı Maddeleri	28
2.5	Taze Beton	28
2.5.1	İşlenebilirlik	29
2.5.2	Pompalanabilir Beton	31
2.6	Sertleşmiş Beton	32
BÖLÜM 3	.....	35
TEPKİ YÜZEYİ YÖNTEMBİLGİSİ	.....	35
3.1	TYY'nin Ardışık Doğası	39
3.2	TYY'nin Üç Çeşit Uygulamaları	40
3.3	TYY İçin Genel Çerçeve	40
BÖLÜM 4	.....	42
AMPİRİK MODELLERİN KURULMASI	.....	42
4.1	Lineer Regresyon Modeller ve Parametrelerin Tahmini	42
4.2	En Küçük Kareler Tahmin Edicilerinin Özellikleri ve σ^2 'nin Tahmini	46
4.3	Çoklu Regresyonda Hipotez Sınaması	47
4.3.1	Regresyonun Anlamlılık Sınaması	47
4.3.2	Ayrık Regresyon Katsayıları Üzerinde Sınama	49
4.4	Model Uygunluk Kontrolü	50
4.4.1	Artık Çözümlemesi	50
4.4.2	Artıkların Ölçeklendirilmesi	51
4.4.3	Etki Tanılamaları	55
4.4.4	Uyum Yokluğu İçin Sınama	57
4.5	İkinci Derece Modelin Oluşturulması	58
4.6	Nitel Regresor Değişkenleri	60
4.7	Tepki Değişkenlerinin Dönüştürülmesi	60
4.8	Deneysel Tasarımların İnşası, Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması için Genel Ölçütler	61
4.8.1	Uygulanabilir Tasarım Eniyilemesi	61
4.9	Çoklu Tepki Eniyilemesi	62
BÖLÜM 5	.....	65
ELEME DENEYLERİ TASARIMLARI	.....	65
5.1	İki Düzeyli Faktöriyel Tasarımlar	65
5.2	Kısmî İki Düzeyli Faktöriyel Tasarımlar	71
5.2.1	Genel 2^{k-p} Kısmî Faktöriyel Tasarımlar	74
BÖLÜM 6	.....	75
DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEYLERİN TASARLANMASI	.....	75
6.1	Hazır Beton Tesislerinden Derlenen Verilerin Değerlendirilmesi	78
6.2	Laboratuarda Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler	81

6.3	Pompalanabilir Beton İçin Kontrol Edilebilir Değişkenlerin Değişim Aralıklarının Belirlenmesi	84
6.4	Çökme ve Basma Dayanımı Tepki Yüzeylerinin Belirlenmesi	98
6.4.1	Faktör Eleme Tasarımı (2^{7-3} Kısmî Faktöriyel Tasarım).....	99
6.5	Tepki Modellerinin Elde Edilmesi.....	109
6.5.1	Gerçek Tepki Modellerinin Oluşturulması	110
6.5.2	Farklı Tepki Fonksiyonlarının Oluşturulması.....	132
6.6	Farklı Beton Sınıfları için Çökme ve Basma Dayanımı Eniyilemesi.....	170
BÖLÜM 7		174
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI		174
BÖLÜM 8		191
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		191
KAYNAKLAR		194
EK-A.....		201
TANILAMALAR DURUM İSTATİSTİĞİ		201
A-1	Tasarım 1 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	201
A-2	Tasarım 1 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	203
A-3	Tasarım 1 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	204
A-4	Tasarım 1 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	206
A-5	Tasarım 2 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	208
A-6	Tasarım 2 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	209
A-7	Tasarım 3 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	211
A-8	Tasarım 3 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	213
A-9	Tasarım 3 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$.	214
A-10	Tasarım 3 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	216
A-11	Tasarım 4 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$.	218
A-12	Tasarım 4 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	219
A-13	Tasarım 4 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	221
A-14	Tasarım 4 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	222
ÖZGEÇMİŞ		225

SİMGE LİSTESİ

AT	Agrega türü
b	En küçük kareler tahmin edicileri
C	Merkez noktadaki deneme sayısı
c_{jj}	$X'X^{-1}$ matrisinin j 'inci diyagonal elemanı
D	Toplam arzuedilirlik
$D_{\text{en büyük}}$	Agreganın en büyük tane büyüklüğü
D_i	Cook mesafesi
d_i	Standardize edilmiş artık - Arzuedilirlik fonksiyonu
d/D	Alt elek göz açıklığı/Üst elek göz açıklığı
e_i	Artık (artakalan)
F	Faktöriyel noktalardaki deneme sayısı
f	Tepki fonksiyonu
f_c	Basma Dayanımı
f_{cc}	Çimento Standard Dayanımı
f_{ck}	Karakteristik basma dayanımı
F_0	Fisher dağılımı
H	Şapka matrisi
h_{ij}	Şapka matrisinin diyagonal elemanı
H_0	Sıfır hipotezi
I	Birim matris
I	Tanımlı ilişki
k	Faktör sayısı
k	İncelik modülü
k_k	Karışım agrega incelik modülü
L	En küçük kareler fonksiyonu-Alt limit
M	Moment matrisi
n	Gözlem sayısı
Q	Ortogonal matris
R	Çoklu korelasyon katsayısı
r	Ağırlık (arzuedilirlik fonksiyonunun değişim biçimi)
R^2	Çoklu belirlilik katsayısı
r_i	Normallenmiş artık
S/Ç	Su/çimento kütle oranı
T	Hedef
t_0	t (student) dağılımı değişkeni

U	Üst limit
X	Tasarım matrisi
x	Kodlanmış (standardize edilmiş) etki değişkenleri
y	Gerçek gözlemlenen tepki sonuçları
α	Anlamlılık düzeyi
β	Model katsayıları
χ^2	Ki-kare dağılımı
ε	İstatistiksel hatâ
η	Tepki değişkeni
λ	Dönüştürücü parametresi
μ	Ortalama tepki
μ	Su emme
ρ	Yoğunluk
σ^2	Varyans
ξ	Doğal etki (girdi) değişkeni
\hat{y}	Uydurulmuş regresyon değerleri, modelden tahmini değerler
2^k	İki düzeyli faktöriyel tasarım
2^{k-p}	İki düzeyli kısmî faktöriyel tasarım

KISALTMA LİSTESİ

AT	Agrega türü
Cov	Kovaryans
Ç	Çökme
EB	En büyük
EK	En küçük
FE	Faktör Etkileşimi
FM	İncelik modülü
G.A.	Güven aralığı
Id	Belirleyici sıralama
İA	İnce agrega
İM	İndirgenmiş model
KM	Katkı maddesi
MBT	Merkezi birleşik tasarım
MS	Ortalama kare
ÖGYFC	Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu
PRESS	Tahmini artık kareler toplamı
PÇ	Portland çimentosu
PE	Salt hatâ
S	Slump (çökme) değeri
sd	Serbestlik derecesi
se	Standard hatâ
SS _E	Hatâ veya artık kareler toplamı
SS _R	Regresyon (bağlanım) (veya model) kareler toplamı
SS _T	Toplam kareler toplamı
Std	Standard
TYY	Tepki yüzeyi yöntembilgisi
UK	Uygun kesinlik
UY	Uyum yokluğu
V	Vebe süresi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Farklı yaş ve çimento inceliğine göre beton basma dayanımındaki değişim [42].. 16
Şekil 2.2	Beton dayanımı ve S/Ç oranı arasındaki ilişki [29]..... 33
Şekil 3.1	Tepki eğrisi (a) ve tepki yüzeyi (b) [3] 36
Şekil 3.2	Tepki yüzeyi yöntembilgisi için genel çerçeve [92] 41
Şekil 4.1	y'nin eşzamanlı eniyilenmesi için arzu edilebilirlik fonksiyonları. (a) Amaç (hedef) y'nin maksimum değerini elde etmek. (b) Amaç (hedef) y'nin minimum değerini elde etmek. (c) Amaç y için olası hedefin oldukça yakın değerlerini elde etmek [2] 64
Şekil 5.1	2^2 faktöriyel tasarım [2] 66
Şekil 5.2	2^3 faktöriyel tasarım [2] 66
Şekil 6.1	Agregalara ait tane büyüklüğü dağılımları 81
Şekil 6.2	2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım deneme noktalarına ait karışım agrega tane büyüklüğü dağılımları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$) 105
Şekil 6.3	2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım deneme noktalarına ait karışım agrega tane büyüklüğü dağılımları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$) 106
Şekil 6.4	Box-Cox grafikleri, Tasarım 1, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 116
Şekil 6.5	Box-Cox grafikleri, Tasarım 1, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 116
Şekil 6.6	Tasarım 1 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 119
Şekil 6.7	Tasarım 1 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 120
Şekil 6.8	Tasarım 1 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 120
Şekil 6.9	Tasarım 1 çökmenin A, B, C, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 122
Şekil 6.10	Tasarım 1 basma dayanımının A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 123
Şekil 6.11	Tasarım 1 basma dayanımının A, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 125
Şekil 6.12	Tasarım 1 çökmenin AB, AC ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 126
Şekil 6.13	Tasarım 1 basma dayanımının AB, AC, AD, AE ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 128
Şekil 6.14	Box-Cox grafikleri, Tasarım 2, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 135
Şekil 6.15	Tasarım 2 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 136
Şekil 6.16	Tasarım 2 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 137

Şekil 6.17	Tasarım 2 basma dayanımının A,C, D ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	138
Şekil 6.18	Tasarım 2 basma dayanımının AC iki faktör etkileşimine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	139
Şekil 6.19	Box-Cox grafikleri, Tasarım 3, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	144
Şekil 6.20	Box-Cox grafikleri, Tasarım 3, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	145
Şekil 6.21	Tasarım 3 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	148
Şekil 6.22	Tasarım 3 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	148
Şekil 6.23	Box-Cox grafikleri, Tasarım 4, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	156
Şekil 6.24	Box-Cox grafikleri, Tasarım 4, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	157
Şekil 6.25	Tasarım 4 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	159
Şekil 6.26	Tasarım 4 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	160
Şekil 6.27	Tasarım 4 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	161
Şekil 6.28	Tasarım 4 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	162
Şekil 6.29	Tasarım 4 basma dayanımının A, B, C ve D etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	164
Şekil 6.30	Tasarım 4 basma dayanımının A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	165
Şekil 6.31	Tasarım 4 çökmenin AC ve AD iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$	166
Şekil 6.32	Tasarım 4 çökmenin BD iki faktör etkileşimine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	168
Şekil 6.33	Tasarım 4 basma dayanımının AC ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$	169

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Çimento kimyasında kullanılan kısaltmalar ve tipik portland çimentosu bileşenlerinin kütlece yaklaşık oransal değerleri [35, 36, 37]	13
Çizelge 2.2	Portland çimentosu ana bileşenlerinin özellikleri [39, 36]	14
Çizelge 2.3	Agrega özellikleri ile beton içerisindeki başarımları arasındaki ilişki [51] ..	18
Çizelge 2.4	Tane şekli sınıflandırması [51].....	20
Çizelge 2.5	Agregaların yüzey dokuları [57]	21
Çizelge 4.1	Çoklu lineer regresyon için veri planı [2].....	43
Çizelge 4.2	Çoklu regresyon anlamlılığı için varyans çözümlemesi [2].....	48
Çizelge 5.1	2^2 tasarımda etkilerin hesabı için işaretler [2]	66
Çizelge 5.2	2^3 tasarımda etkilerin hesabı için işaretler [2]	67
Çizelge 5.3	2^k faktöriyel tasarımlar için önerilen üretici seçimleri [102].....	74
Çizelge 6.1	Beton özelliklerini etkileyen faktörler	76
Çizelge 6.2	Beton özelliklerini etkileyen kontrol edilebilir faktörler	77
Çizelge 6.3	Hazır beton tesislerinden derlenen veriler	78
Çizelge 6.4	Tesislerden derlenen veri sayıları ve ikinci derece model tasarımları için gerekli deneme sayıları	80
Çizelge 6.5	Kullanılan agregalar ve özellikleri.....	81
Çizelge 6.6	CEM I 42.5 R çimento özellikleri [103]	82
Çizelge 6.7	CEM V/A (S-P) 32.5 R çimento özellikleri [103].....	83
Çizelge 6.8	SDÇ 32.5 R çimento özellikleri [103]	84
Çizelge 6.9	2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	85
Çizelge 6.10	2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	85
Çizelge 6.11	2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	86
Çizelge 6.12	2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	86
Çizelge 6.13	2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	87
Çizelge 6.14	2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	87
Çizelge 6.15	2^{6-2} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	89
Çizelge 6.16	2^{6-2} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	89
Çizelge 6.17	2^{6-2} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	90
Çizelge 6.18	2^{6-2} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	90
Çizelge 6.19	2^{6-2} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	91
Çizelge 6.20	2^{6-2} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	92
Çizelge 6.21	2^{6-1} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	93
Çizelge 6.22	2^{6-1} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	93
Çizelge 6.23	2^{6-1} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	94

Çizelge 6.24	2^{6-1} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	95
Çizelge 6.25	2^{6-1} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	96
Çizelge 6.26	2^{6-1} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	97
Çizelge 6.27	2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	99
Çizelge 6.28	2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	100
Çizelge 6.29	2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımda eşdeş terimler	100
Çizelge 6.30	2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	101
Çizelge 6.31	2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	103
Çizelge 6.32	2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	107
Çizelge 6.33	2^{7-3} tasarımı basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$) .	107
Çizelge 6.34	2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	108
Çizelge 6.35	2^{7-3} tasarımı basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$) .	108
Çizelge 6.36	D-Eniyileme tasarım etki değişkenleri harf kodlaması.....	110
Çizelge 6.37	D-Eniyileme tasarım ek deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	111
Çizelge 6.38	D-Eniyileme tasarım ek deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	111
Çizelge 6.39	Tasarım 1 özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	112
Çizelge 6.40	Tasarım 1 özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	112
Çizelge 6.41	Tasarım 1 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	113
Çizelge 6.42	Tasarım 1 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)...	114
Çizelge 6.43	Tasarım 1 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	114
Çizelge 6.44	Tasarım 1 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)...	115
Çizelge 6.45	Tasarım 1 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	118
Çizelge 6.46	Tasarım 1 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	118
Çizelge 6.47	Farklı tepki fonksiyonlarına ait tasarım kodlamaları.....	132
Çizelge 6.48	Tasarım 2 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	133
Çizelge 6.49	Tasarım 2 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)...	134
Çizelge 6.50	Tasarım 2 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	136
Çizelge 6.51	Tasarım 3 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	141
Çizelge 6.52	Tasarım 3 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)...	141
Çizelge 6.53	Tasarım 3 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	142
Çizelge 6.54	Tasarım 3 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)...	143
Çizelge 6.55	Tasarım 3 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	147
Çizelge 6.56	Tasarım 3 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	147
Çizelge 6.57	Tasarım 4 deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	149
Çizelge 6.58	Tasarım 4 deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	151
Çizelge 6.59	Tasarım 4 özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	152
Çizelge 6.60	Tasarım 4 özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	153
Çizelge 6.61	Tasarım 4 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	154
Çizelge 6.62	Tasarım 4 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)...	154
Çizelge 6.63	Tasarım 4 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)	154
Çizelge 6.64	Tasarım 4 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)...	155

Çizelge 6.65	Tasarım 4 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	158
Çizelge 6.66	Tasarım 4 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	159
Çizelge 6.67	Eniyileme için beton sınıfı alt ve üst sınırları [29, 63, 76, 104]	170
Çizelge 6.68	Eniyileme için kullanılan kısıtlar, ağırlık değerleri ve önem katsayıları.	171
Çizelge 6.69	Eniyileme sonucu elde edilen ilk iki sonuca ait değerler ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$).....	171
Çizelge 6.70	Eniyileme sonucu elde edilen ilk iki sonuca ait değerler ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$).....	172
Çizelge 7.1	Çökme model terimlerine ait p-değerleri ve model istatistik özetler...	176
Çizelge 7.2	Basma dayanımı model terimlerine ait p-değerleri ve model istatistik özetler	177
Çizelge 7.3	Tanılamalar durum istatistiğinde sınır değerleri aşan deneme noktası sayıları	189

TEPKİ YÜZEYİ YÖNTEMBİLGİSİNİN BETON UYGULAMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

M. Timur CİHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nabi YÜZER
Eş Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER

Bütünsel nitelik yönetimi uygulamalarında müşteriye uygun nitelik düzeyine sahip ürün sunabilmek amacıyla tepki yüzeyi yöntembilgisi kullanılmaktadır. Beton uygulamalarında en uygun standard sapma aralığında istenen işlenebilme ve dayanımda betonlar üretmek önemlidir. Bu amaçla çok sayıda parametrenin etkin olduğu hazır beton üretiminde öncelikle istenen işlenebilme ve basma dayanımına etki eden eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenler belirlendi (Su/Çimento (S/Ç), dozaj, Çimento standard dayanımı (f_{cc}), karışım agrega incelik modülü (k_k), ince agrega (İA), katkı maddesi (kimyasal katkı maddesi, KM) ve agrega türü (AT)).

Belirlenen kontrol edilebilir değişkenlerin uygulamada kullanılan farklı en büyük tane büyüklükleri için farklı değişim aralıklarına sahip olması gerekir. Bu nedenle uygulamada en çok kullanılan 11.2 mm ve 22.4 mm en büyük tane büyüklüğü için ayrı tasarımlar gerçekleştirildi. Özellikle bu çalışmada “eş zamanlı kontrol edilebilir” deyiimi, bileşenlerin her birinin deneyleri ile beton deneyleri arasında uzunca bir zaman farkı bulunan hazır beton uygulamasındaki tersine, özellikleri bilinen bileşenlerle üretilmiş beton özelliklerinin belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır.

Tepki yüzeyi yönteminin birçok uygulaması doğasında ardışıklık (peşpeşe gelen işlemler dizisi) içerir. Bu ardışıklığın kapsamı “eleme deneyleri (evre sıfır)”, “evre bir” ve “evre iki” olarak adlandırılır. Eleme deneyleri kapsamında 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım, “evre bir” ve “evre iki” kapsamında D-Eniyileme tasarımı kullanıldı.

İşlevsel bölgenin belirlenebilmesi için öncelikle kontrol edilebilir etki değişkenlerinin değişim aralıkları beton çökme değeri üzerinde 2^{7-3} , 2^{6-2} ve 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımlar gerçekleştirilerek belirlendi. Değişim aralıkları belirlenen 7 kontrol edilebilir etki değişkeni için 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$

betonlarda “karışım agrega incelik modülü” ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm betonlarda “ince agrega” etki değişkenlerinin çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri üzerinde anlamlı düzeyde etkiye sahip olmadıkları belirlendi. Her iki en büyük agrega tane büyüklüğü için kontrol edilebilir etki değişkeni sayısı 6’ya indirildi ve gerçek tepki fonksiyonlarının (model) elde edilebilmesi için 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım yükseltgenerek elde edilen D-Eniyileme tasarımı kullanıldı. D-Eniyileme tasarımından elde edilen (köşe (gerçek) ve merkez noktalara sahip) veriler üzerinde farklı model terimleri seçilerek Tasarım 1, 2 ve 3 için tepki modelleri oluşturuldu. Beton basma dayanımı için uygulamada kullanılmakta olan $\frac{c}{(c+s+h)}$ etki değişkeni de $S/\frac{c}{c}$ etki değişkeni yerine kullanılarak tepki modelleri oluşturuldu (Tasarım 4).

Model uygunluğunun iyileştirilmesi amacıyla $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1 (Karekök), 2 (Karekök), 3 (Karekök) ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 (Kuvvet), 2 (Kuvvet), 4 (Kuvvet)’de çökme tepki değişkenine dönüştürücü uygulandı. Basma dayanımı tepki değişkenine ise $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 (Doğal logaritma), 2 (Doğal logaritma), 3 (Ters karekök) ve 4 (Ters karekök)’de dönüştürücü uygulandı fakat $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için sadece Tasarım 1 (Karekök)’de dönüştürücü uygulandı, Tasarım 2, 3, 4’de dönüştürücü uygulanmadı.

Tasarım 1, 2, 3 ve 4’de çökme ve basma dayanımına ait modellerin anlamlı olduğu ($p(\text{Model}) < 0.0001$) görülmektedir. Buna rağmen tasarımların “uyum yokluğu”nun anlamlılığı tasarımlara göre değişkenlik göstermektedir. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm’de çökme tepki değişkenine ait uyum yokluğu değerleri Tasarım 1, 2, 3’de anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun), Tasarım 4’de anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz) olmaktadır. Basma dayanımına ait uyum yokluğu değerleri ise Tasarım 1, 3’de anlamsız, Tasarım 2, 4’de anlamlı elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm’de çökmeye ait uyum yokluğu değerleri Tasarım 1, 2, 3’de anlamlı, Tasarım 4’de anlamsız ve basma dayanımına ait uyum yokluğu değerleri ise Tasarım 1, 2, 4’de anlamsız, Tasarım 3’de anlamlı elde edildi.

Çökme için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 ’nin en düşük değerleri Tasarım 4’te (sırasıyla, 0.8154, 0.7758 ve 0.6920), en yüksek değerleri Tasarım 3’te (sırasıyla, 0.9305, 0.9045 ve 0.8665) elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük değerleri Tasarım 4’te (sırasıyla, 0.8794, 0.8552 ve 0.7942), en yüksek değerleri Tasarım 3’te (sırasıyla, 0.9713, 0.9475 ve Tanımsız) elde edildi.

Basma dayanımı için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 ’nin en düşük değerleri Tasarım 4’te (sırasıyla, 0.9540, 0.9479 ve 0.9341), en yüksek değerleri Tasarım 1’de (sırasıyla, 0.9798, 0.9730 ve 0.9618) elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük R^2 değeri Tasarım 1, 2 ve 4’te (sırasıyla, 0.9765, 0.9765 ve 0.9770), en yüksek değeri Tasarım 3’te (0.9838), en düşük ayarlı R^2 değeri Tasarım 4’te (0.9693), en yüksek değeri Tasarım 3’te (0.9748) ve en düşük tahmini R^2 değeri Tasarım 3’te (0.9301), en yüksek değeri Tasarım 1 ve 2’de (0.9651) elde edildi.

Tanılamalar durum istatistiğinde sınır değerleri aşan deneme sayıları Tasarım 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla 14, 4, 23 ve 6 elde edildi. Tasarım 3’te en fazla (16) olmak üzere, sınır değerleri aşan toplam deneme sayısı 35 olarak, “dengeleme (manivela)” değerlerinde gerçekleşti.

Tasarım 1, 2 ve 3 deneme noktaları (sayıları) her bir etki değişkeninin köşe (gerçek) (alt ve üst sınır) ve merkez noktalarında olacak şekilde belirlendi. Su/Çimento etki değişkeninin $\frac{c}{(c+s+h)}$ olarak değiştirilmesi ile oluşturulan Tasarım 4 deneme noktaları her bir etki değişkeninin (özellikle kategorik etki değişkeninin) köşe ve merkez noktalarına tekabül etmemektedir. Bu nedenle tasarımların karşılaştırılması yapılırken özellikle etki değişkenleri farklı olan tasarımların ayrı düşünülmesi gerekmektedir.

Belirlenen etki değişkenlerinin ana, ikinci dereceden ve ikinci, üçüncü vb. mertebeden etkileşimli terimlerin tepki değişkenleri üzerindeki anlamlı etki düzeylerini fiziksel olarak açıklamak mümkündür. Ayrıca modele eklenen terim sayısının artırılması ile elde edilen modelin R^2 değerinin yüksek olması (yaklaşık > 0.90), yani modelden her bir deneme noktasında gerçek değer elde edilmesi (artık = 0) deneysel, ölçüm ve kontrol edilemeyen etki değişkenlerinin etkilerinin de modelde bulunmasına yol açacaktır. Bu nedenle modelin gerçekleşen anlamlılığı, $p(\text{Model}) < 0.0001$ (\ll anlamlılık $\alpha = 0.0100$) ve R^2 değerinin yüksek olması fiziksel olarak modelin anlamlı olduğunu kanıtlamak için yeterli değildir. Her bir deneme noktasına ait tanılamalar durum istatistiklerinin (dengeleme, Cook's mesafesi vb.) değerlendirilerek ve tepki yüzeylerinin oluşturularak tepki değişkenlerinin işlevsel bölge içerisinde kalıp kalmadığının da göz önüne alınması gerekir.

İstatistiksel çözümlenmelerde seçilen anlamlılık düzeyi (α) değiştikçe modele eklenen terim sayısı değişmektedir. Terim sayısının artması genelde R^2 değerini yükseltmekte, fakat modelin barındıracağı deneysel, ölçüm vb. hatâlarının etkinliğini de artırmaktadır. Bu nedenle farklı anlamlılık düzeyleri için modeller oluşturularak en uygun modelin belirlenmesi gerekir.

Kontrol edilebilir değişkenlerin değişim aralıklarının türsel etkenler (kategorik faktörler; kalker ve bazalt) için ayrı ayrı belirlenmesi kontrol edilebilir etki değişkenlerinin etki düzeylerinin anlamlı olarak belirlenebilmesi bakımından uygun olmaktadır. Agregatın kaynağı, tane biçim ve yüzey özellikleri gibi kategorik özellikler sayısallaştırılabilir ve kontrol edilebilir duruma getirilebilirlerse birlikte değerlendirilebilirler.

Beton bileşimi tasarımı iyileştirilmesi çalışmalarında etki değişkenleri türlerinin ayrımları istenen tepki değişkeni tür ve düzeylerinin arzu edilirlilik düzeylerine göre belirlenmeli, eşzamanlılık düzeyini uyumlulaştırmak üzere, deney sıklıklarından başlayarak, nitelik denetim düzeyi, kayıpları en aza indirecek biçimde uygun seçilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Beton, çökme, basma dayanımı, tepki yüzeyi yöntembilgisi, kısmî faktöriyel tasarım, D–Eniyileme tasarımı, arzu edilirlilik

**DEVELOPMENT OF THE IMPLEMENTATION OF RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY IN CONCRETE TECHNOLOGY**

Mehmet Timur CİHAN

Department of Civil Engineering

Ph. D. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Nabi YÜZER

Co-Advisor: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER

The response surface methodology (RSM) is used for providing the customer with a product of adequate quality level. In concrete industry, it is important to produce concretes having workability and strength each within corresponding appropriate range of standard deviation. To this end, simultaneously controllable variables significantly affecting workability and strength were determined from among the many parameters in the ready-mixed concrete production (S/Ç (water/cement ratio by mass), Dosage (cement content), f_{cc} (cement standard strength), k_k (fineness modulus of aggregate), İA (fine aggregate percentage of the aggregate mix by absolute volume), KM (plasticizer content), and AT (aggregate stone origin)).

The ranges of controllable variables differ with the maximum aggregate size. Therefore, separate designs were performed for the most widely used maximum particle sizes of 11.2 mm and 22.4 mm. The term “simultaneously controllable” in the context of this work is used in the sense that the properties of concrete mixes were determined using constituents with known properties, as opposed to that in ready-mixed concrete industry where there are considerable time lags between the tests on each of the constituents and the concretes produced.

The application of response surface methodology incorporates series of sequential operations. These operations are named as “screening experiments (phase 0)”, “phase 1” and “phase 2”. In the screening experiments 2^{7-3} fractional factorial design was used, and D-Optimal designs were used in “phase one” and “phase two”.

The feasible zone or “operability region” was determined by performing 2^{7-3} , 2^{6-2} and 2^{6-1} fractional factorial designs on the cone slump values of concrete mixes. The results of 2^{7-3} fractional factorial design showed that the “aggregate mix fineness modulus” in

the $D_{\max} = 11.2$ mm concretes, and the “fine aggregate content (iA)” in the $D_{\max} = 22.4$ mm concretes did not have significant effects on the response variables, namely, cone slump and compressive strength. Hence, the numbers of controllable effect variables were reduced to 6 for both of the D_{\max} designs, and the D-Optimal designs obtained by augmenting (forward selecting) the 2^{7-3} fractional factorial designs were used. Response models were set up for the designs 1, 2 and 3, selecting model terms from sets of data (with vertex and central) points obtained from the D-Optimal design. Response models (Design 4) were set up also with the effect variable $\zeta/(\zeta+s+h)$ in use in concrete technology instead of the effect variable S/ζ .

Transformation was applied on the slump response variable to improve the model adequacy for the $D_{\max} = 11.2$ mm Designs 1 (Square root), 2 (Square root), 3 (Square root), and $D_{\max} = 22.4$ mm Designs 1 (Power), 2 (Power), 4 (Power). As for the compressive strength response variable, transformations were applied for $D_{\max} = 22.4$ mm Designs 1 (Natural log), 2 (Natural log), 3 (Inverse square root) and 4 (Inverse square root), and for $D_{\max} = 11.2$ mm Design 1 (Square root) only, not in Designs 2, 3 or 4.

It can be seen that the compressive strength and cone slump models are significant ($p(\text{Model}) < 0.0001$) in the Designs 1, 2, 3 and 4. However, the significance of the “lack of fit” varies with designs. The significance of lack of fit of the cone slump response variable for the $D_{\max} = 11.2$ mm Designs 1, 2, 3 are not significant (in other words, the models obtained are adequate within the determined operable region), significant in the Design 4 (in other words, the models obtained are inadequate within the determined operable region). The lack of fit for the compressive strength for $D_{\max} = 11.2$ mm is insignificant for the Designs 1, 3, but significant for the Designs 2, 4. The lack of fit for the cone slump for $D_{\max} = 22.4$ mm came out to be significant in the Designs 1, 2, 3, insignificant in the Design 4, and, as for the compressive strength, the lack of fit was found to be insignificant in the Designs 1, 2, 4, significant in the Design 3.

In the cone slump models, for $D_{\max} = 11.2$ mm, the minimum values of the R^2 , the adjusted R^2 and the predicted R^2 (0.8154, 0.7758 and 0.6920, respectively) were obtained in the Design 4, and the maximum values (0.9305, 0.9045 and 0.8665, respectively) were obtained in the Design 3. As for the $D_{\max} = 22.4$ mm, the minima (0.8794, 0.8552 and 0.7942, respectively) were obtained in the Design 4, and the maxima (0.9713, 0.9475 and -(Undefined)) were obtained in the Design 3.

In the compressive strength models, for $D_{\max} = 11.2$ mm, the minimum values of the R^2 , the adjusted R^2 and the predicted R^2 (0.9540, 0.9479 and 0.9341, respectively) were obtained in the Design 4, and the maximum values (0.9798, 0.9730 and 0.9618, respectively) were obtained in the Design 1. As for the $D_{\max} = 22.4$ mm, the minimum R^2 (0.9765, 0.9765 and 0.9770, respectively) were obtained in the Designs 1, 2, 4, and the maximum R^2 (0.9838) was obtained in the Design 3, the minimum adjusted R^2 (0.9693) was obtained in the Design 4, the maximum (0.9748) was obtained in the Design 3, the minimum predicted R^2 (0.9301) was obtained in the Design 3, and the maximum (0.9651) was obtained in the Designs 1 and 2.

In the diagnostic case statistics, the number of runs exceeding the limiting values for the Designs 1, 2, 3 and 4 were obtained as 14, 4, 23 and 6, respectively. The maximum

total number of runs exceeding the limits, being 35, was in the leverage values, the maximum (16) taking place in the Design 3.

The run points of the Designs 1, 2 and 3 were chosen as the corners (lower and upper limits) and the central points of the corresponding effect variables. The run points of the Design 4 made by substituting $\zeta/(\zeta+s+h)$ instead of S/ζ ratio do not correspond to the corner or central points of the effect variables (especially the categoric variables). Therefore, the comparison of the designs should be made separately, taking into consideration the corresponding different sets of effect variables.

It is possible to explain on physical bases the levels of significance of the effect variables in the first, second, the third and higher order interaction terms on the response variables. Nevertheless, increasing R^2 value (approximately > 0.90) by addition of terms (in forward selection), that is, the model's yielding almost exactly the recorded data value (with residuals ≈ 0), will be accompanied by the incorporation of the effects of errors in the related measurements and amplify the effects of uncontrollable variations. Therefore, a straight, simple statistical significance based on hypotheses testing (that is, $p(\text{Model}) < 0.0001$ (\ll level of significance $\alpha = 0.0100$)) and R^2 being close to unity is not sufficient for the model to qualify as physically significant. The diagnostic case statistics (leverage, Cook's distance, etc.), the response surfaces, and the response values' ranges as compared to the functional or feasible ranges should also be taken into account for an accurate assessment of the model.

The level of significance (α) adopted in statistical analyses influences the number of terms included in the model. In general, an increase in the number of terms causes an increase in R^2 towards unity, but also amplifies the effects of experimental and measurement errors. Therefore, an investigation incorporating models for various levels of significance is required for determining an optimal model.

It is appropriate to determine feasible regions for sets of categoric effect variables (such as aggregate stone type for limestone and basalt separately) for a proper determination of statistical significance levels of the effect variables. The categoric properties such as stone type (geological origin), particle shape and surface properties of the aggregate can be included in a unified model if they can be made controllable, and reliable numerical values can be assigned.

In the optimization operations of concrete mix designs, the types of effect variables should be chosen according to the desirability levels of the response variables; the level of quality control, starting with the sampling frequencies, should be adopted to achieve sufficient level of concurrency so as to minimize losses.

Key words: Concrete, slump, compressive strength, response surface methodology, fractional factorial design, D–Optimal design, desirability

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Farklı sanayi dallarında uygulanan bütünsel nitelik yönetimi uygulamalarında temel amaç, üretkenliği arttırıcı ve maliyeti düşürücü etki sağlamak üzere müşteriye uygun nitelik düzeyine sahip ürün sunmaktır. Nitelik, bir ürünün üretim sürecinde onun bir parçası olarak üretilir ve müşteriye sunulur. Daha sonra ürün üzerine ilıstirilemez veya eklenemez. Bütünsel nitelik yönetiminin yönetsel ilkelerinden biri olan “sürecin iyileştirilmesi, geliştirilmesi, eniyileştirmesi ve niteliğın iyileştirilmesi”ni sağlamak için farklı yöntemler uygulanmaktadır (tepki yüzeyi yöntembilgisi, Taguchi tasarımları, ikinci dereceden model için tasarımlar, optimal tasarımlar, madde karışım deneyleri ile ilgili tasarımlar vb.).

Türkiye’de hazır beton uygulamalarına 1980’li yıllarda geçilmiştir. Sektör Türkiye’de 1992-1998 yılları arasında 4 misli büyüme kaydetmiştir. 2004 yılı hazır beton üretimi 21 015 886 m³ olmuştur [1]. Nitelik güvence talebi ve serbest rekabet ortamı hazır beton sektöründe bütünsel nitelik yönetimi uygulanmasını ayrıca zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda çoklu eniyileme amacıyla tepki yüzeyi yöntembilgisi [2, 3] kullanılarak hazır beton üretiminde etki parametrelerinin etkinlik düzeylerine göre elenerek sayılarının ve değışkenliklerinin uygun biçimde azaltılması gerekmektedir.

Her uygulama aşamasında çok sayıdaki beton karışım tasarımlarından hangisinin uygun (eniye) değeri en uygun standard sapma aralığında (nitelik düzeyinde) sağlayacağı uygulama açısından önemlidir. Karışım tasarımlarının amacı, belirli ürün özelliklerinin istenen güvenilirlik düzeylerinde, istenen amaçları karşılayacak, örnek olarak, istenen işlenebilme ve dayanımda betonlar üretmek için uygun malzemelerin ve bunların karışım oranlarının belirlenmesidir. Bir karışım tasarımının gerçek değeri nin ölçüsü,

istenilen amaçlara uygun en düşük maliyetli beton üretimi için uygun özellikte malzemelerin seçimi ve bunların karışım oranlarının elde edilmesine yol gösterebilme düzeyidir.

Bu amaçla, çok sayıda parametrenin etkin olduğu hazır beton üretiminde öncelikle taze beton işlenebilirliği ve beton basma dayanımına etki eden eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenler belirlendi. Buradan hareketle belirlenen eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenlerin tepki değişkenleri (çökme ve basma dayanımı) üzerindeki tek tek ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin etki düzeyleri belirlenerek tepki yüzeyi grafikleri oluşturuldu. Kontrol edilebilir değişkenlerinin etki düzeyleri ve tepki yüzeyi grafikleri “Design-Expert Version 7.1 [4]” bilgisayar programı ile gerçekleştirildi.

Beton özelliklerine etki eden eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenler 7 adet olarak belirlendi. Belirlenen kontrol edilebilir değişkenlerin uygulamada kullanılan farklı en büyük tane büyüklükleri için farklı değişim aralıklarına sahip olması gerekir. Bu nedenle uygulamada en çok kullanılan 11.2 mm ve 22.4 mm en büyük tane büyüklüğü için ayrı tasarımlar gerçekleştirildi [5]. Bu çalışmada “eş zamanlı” deyimini, özellikleri bilinen bileşenlerle üretilmiş beton özelliklerinin belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Hazır beton üretimi uygulamasında bileşen özellikleri belirli zaman aralıklarıyla belirlenmekte ve üretim miktarına, geçen sürelerle bağlı olarak herhangi bir beton harmanına giren bileşenlerin özellikleri belirli bir tarihtekinden farklı olabilmektedir. Araştırma amaçlı laboratuvar çalışmalarında üretilen beton özellikleri ile bileşimine giren malzemelerin özellikleri tam eş zamanlı olduğu kabul edilebilir.

Tepki yüzeyi yönteminin birçok uygulaması doğasında ardışıklık (peşpeşe gelen işlemler dizisi) içerir. Bu ardışıklığın kapsamı “eleme deneyleri (evre sıfır)”, “evre bir” ve “evre iki” olarak adlandırılır. Eleme deneyleri, önemli etmenlerin belirlenmesine, “evre bir” aşaması, bağımsız değişkenlerin mevcut seviyelerini eniyi yakınında olacak şekilde bir tepki üretebildiklerini veya işlemin eniyiden daha uzak farklı bir bölgede mi gerçekleştiğinin belirlenmesine ve son aşama olarak “evre iki”, genellikle eniyi civarındaki nispeten küçük bir bölge içerisinde gerçek tepki yüzeyini doğru şekilde tahmin edecek modelin belirlenmesine imkân sağlayacaktır.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde bilinen anlamı ile tepki yüzeyi çalışmalarına Box ve Wilson (1951) [6] tarafından başlandığını söyleyebiliriz. Tepki yüzey yöntembilgisi (TYY)'nin tarihsel gelişimini özetleyen beş önemli makale mevcuttur [7-11]. Mead ve Pike (1975) [8] TYT çalışmalarının başlangıcını tepki eğrileri olarak gösterirler. Diğer kaynaklarda TYT çalışmalarının başlangıcı Box ve Wilson'a (1951) [6] dayandırılır. Böylelikle TYT çalışmaları Box ve Wilson (1951)'dan önce ve sonra olarak ikiye ayrılabilir. Box ve Wilson (1951)'dan önceki çalışmalar [12] kaynağında kısaca özetlenmiştir.

Box ve Wilson'ın katkıları, deney tasarımlarının tepki yüzey yöntemlerinin içine alınması, en uygun koşulların belirlenmesi, değişik deney tasarımlarına ilişkin performans karşılaştırma fikri, eniyileme tekniklerinin mukabele yüzeyi yöntemlerinin içine girmesi ve en iyi noktaların bulunmasında en hızlı çıkış veya iniş yönteminin benimsenmesi, merkezsiz birleşik tasarımların istatistik literatürüne kazandırılması olarak sıralanabilir [9].

Box ve Wilson'dan sonraki gelişim, tasarım düzeyindeki gelişmeler ve analiz düzeyindeki gelişmeler olarak ikiye ayrılabilir. Tepki yüzeylerinin kullanıldığı uygulama alanlarındaki ve model yapılarındaki değişikliğe paralel olarak yeni tasarımlar geliştirilmiş ve günümüzde de geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu tasarımlardan bazıları: dönersel tasarımlar, sağlam (**robust**) tasarımlar, ikinci dereceden model için tasarımlar, eniyileme tasarımları, madde karışım deneyleri ile ilgili tasarımlar ve özel amaçlı tasarımlardır. Bu tasarımlarla ilgili olarak literatürdeki bazı önemli çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [9].

- Dönersel tasarımlar: Box ve Hunter (1957), Khuri (1988), Draper ve Guttman (1988).
- Sağlam parametre tasarımlar: Box ve Draper (1959, 1963), Draper ve Lawrence (1965), Box ve Draper (1975), Herzberg ve Andrews (1976), Draper ve Herzberg (1973, 1979), Vuchkov ve Boyadjieva (1983), Draper ve Guttman (1986).
- İkinci derece model için tasarımlar: Box ve Wilson (1951), Box ve Hunter (1957), Hartley (1959), Box ve Belinken (1960), Roouemore (1976), Mitchell ve Bayne (1978), Welch (1982), Notz (1982).

- Optimal tasarımlar: Kiefer ve Wolfowitz (1959,1960), Mitchell (1974), St. John ve Draper (1975), Ash ve Hedayat (1978), Silvey (1980), Bandemer (1980), Galil ve Kiefer (1980), Atkinson (1982), Pazman (1986).
- Madde karışım deneyleri ile ilgili tasarımlar: Scheffe (1958), Cornell (1973, 1979), Snee (1981), Piepel (1983), Aitchison ve Bacon-Shone (1984), St. John (1984), Crosier(1984).
- Özel amaçlı tasarımlar: Dykstra (1966), Gaylor ve Menill (1968), Covey-Crumb ve Silvey (1970), Mayer ve Hendrickson (1973), Zacks (1977), Evans (1979).

Tepki yüzeyleri son yıllarda yaşam (ömür) analizi verilerine, sayma verilerine ve ikili tepkili verilere uygulanmaktadır. Bu veri tiplerine, tıpta, biyolojide ve sanayide sıkça rastlanmaktadır. Tepki yüzeylerinin uygulama alanlarının genişlemesiyle, model yapılarında da değişiklikler olmuştur. Bu değişiklikler, özellikle Poisson ve Gamma modellerinin tepki yüzeylerinde kullanılması fikrini ön plana çıkarmıştır [12]. Ayrıca, yapılan bu çalışmalara paralel olarak son yıllarda "Bayeşçi tasarımlar" gündeme gelmiştir [12]. Bu konularla ilgili olarak son yıllarda istatistik literatürüne girmiş önemli çalışmalar aşağıdaki şekilde verilebilir [10]:

- ✓ Oris ve Bailer (1993), Fuller (1994), Chaloner ve Verdinelli (1995), Myers et al. (1996), Vining ve Schaub (1996), Andre-Renden et. al. (1997), Myers ve Montgomery (1997).

Bunlara ek olarak, "Bayeşçi tasarımların" farklı uygulamalarına örnek olarak, DuMochel ve Jones (1994), Lin, Myers ve Ye (2000), Jia ve Myers (2001), Sitter ve Torsney (1995) ve Atkinson ve Haines (1996) çalışmaları verilebilir [11].

Tepki yüzey analizlerinde "en hızlı çıkış" yöntemiyle ilgili olarak Davies (1954), Myers ve Khuri (1979) kaynakları önemlidir [10]. Tepki yüzey analizinin önemli konuları kanonik analiz, ridge analizi ve çoklu-tepki analizi olarak düşünülebilir. Kanonik analiz ve kanonik analiz sonuçlarının yorumlanması ile ilgili olarak son yıllarda yayımlanan Watts (1995)'in makalesi oldukça öğretici niteliktedir [12]. Tepki yüzeylerinde ridge (tepe çizgisi) sistemleri ve analizleri konularıyla ilgili olarak, Hoerl (1959), Draper (1963), Khuri ve Myers (1979) ve Carter et. al. (1986) kaynaklarına bakılabilir [12]. Çoklu tepki analizinin tarihsel gelişimiyle ilgili olarak, Lind et. al. (1960), Box ve Draper (1965),

Myers ve Carter (1973), Derringer-Suich (1980), Bates ve Watts (1985), Wijesinha ve Khuri (1987) kaynaklarına başvurulabilir [12]. Tepki yüzey analizlerine literatürde geniş yer ayrılmıştır. Son yıllarda parametrik olmayan tepki yüzey yöntemleri konularında önemli çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda kullanılan üç önemli teknik (yapay) sinir ağları ((artificial) neural networks), normal stokastik süreçler ve spline'lar (parçalı eğriler, "splines") olarak verilebilir [12]. Ayrıntılı bilgi için Haaland et. al. (1994) kaynağına bakılabilir [10].

Tepki yüzeyi yöntembilgisi uygulama alanları, yarı iletken ve elektronik, uzay, otomotiv, biyoteknoloji, eczacılık, tıbbî aletler, ilaç sanayii ve diğer üretim süreç sanayileri olarak sıralanabilir. Bu alanlarda gerçekleştirilen uygulamalara örnekler; Tarum & Rizman (1993), Mahadevan & Narendran (1993), D'Angelo vd. (1996), D'Angelo vd. (1998), Shang & Tadikamalla (1993), Kenne & Gharbi (1999), Kenne & Gharbi (2000), Irizarry vd. (2001a-b), Cochran & Horng (1999), Horng & Cochran (2001), Chen & Chen (1996), Lee & Ho (2002), Spedding vd. (1998), McAllister vd. (2001), Sohn & Oh (2004), Leon & Cabrera (1997), Dabbas vd. (2001), Dabbas & Fowler (1999) ve Shang vd. (2004) çalışmaları verilebilir [13].

Tepki yüzeyi yöntembilgisi ile ilgili çimento ve beton alanında yayınlanan araştırmalara ait özetler ise aşağıda verildi:

- ✓ C. Cau Dit Coumes, S. Courtois, "Investigation of the combined action of borate, chloride, sulfate and phosphate on cement hydration using response surface methodology", [14]:

Çalışmada tepki yüzey yöntembilgisi kullanılarak (kanonik formda özel küp model) bor, klorür, sülfat ve fosfatın çimento hidrasyonuna ortak etkileri incelenmiştir. Tepki değişkenleri olarak çimento bulamacı viskozitesi, çimento hidrasyon ısısı, basma dayanımı ve 90 gün su içerisinde küre tabi tutulan 40×40×160 mm boyutlarındaki numunelerde oluşan genleşmeler dikkate alınmıştır. Yüksek fosfat içeriğinin özenle hazırlanmış malzemelerin birçok özeliğini iyileştirdiğinin görüldüğü bildirilmektedir.

- ✓ A. M. Grabiec, Z. Piasta, "Study on compatibility of cement-superplasticiser assisted by multicriteria statistical optimization" [15]:

Tepki yüzey yöntembilgisi kullanılarak melamin türü bir süper akışkanlaştırıcı ve çimentonun uyumluluğu incelenmiştir. Bu amaçla çimento hamuru özelliklerinden 28 günlük basma ve eğme dayanımı, kalsiyum hidroksit miktarı ve priz başlama süresi üzerinde, su/çimento, süper akışkanlaştırıcı miktarı ve çimento türünün (farklı C_3A içerikli etkisi dikkate alınarak en uygun su/çimento, süper akışkanlaştırıcı ve C_3A miktarı kombinasyonu belirlenmiştir.

✓ Mandal A., Roy P., “Modeling the compressive strength of molasses-cement sand system using design of experiments and back propagation neural network”, [16]:

Bu çalışmanın iki amacı bulunmaktadır. Birincisi melas-çimento kum karışımının basma dayanımı tahmini için merkezî birleşik tasarım ve geri beslemeli sinirsel ağa dayanan iki modelin geliştirilmesi ve elde edilen tahminlerin karşılaştırılmasıdır. İkincisi ise geri beslemeli sinirsel ağ için yapılandırma seçiminin ana hatlarını geliştirmektir. Bu amaçla, merkezî birleşik tasarım kullanılarak geliştirilecek model için melas ve çimento miktarındaki değişimin basma dayanımına etkisi incelenmiştir.

✓ M. Amiri, A. A. Najafi ve K. Gheshlaghi, “Response surface methodology and genetic algorithm in optimization of cement clinkering process”, [17]:

Çimento klinker üretim sürecinin eniyilemesi amacıyla 4 kontrol değişkeninin (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3), 6 nitel değişken (kireç doygunluk faktörü, silika modülü, alümin demir modülü, hidrolik modülü, minimum fırın sıcaklığı ve kaplama indeksi) üzerindeki etkisi tepki yüzey yöntembilgisi ve yeni bir teknik olan genetik algoritma ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki tekniğin de uygun koşulları sağladığını fakat tepki yüzey yöntemi ile göreceli daha iyi çözümlere ulaşıldığını göstermiştir.

✓ A. Chackchouk, L. Trifi, B. Samet ve S. Bouaziz, “Formulation of blended cement: Effect of process variables on clay pozzolanic activity” [18]:

Bu çalışmada puzolan gibi kullanılan kalsine killi harçların özelliklerinin incelenmesi ve eniyilemesi amacıyla üç değişkenli (kalsinasyon süresi, kalsinasyon sıcaklığı ve çimento harmanındaki kalsine kil miktarı) döndürülebilir ortogonal merkezi tasarım gerçekleştirilerek, 7, 28, 90 ve 180 günlük basma dayanımlarının değişimi gözlemlenmiş ve arzu edilirlilik fonksiyonları kullanılarak eniyileme gerçekleştirilmiştir. Kalsine kil

miktarı %25 olan çimento harmanının 750°C kalsinasyon sıcaklığında 3 saatlik kalsinasyon süresinde eniyi basma dayanım değeri elde edilmiştir.

✓ M. J. Simon, E. S. Lagergren, K. A. Snyder, "Concrete mixture optimization using statistical mixture design methods", [19]:

Çalışmada bazı performans kısıtları altında beton karışımındaki altı bileşenli (su, çimento, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı, iri agrega ve ince agrega) beton bileşimi eniyilemesi amacıyla istatistiksel karışım tasarımı tanımlanmış, SIMPLEX tasarımlar ve eniyileme için arzu edilirlilik fonksiyonları kullanılmıştır. Tepki değişkenleri olarak çökme, 1 ve 28 günlük dayanım ve hızlandırılmış klorür test sonuçları dikkate alınmıştır. Her zaman olduğu gibi karesel model her bir özellik için uygun sonuçları sağlamıştır. Ayrıca bu malzemelerle ve koşullar altında, denemeler için doğrusal modelin de 1 günlük dayanımın dışında yeterli uyumu sağladığı görülmüştür. Bunun elde edilmesi ile doğrusal model kullanılarak deneme sayısı yarıya indirgenebilmektedir.

✓ F. Bayramov, "Çimento esaslı kompozit malzemelerin eniyileme tasarımı", [20]:

Bu çalışma iki kısma ayrılmaktadır. Birinci kısımda amaç, agrega konsantrasyonunun eğme, basma veya yarma altında betonun kırılma parametreleri ve mekaniksel özelliklerine etkisini araştırmak olarak belirlenmiştir. İkinci kısımda, çelik tel boyluluk oranı ve içeriğinin eğme, basma veya yarma altında çelik tel donatılı betonun (ÇTDB) mekaniksel ve kırılma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çelik tel içeriği ve boyluluk oranına göre ÇTDB'un basma dayanımı, yarma-çekme dayanımı, net eğme dayanımı, elastisite modülü, özgül kırılma enerjisi ve karakteristik boy özelliklerinin eniyilemesinde üç düzeyli tam faktöriyel tasarım ve tepki yüzeyi yöntembilgisi kullanılmıştır.

✓ F. Köksal, "Çelik tel donatılı betonların mekanik davranışı ve eniyileme tasarımı", [21]:

Bu çalışmada çelik tel donatılı betonların eniyileme tasarımı için EFNARC deney yöntemi ile belirlenen toklukları ve yarma-çekme dayanımlarının maksimum ve çelik tel içeriğinin minimum olması planlanmıştır. Bu amaçla deneysel tasarım için iki faktörlü (çelik tel boyluluk oranı ve çelik tel içeriği) üç-seviyeli tam faktöriyel tasarım ve tepki yüzey yöntemi, eniyileme tasarım için ise çok amaçlı eniyileme teknikleri kullanılmıştır. Deneysel çalışma iki farklı su/çimento oranları için gerçekleştirilmiştir.

✓ E. K. K. Nambiar, K. Ramamurthy, “Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology”, [22]:

Çalışmada istatistiksel tasarım denemeleri vasıtası ile köpük (gaz) betonun basma dayanımı ve yoğunluğu için ampirik bir modelin geliştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla filler-çimento oranı, uçucu kül miktarı ve köpük hacmi değişkenlerinin 7, 28, 90 günlük basma dayanımı ve yoğunluk tepkilerindeki etkileri tepki yüzey yöntembilgisi ile incelenmiştir. Deneysel tasarım Statistical Analysis Software ticarî bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

✓ T. Cho, “Prediction of cyclic freeze-thaw damage in concrete structures based on response surface method”, [23]:

Bu çalışmada tepki yüzey yöntembilgisine dayanarak beton yapılarıdaki çevrimsel donma-çözülme bozulmalarının tahmin edilmesi incelenmiştir. Tepki yüzey yöntembilgisinin limit durum fonksiyonunun oluşturulmasında beton yapılarıdaki çevrimsel donma-çözülme bozulmaları için önemli parametreler olan su/çimento oranı, sürüklenmiş hava boşlukları ve donma-çözülme çevrim sayısı kullanılmıştır. Tepki değişkenleri olarak kalıcı plastik deformasyon, bağıl dinamik modül ve eşdeğer plastik deformasyonlar seçilmiştir. Bağıl dinamik modül ve artık gerilmelerin tahmininin 300 donma-çözülme çevriminden sonra deneysel sonuçlarla anlamlı düzeyde uyum sağladığı görülmüştür.

✓ B. Akçay, “Effect of lightweight aggregates on autogenous deformation and fracture of high performance concrete”, [24]:

Bu çalışmada hafif agregaların yüksek performanslı betonların otojen deformasyon ve kırılmasına etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak kırılma enerjisi, karakteristik boy ve basınç dayanımı en büyük, otojen deformasyonu en düşük betonu elde etmek için tepki yüzey yöntembilgisi kullanılarak eniyileme gerçekleştirilmiştir. Çok amaçlı eş zamanlı eniyileme çözümlenmesi (arzu edilirlilik fonksiyonu) maksimum dayanım, maksimum süneklik ve minimum otojen deformasyonu elde edilmesinde iyi bir yaklaşım sağlamıştır.

✓ B. Akçay, M. A. Taşdemir, “Optimisation of using lightweight aggregates in mitigating autogenous deformation of concrete”, [25]:

Bu çalışma [24] kaynağı kapsamında gerçekleştirilen çalışma sonuçlarını içerir.

✓T. M. Murali ve S. Kandasamy, "Mix Proportioning of High Performance Self-Compacting Concrete Using Response Surface Methodology", [26]:

Yüksek performanslı kendiliğinden yerleşen betonlarda (HPSCC) genellikle maliyeti yüksek olan mineral ve kimyasal katkı maddeleri kullanıldığı için maliyetler yüksek olur. Bu yüksek maliyetler, büyük hacimli uygulamalarda HPSCC kullanılarak betonarme elemanların boyutlarının azaltılması ile tolere edilebilir. Farklı uygulamalarda HPSCC'nin kullanılabilirliğinin yaygınlaşması amacıyla maliyetlerin düşürülmesi gerekir. Malzeme özelliklerinin seçimi ve uygun karışım oranları kullanılarak bu başarılabılır. Bu çalışmada amaç, tepki yüzeyi yöntemi kullanarak çimento, uçucu kül, süperakışkanlaştırıcı ve su bağlayıcı oranı etki değişkenlerine göre sıkıştırma faktörü, 28 günlük basma, yarmada çekme ve eğilme dayanımı tepki değişkenleri dikkate alınarak efektif maliyetli HPSCC karışımları geliştirmektir. Deneysel tasarımlarda 2^4 (16) faktöriyel nokta, 7 merkez noktası ve 8 aksel nokta olarak toplam 31 karışım kombinasyonu kullanılmıştır. Tepki değişkenlerinin değişim düzeyleri -2, -1, 0, 1, ve 2 kodlanmış değerlere denk 5 ayrı düzeyde seçilmiştir. Deneysel tasarım sonucu oluşturulan modeller, su bağlayıcı oranı 0.28-0.44, çimento içeriği 400-600 kg/m³, uçucu kül %0-%10 (çimento kütlesince) ve süper akışkanlaştırıcı %1-%3 (çimento kütlesince) aralığı ile geniş karışım aralıkları için geçerlidir.

1.2 Tezin Amacı

Beton bileşiminin çok amaçlı eniyilemesinde tepki yüzeyi yöntemi kullanarak daha düşük maliyetle, seçilen özelliklerinin dağılımı daha az (standard sapması daha küçük) olan beton üretimine katkıda bulunmaktadır.

Bu amaçla, çok sayıda parametrenin etkin olduğu hazır beton üretiminde öncelikle beton basma dayanımına etki eden parametreler üzerinde gerçekleştirilen çalışma sonuçları da dikkate alınarak, parametrelerin tek tek ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin çökme ve beton basma dayanımına etki düzeyleri bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ilave deneylerle de desteklenerek belirlendi. Betonun eniyilemesi için tepki yüzey yöntemi kullanılarak farklı özellikteki betonlar için tepki

yüzeysel yöntemlerinin genel hatları belirlendi. Böylece parametre sayısı azaltılmış ve bu parametrelerin etki düzeylerinin mertebeleri belirlenmiş olduğundan gelişmiş özellikli betonlarda da en düşük maliyetle belirli bir dayanım (ve/veya herhangi bir veya birkaç özellik) sınıfını sağlayan en uygun ortalama veya hedef dayanım (ve/veya diğer özellikler) ve ilgili standard sapmalar veya nitelik denetim düzeyleri belirlenebilmesi hedeflendi.

1.3 Hipotez

Farklı sanayi dallarında başarıyla uygulanan bütünsel nitelik yönetimi çerçevesinde amaç, üretkenliği artırıcı ve maliyeti düşürücü etki sağlamak üzere müşteriye nitelikli ürün sunmaktır. Nitelik, bir ürünün üretim sürecinde onun bir parçası olarak üretilir ve müşteriye sunulur. Daha sonra ürün üzerine ilâştirilemez veya eklenemez. Bütünsel nitelik yönetiminin yönetsel ilkelerinden biri olan sürecin iyileştirilmesi, geliştirilmesi, eniyilemesi ve niteliğin iyileştirilmesini sağlamak için tepki yüzey yöntemi uygulanabilmektedir. Bu uygulama hazır beton üretiminde etki parametrelerinin elenerek sayılarının ve değişkenliklerinin azaltılmasına ve çoklu eniyileme uygulanmasında anlamlılık düzeyinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

BÖLÜM 2

BETON

Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilâve edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliklerini kazanan malzemeye beton denir [27].

Beton karışım tasarımı için yüzlerce sistem bulunmaktadır. Her durumda sorulan soru bu sistemlerden hangisinin uygulanabilir olduğudur. Karışım tasarım sistemlerinin amacı, yüksek sınır değerlere sahip olmasından ziyade, genel amaçları karşılayacak istenilen dayanımda betonlar üretmek için uygun malzemelerin ve bileşim oranlarının belirlenmesidir [28]. Bir sistemin gerçek değeri, istenen amaçlara uygun en ekonomik beton üretimi için gerekli malzemelerin seçimi ve bunların karışım oranlarının elde edilmesine yol göstermesidir. Gerçekten de ilk karışım hesaplamalarında istenen dayanımı elde etmek birincil amaç değildir. Bağlayıcı içeriğini ve su/bağlayıcı oranını ayarlayarak bu gereklilik sağlanabilir. Birincil aslı iş, agregaların en uygununun seçimi ve ikincisi, betonun taze durumda istenen özelliklere sahip olmasını sağlamaktır [28].

Genellikle betonun dayanım ve çökme ile anılması alışlagelmiştir. Ancak günümüzde pompalanabilirlik, yapısal veya yol döşemesi gibi başka birçok tanımlamalar da gerekmektedir [28].

Uygulamada betonun işlenebilme ölçüsü olarak çökme, dayanım ölçüsü olarak standard basma dayanımı ve dayanıklılık özellikleri ile ilgili başka birçok tanımlamalar da gerekebilmektedir (pompalanabilirlik, eğme dayanımı, ıslanma-kuruma dayanıklılığı vb.) [28-30]. Hazır beton üretiminde istenen beton özelliklerini sağlayabilmek için, dayanım, dayanıklılık veya geçirimsizlik ve işlenebilirliğe etki eden değişkenlerin belirli düzeylerde olması istenir. Beton üretiminde bu değişkenlerin ve etki düzeylerinin

belirlenmesi gerekmektedir. Bu değişkenler betonu oluşturan bağlayıcı madde, agrega, su ve katkı özelliklerinin yanı sıra su/bağlayıcı oranı, bağlayıcı miktarı, ince agrega/iri agrega oranı, agrega/çimento oranı ve ince agrega miktarı (karışım agreganın hacimce 4.00 mm elek altına geçen yüzdesi) olarak düşünülebilir.

Beton bileşenlerinden agreganın özellikleri TS 706 EN 12620 standardında [31], bağlayıcıların (çimentoların) özellikleri TS EN 197-1 [32] ve karışım suyunun özellikleri TS EN 1008 standardında [33] tanımlanan yöntemlere göre ölçülen özellikleri belirtilen değerleri sağlamalıdır. Bununla birlikte beton tasarım amaçlarını sağlayabilmek için karışım agreganın incelik modülü (k_k), en büyük tane büyüklüğü ($D_{en\ büyük}$), bağlayıcı içeriği (bağlayıcı dozajı), su/bağlayıcı oranı ve ince agrega miktarı değerlerindeki değişimlerin etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir [27].

2.1 Bağlayıcı Maddeler -Çimento

Genel olarak çimento kelimesinden, mineral malzemeleri birbirine bağlayarak yapay taş oluşumuna imkân sağlayan malzemeler algılanmaktadır. Bu tanım tüm değişik bağlayıcıları kapsar.

Bileşimine bağlı olarak bağlayıcılar organik ve inorganik olarak sınıflandırılırlar. Polimer ve asfalt en çok kullanılan organik bağlayıcılardır. İnorganik bağlayıcılara ise alçı, kireç, puzolanlar ve Portland çimentosu (PÇ) örnek verilebilir.

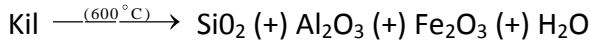
Portland çimentosu yapı malzemesi olarak en çok kullanılan bağlayıcı türüdür. Ham madde ve sınırlı üretim sürecinden kaynaklı Portland çimentosunun bazı içsel yetersizliklerini gidermek hâlâ tam anlamıyla mümkün değildir. Sürdürülebilirlik açısından iki çok önemli sakınca bulunmaktadır [34];

- 1 ton PÇ üretimi için 1.5 ton hammaddeye ihtiyaç duyulur ve bu üretim sürecinde 1 ton karbon dioksit (CO_2) salımı gerçekleşir. Dünyadaki çimento üretimi her geçen yıl artmaktadır (1.4 milyon ton 1995, 3 milyon ton 2009) ve bu nedenle PÇ üretimi son derece kaynak ve enerji yoğun bir işlemdir [34].
- PÇ ile yapılan betonlar hem normal hem de sert çevresel koşullara maruz kaldığında bozulmalar oluşur. Çatlak ve korozyonun hizmet ömrü, tasarım ömrü ve güvenliğe anlamlı etkisi vardır [34].

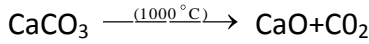
2.1.1 Portland Çimento Üretimi

Portland çimentosunun hammaddeleri kalker, kil ve demir filizidir. Portland çimentosu üretimindeki kalsinasyon sürecindeki birincil tepkimeler aşağıda görülmektedir [34].

- Kil, az bir miktar Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ile birlikte esas olarak silis (SiO_2) sağlar. $600\text{ }^\circ\text{C}$ civarından başlayarak kilde aşağıdaki şekilde ayrışma oluşur;

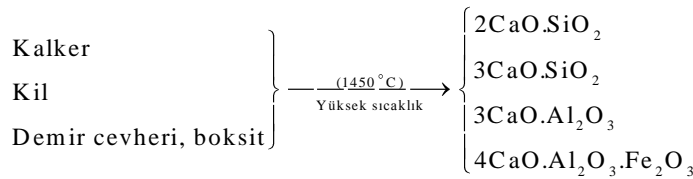


- Kalker ($CaCO_3$) esas olarak kireç (CaO) sağlar ve $1000\text{ }^\circ\text{C}$ civarında ayrışma oluşur;



- Demir cevheri ve boksit eklenmesi klinkerleşme (füzyon) sıcaklığını düşürerek kalsiyum silikatın oluşumuna yardımcı olacak demir oksit (Fe_2O_3) ve alümina (Al_2O_3) sağlar.

- Döner fırında üç farklı sıcaklık bölgesi vardır. $1000\text{ }^\circ\text{C}$ - $1450\text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki değişik sıcaklıklarda farklı kimyasal bileşikler oluşur.



- Döner fırında oluşan sonuç ürüne klinker denir. Klinkere çimento değirmeninde %3-5 oranında alçı taşı katıldıktan sonra öğütülerek çimento elde edilir. Alçı taşı $3CaO.Al_2O_3$ nedeniyle oluşacak ânî prizi önlemek ve priz sürelerini ayarlamak için katılır.

Oksitler, çimento bileşenleri ve diğer bileşenlerin çimento kimyasında kullanılan kısaltmaları ve tipik portland çimentosu ana bileşenlerin kütlece yaklaşık oransal değerleri Çizelge 2.1'de verildi [35, 36, 37].

Çizelge 2.1 Çimento kimyasında kullanılan kısaltmalar ve tipik portland çimentosu bileşenlerinin kütlece yaklaşık oransal değerleri [35, 36, 37]

Oksit	Kısaltma	Bileşen	Kısaltma	Kimyasal adı	Kütlece %
CaO	C	$3CaO.SiO_2$	C_3S	Trikalsiyum silikat	50
SiO_2	S	$2CaO.SiO_2$	C_2S	Dikalsiyum silikat	25
Al_2O_3	A	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	Trikalsiyum alüminat	12
Fe_2O_3	F	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	Tetrakalsiyum alüminoferrit	8

Çizelge 2.1 Devam

MgO	M	4CaO.Al ₂ O ₃ .SO ₃	C ₄ A ₃ S̄	-	-
SO ₃	S̄	3CaO.2SiO ₂ .3H ₂ O	C ₃ S ₂ H ₃	-	-
Ca(OH) ₂	CH	CaSO ₄ .2H ₂ O	C̄SH ₂	Kalsiyum sülfat dihidrat	3.5

Karma oksitlerin ana özellikleri aşağıda belirtilmektedir [38].

C₃S: Hızlı bir şekilde sertleşir, priz başlangıç süresini ve erken yaş dayanımını önemli düzeyde etkiler.

C₂S: Sertleşmesi yavaştır ve büyük oranda bir haftadan daha büyük yaşlardaki dayanım artışı üzerine etkilidir.

C₃A: Erken yaşlardaki dayanımın gelişimi üzerine etkisi çok azdır. Klinkerin öğütülmesi sırasında katılan alçıtaşı C₃A'nın hidrasyon hızını yavaşlatır. C₃A içeriği düşük çimentolar genelde özellikle sülfat ihtiva eden su ve zemine karşı dayanıklıdırlar.

C₄AF: Klinkerleşme sıcaklığını düşürerek çimento üretimine yararlı olur. C₄AF oldukça süratlı bir şekilde hidrate olmasına rağmen dayanım kazanımında etkisi çok azdır.

Çimento ana bileşenlerine ait özellikler Çizelge 2.2'de verilmiştir [39, 36].

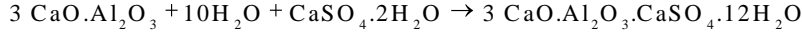
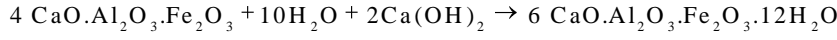
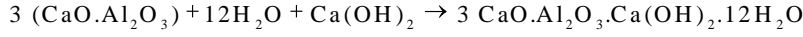
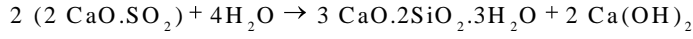
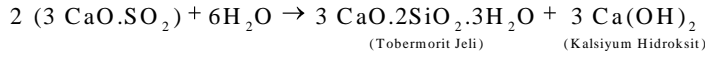
Çizelge 2.2 Portland çimentosu ana bileşenlerinin özellikleri [39, 36]

Bileşen	Reaksiyon hızı	Hidrasyon ısı	İlk dayanıma katkısı	Son dayanıma katkısı
Trikalsiyum silikat, (C ₃ S)	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Dikalsiyum silikat, (C ₂ S)	Yavaş	Düşük	Düşük	Yüksek
Trikalsiyum alüminat, (C ₃ A)	Hızlı	Çok yüksek	Düşük	Düşük
Tetrakalsiyum alüminoferrit, (C ₄ AF)	Yavaş	Düşük	Düşük	Düşük

2.1.2 Çimento Hidratasyonu

Hidrasyon, kimyasal ve fiziksel süreçleri içerisinde barındıran çimento taneleri ile su arasında meydana gelen tepkimedir. Taze beton özellikleri dolaysız olarak hidrasyon sonuçlarına bağlıdır. Sertleşmiş beton özellikleri de hidrasyon sürecinden önemli düzeyde etkilenir.

Çimentonun suyla temas etmesiyle birlikte başlayan hidrasyon tepkimeleri aşağıdaki şekilde gerçekleşir [40].



Hidrate çimentonun dayanımı ve diğer özellikleri esas tobermorit jeline bağlı iken, kalsiyum hidroksit tobermorit jelinin kimyasal kararlılığını sağlayan fakat hidrate çimentonun zayıf unsuru veya yanı olarak ortaya çıkar [38].

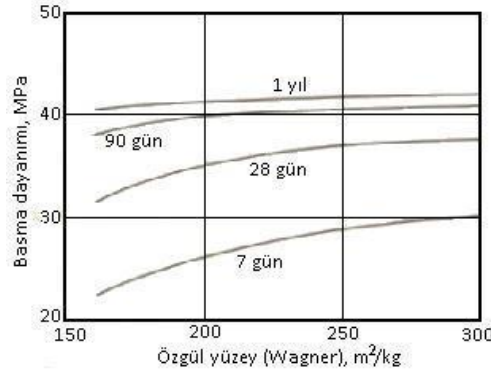
2.1.3 Çimentoların Genel Özellikleri

Çimentoların fiziksel, mekaniksel ve kimyasal yönlerden beklenen bazı özellikleri vardır. Bunlar bütün mineral kökenli çimentolarda aranan ve standartlarla [32] sınırlandırılmış malzeme özellikleridir.

✓İncelik

Çimento taneleri 5-90 mikron çapındadır. Büyük çoğunluk 20-30 mikron arasındadır. Taneler ne kadar ince olursa tanenin hidrate olabilecek bölümü o kadar fazla olur. İri bir tane içinde suyun difüzyonu yeterli düzeye varmaz, tanenin orta kısmı anhidr (hidrate olmamış) kalır. Hidrate olmuş bölüm ise mukavemeti artıran bir etmendir. Yüksek mukavemetli çimentoların genelde inceliği de yüksektir [41]. Farklı çimento inceliğine göre beton basma dayanımındaki değişim Şekil 2.1'de görülmektedir [42].

Mukavemet açısından yararlı olan incelik bazı sakıncalara neden olur: İslanma ve hidratasyon tepkimeleri ısı çıkararak meydana gelir, bu ise hidratasyon ısısını yükseltir ve büzülme artar; çimento tanelerini ıslatmak için gereken su fazladır, dolayısıyla betonun belirli bir işlenebilme düzeyini sağlamak için gerekli karıştırma suyu da artar, bu da dayanımın azalmasına yol açabilir [41].



Şekil 2.1 Farklı yaş ve çimento inceliğine göre beton basma dayanımındaki değişim [42]

✓Priz

Toz haldeki çimentonun suyla karıştırılmasıyla oluşturulan hamurun katılaşması olayıdır. Çimento+su hamurunun sıvı halden katı hale geçişi priz deneyi ile çimento hamurunun priz başlama ve sona erme süreleri [43] ile belirlenir.

✓Hidratasyon ısı

Hidratasyon ısı nedeniyle üretim sırasında sıcaklığı yükselen betonun, sertleştikten sonra soğuması ısıl kısılmalara, büzölmelere neden olur. Bu büzölmelerin serbestçe oluşmadığı durumlarda beton çatlak ve geçirimsiz olma özeliğini kaybeder. Hidratasyon sürdükçe hidratasyon ısı oluşmaya devam eder, ancak miktarı giderek azaldığından beton kütesinin bütününün sıcaklığını artırmaya yetmez [41]. Bu nedenle dış ortam sıcaklığı düşük olduğu ve beton yüzeyi yalıtılarak korunmadığı takdirde sıcaklık gradyanı sonucu ısıl büzölme farkları çatlakların oluşmasına yol açar.

Hidratasyon ısı, TS EN 196-8, TS EN 196-9 ile BS 4550: 1978, ASTM C 186-5 standartlarında açıklanan yöntemlerle belirlenmektedir [44-47]. Hidratasyon ısı ile anabileşenlerin bağlayıcılık özellikleri arasında herhangi bir ilişki yoktur [48].

✓Rötre - büzölme

Fiziko-kimyasal etkiler altında katılaşmakta olan ve/veya sertleşmemiş haldeki betonun hacminin küçülmesine rötre veya büzölme denir. Rötre, termik rötre, plastik erken rötre, bünyesel rötre, sertleşmiş betonun hidrolik rötresi ve karbonatlaşma rötresi olarak beş türe ayrılır [41]. Rötrenin kaynağı çimentodur. Ancak agregaların varlığı ve

özellikleri betonun rötresi üzerinde azaltıcı veya bazı durumlarda artırıcı yönde etki oluştururlar [41].

✓ Mekaniksel özellikler

TS EN 197-1 “Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uyumluluk Kriterleri” standardında çimento mekaniksel özellikleri “standard dayanım ve erken dayanım” olarak belirtilmiştir [32]. Çimentonun standard dayanımı ve erken dayanımı TS EN 196-1 [49]'e göre tayin edilmektedir. 28 günlük basma dayanımı standard dayanım ve 2 veya 7 günlük basma dayanımı erken dayanım olarak belirtilmektedir [32]. Üç standard dayanım sınıfı belirlenmiştir: 32,5 sınıfı; 42,5 sınıfı; 52,5 sınıfı [32].

2.2 Agregalar

Agregalar, çimento ve su karışımıyla birlikte betona hacim kararlılığı da sağlamak amacıyla kullanılan, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı olan veya geliştirilmiş perlit ve geliştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli dolgu malzemeleridir [50]. Agregalar, beton hacminin % 60-80'ini oluştururlar ve genellikle mineral kökenlidirler [50, 35]. Bu nedenle hem taze beton hem de sertleşmiş betonun özelliklerini önemli düzeyde etkiler. Agregalar ekonomik nedenlerden dolayı çimento hamuru içinde dağılmış etkisiz malzemeler olarak görülür. Gerçekte, agregalar etkisiz (âtıl, etkileşimsiz, dolgu malzemesi) değildirler ve fiziksel, ısıl ve bazen de kimyasal özellikleri beton başarımını etkiler [29]. Agregaların kullanımının temel ana nedenleri [30, 35]; (i) Çimentodan ucuzdur. (ii) Büzülme ve sünmeyi azaltır, karışıma iyi bir hacimsel kararlılık verir. (iii) Genelde kimyasal reaksiyona girmediği için betonun durabilitesinin yani kalıcılığının daha iyi olmasını sağlar.

2.2.1 Agregaların Sınıflandırılması

Boyut, kaynak ve yoğunlukları gibi farklı ölçütlere göre agregalar sınıflandırılırlar.

- Boyuta göre sınıflandırma (iri agrega ve ince agrega)
- Kaynağa göre sınıflandırma (doğal agregalar ve yapay agregalar,
- Birim ağırlığa göre sınıflandırma (ultra hafif agregalar, hafif agregalar, normal ağırlıklı agregalar ve ağır agregalar)

2.2.2 Agregaların Özellikleri

Agreganın fiziksel ve mekaniksel özellikleri üretilecek nihai ürünün özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Beton agregaları temizlik, dayanım ve dayanıklılıkla ilgili minimum standartları sağlamalıdır ve zararlı maddeler içermemelidir. Agreganın özellikleri ile beton performansı arasındaki ilişki Çizelge 2.3'te görülmektedir [51].

Çizelge 2.3 Agreganın özellikleri ile beton içerisindeki başarımları arasındaki ilişki [51]

Fiziksel özellikler	Beton üzerindeki etkiler
Agreganın özellikleri	
Boşluk oranı	Betonun dayanım, rijitlik, geçirgenlik ve dayanıklılığını etkiler.
Su emme ve yüzey nemi	Beton dayanımı, taşınma özellikleri ve dayanıklılığı (durabilite) etkiler.
Su içeriği	Beton dayanımı ve yerleşme özelliklerini etkiler.
Tane yoğunluğu	Ayrışma, beton dayanımı, rijitlik ve ısı özellikleri etkiler. Karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılır.
Tane şekli	Betonun işlenebilirliği üzerinde çok önemli etkisi bulunur ve bundan dolayı karışım suyu ihtiyacını etkiler. Aynı zamanda beton dayanımını etkiler, köşeli taneler dayanım iyileştirmesi için tercih edilir. Yassı taneler dayanımı azaltabilmektedir.
Tane yüzey dokusu	Betonun işlenebilirliği ve karışım suyu ihtiyacını etkiler (fakat tane şeklinden daha az). Pürüzlü doku agrega-çimento hamuru bağını iyileştirir.
Nem hareketleri	Eğer aşırı düzeyde ise betonda boyut kararsızlığı ve çatlamaya sebep olur, betonda kullanımı uygun olmaz.
Sıcaklık hareketleri	Agrega ve hamur arasındaki boy değişiminin uygunsuzluğu sonucu çatlak oluşumu (örneğin düşük ısı genleşme katsayılı malzemeler).
Isıl özellikler	Beton büyük sıcaklık farkları etkisinde çatlaklar. Isıl özellikler aynı zamanda betonun ısı yalıtım özelliklerini etkiler.
Geçirgenlik	Betonun geçirgenliğini ve bu nedenle su geçirimsizliğini etkiler. Aynı zamanda donma-çözünme direncini etkileyebilir.
Agreganın diğer özellikleri	
Yığın yoğunluğu ve boşluk içeriği	Beton bileşenlerinin bağıl oranlarını etkiler (karışım oranı hesapları). Yüksek gevşek yığın yoğunluğu teknik özelliklerde iyileşme ve ekonomiklik sağlar.
Tane büyüklüğü dağılımı	İşlenebilirlik ve diğer taze beton özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır. İnce malzeme içeriği (miktarı) (< 75 µm) kohezyon için çok önemlidir ve su kusmasına (terlemeye) belirleyici etkisi vardır.
Mekaniksel özellikler	
Dayanım (kayaç numuneleri üzerinde)	Agregalar doğrudan ve dolaylı olarak beton dayanımına katkıda bulunur ve "zayıf halka" oluşturmamalıdır.
Tane dayanımı	Düşük dayanımlı agregalar beton dayanımını kısıtlayabilirler. Agreganın dayanımı, yüksek dayanımlı betonlarda çok fazla önemlidir.

Çizelge 2.3 Devam

Elastisite modülü	Agrega modülleri beton modülleri üzerinde yüksek etkiye sahiptir fakat beton dayanımı üzerinde etkileri daha azdır.
Aşınma direnci	Yüzey özellikleri yüzey aşınması olduğu durumlarda önemlidir (trafik veya aşınma alanları, aşınma-dirençli kaplamalar (zeminler)).
Yüzey sertliği	Agrega aşınma direnci ve yüzey sertliği betonun aşınma direncini etkiler. Ek olarak, bozulma direnci karıştırma esnasında olası agreganın kırılmaları bakımından önemlidir.
Kırılma parametreleri	Dolaylı olarak beton dayanımı ve kırılma özelliklerini etkiler.
Kimyasal ve dayanıklılık (durabilite) özellikleri	
Sülfata dayanıklılık	Hacim sabitliğine karşı dayanıksızlık aşırı çatlak nedeniyle betonda yüzeysel parça kopmalarına neden olur.
Donma-çözülme direnci	Bozulma (parçalanma), yüzey kabuklanması, pürüzlülük ve/veya zemine oturan beton plaklarda birleşim ve açık kenarlarda D-çatlakları şeklinde oluşur.
Alkali agreganın reaktivitesi	Amorf silika içeren agreganın, bağlayıcıda mimör alkaliler ve beton sertleştikten sonra yeterli nem bulunduğunda genleşme ve çatlaklara sebep olur. Etkiler küçük çatlaklardan büyük yapısal bozulmalara ve çirkin görünümlü lekeler şeklinde değişiklikler gösterir.

✓ **Agregaların fiziksel özellikleri**

• **Tanelerin boşluk oranı (porozite)**

Prorozite (p) agreganın tanesinin içsel boşluk hacminin toplam agreganın tanesi hacmine oranı olarak tanımlanır.

• **Tanelerin su emmesi ve yüzey nemi**

Agrega tanelerindeki birbirleriyle bağlantılı ve yüzeye açık boşluklar emerek su ile dolabilirler. Bu sebeple çoğunlukla su emme değerleri, dışarıya açık "görünen boşlukların" ölçüsüdür. Agreganın tanelerinin etüv kurusu, hava kurusu, doymuş yüzey kuru ve ıslak şeklinde belirgin biçimde ayrılabilen farklı nem durumları bulunmaktadır [51];

• **Tane yoğunluğu**

Bir katı maddenin yoğunluğu (ρ) kütlesinin hacmine oranı olarak tanımlanır. Beton teknolojisinde görünür tane yoğunluğu [52], doymuş ve yüzeyi kurutulmuş halde tane yoğunluğu [52], kuru tane yoğunluğu [52] ve gevşek yığın yoğunluğu [53] dikkate alınır. Gevşek yığın yoğunluğu, sırasıyla tanelerin şekline, yüzey dokusuna ve granülometrik karakteristiklerine bağlı olan "tanelerin dizilişi"ne bağlıdır [51].

• Tane şekli

Tane şekli, tanelerin uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarının ölçülmesi ile belirlenir. Bu işlem ince tanelere göre iri taneler için daha kolaydır. Şekil üç geometrik özeliğe dayanılarak açıklanabilmektedir; “küresellik (**sphericity**)”, “yuvarlaklık (**roundness**) ve “biçim (**form**)” [54, 55]. Tortul kayaçlardan kopmuş parçaların biçimsel özellikleri için oluşturulan küresellik ve yuvarlaklık tane şekilleri ile beton teknolojisi için oldukça kullanışlı standard tanımlar verilmektedir [56]. “Yuvarlaklık” kenarlar ve köşelerin keskinliğini tanımlarken, “küresellik” tanenin küresel şekle yakınlığının ölçüsüdür. “Biçim” (biçim veya şekil faktörünü ifade eder) tanenin üç ekseninin bağıl oranlarını tanımlar. Bu özellikler agreganın kaynağına ve doğasına bağlıdır.

Yuvarlaklıkla ilgili sınıflandırma, BS 812’ye yapılan eklemelerle birlikte Çizelge 2.4’de görülmektedir [57, 51]. İşlenebilirlik ve düşük su ihtiyacı açısından beton agregata tanelerinin küresellik ve yuvarlaklıkla örtüşmesi arzu edilen bir durumdur [51]. Yassı ve uzun (çubuk) agregalar, su ihtiyacını artıracığı gibi taneler altında kuma veya terleme su merceği oluşumuna da neden olurlar [51]. Tane şekli, belirli bir uygulama veya nihaî kullanım için TS 706 EN 1260’ta verilen kötegorilere göre beyan edilmelidir [31].

Çizelge 2.4 Tane şekli sınıflandırması [51]

Sınıflandırma	Tanım
Yuvarlak	Tamamen su ile aşınmış veya tamamen sürtünme ile şekillenmiş taneler.
Biçimsiz	Doğal olarak biçimsiz veya sürtünme ile kısmen şekillenerek yuvarlak kenarlar oluşmuş taneler.
Köşeli	İyice belirgin kenarlara sahip, kabaca düzlem yüzeylerin kesişmesiyle şekillenmiş iyice belirgin kenarlara sahip taneler.
Yassı	Kalınlığı diğer iki boyuta göre küçük olan malzemeler.
Uzun (çubuk)	Uzunluğu diğer iki boyutundan oldukça fazla olan, genellikle köşeli malzemeler.
Yassı ve uzun (çubuk, lama)	Uzunluğu genişliğinden ve genişliği kalınlığından oldukça fazla olan taneler.

Köşelilik tanelerin yuvarlaklığını (veya yuvarlak olmama durumunu) gösterir ve silindirik bir kap içerisine sıkıştırılmadan doldurulmuş agregata yığınının boşluk içeriğinin ölçümünden elde edilir.

Yassılık indeksi kütlice numunedeki yassı tanelerin oranıdır ve kenetlenme, kemerlenme özelliklerinin bir ölçüsüdür [51]. Yassılık indeksi, iri agregaların tane

şeklinin tayininde referans deney olarak kullanılması öngörülmektedir [31]. Yassılık indeksi, belirli bir uygulama veya nihaî kullanım için TS 706 EN 1260'ta verilen kategorilere göre beyan edilmektedir [31]. Yassı agregalar karışımın “dişliliği”ni artırabilir. Bu sorun uygun karışım oranları ile büyük ölçüde giderilebilir [58].

“Yassılık” ve “uzamışlık” aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [59]:

Yassı taneler = genişlik/kalınlık ≥ 3

Uzamış taneler = uzunluk/genişlik ≥ 3

• Tane yüzeyi dokusu

Yüzey dokusu sertlik, tane boyutu, boşluk yapısı ve ana kayaca bağlıdır. Yüzey dokusunu tariflemek için iki bağımsız geometrik özellik vardır: (1) pürüzlülük olarak adlandırılan yüzey kabarıklığının derecesi ve (2) bir taneciğin birim izdüşüm düzlem alanına tekabül eden gerçek yüzey alanı miktarı [51]. BS 812'de verilen tanımlamalar Çizelge 2.5'de görülmektedir [57].

Çizelge 2.5 Agregaların yüzey dokuları [57]

Yüzey dokusu	Karakteristikler
Cıvalı	Konkoidal (eğrisel) kırık
Pürüzsüz	Su ile aşınmış, katmanlı kayaların kırılması veya iyi öğütme nedeniyle pürüzsüz.
İnce pürüzlü (taneli)	Yapısı çok veya az üniform boyutlu yuvarlak taneler.
Pürüzlü	Kolayca görülemeyen kristalimsi yapıli bileşenler içeren ince veya orta granülometriye sahip kayalar.
Dişli	Kolayca görülebilen kristalimsi bileşenler içeren malzemeler.
Gözenekli	Görünür gözenek ve boşluklu.

Çizelge 2.5'de belirtilen koşullar milimetre (mm) düzeyinde pürüzlülük ölçülmesiyle makro dokuya uygulanır [51]. Farklı düzeylerde ölçeklendirme ile dokunun belirlenmesi de mümkündür ve farklı mikro pürüzlülükler sertleşmiş bağlayıcı hamur ve agrega arasında farklı bağların gelişmesine sebep olduğu için mikro doku (mikrometre veya nanometre düzeylerinde) beton performansında oldukça önemlidir [51].

Tane şekli gibi yüzey dokusu da agreganın üretimi ve kaynağına son derece bağlıdır. Sürtünmeye maruz kalmış doğal agregalar oldukça pürüzsüzdür. Pürüzlü yüzey dokusu agreganın toplam yüzey alanını ve sıkıştırma sırasında agrega taneleri arasındaki içsel

sürtünmeyi artırır. Diğer yandan pürüzlü dokular agrega ve hamur arasında iyi bağ oluşumunu sağlar ve böylece betonun mekaniksel özelliklerini iyileştirir [60].

- **Granülometri**

Granülometri, tane büyüklüğü dağılımı, agregaların önemli bir özeliğidir. Agreganın granülometrisi ile taze betonun özellikleri arasında oldukça sıkı bir ilişki vardır. İyi (sürekli) granülometrilik ve iyi şekilli agregalar ile işlenebilir bir karışım (ayrışmayan, kolayca taşınabilir, yerleştirilebilir ve sıkıştırılabilir) elde edilir [61].

Dolgu malzemesi olarak kullanılan agregalar dışındaki bütün agregalar, d/D gösterilişi kullanılarak agreganın tane sınıfı cinsinden belirtilmelidir [31].

Bir agregada belirli büyüklüklerdeki tanelerin dağılımını gösteren eğriye granülometri eğrisi denir ve elek analizi deneyi [62] ile belirlenir.

Pompa ile iletilen betonlarda ince agreganın tane büyüklüğü dağılımı iri agregaya göre daha önemlidir [5]. Pompa ile iletmeye uygun betonda ince agreganın incelik modülü 2.30 ile 3.10 arasında olacak şekilde seçilmesi önerilmektedir [5].

Beton karışım agregasının doluluğunun yüksek olması istenir. Kompasitesi yüksek karışım agregası kullanıldığında betonun kompasitesi yüksek olacaktır ve dolayısıyla betonun dayanımı da artacaktır.

$D_{en\ büyük}$ değeri büyük olan agregada genel olarak iri agregalar fazla miktarda bulunur. $D_{en\ büyük}$ değeri büyük agregalar kullanılması betonun doluluğunu artırır. Aynı zamanda işlenebilirlik için daha az su kullanılmasını olanaklı kılar [38]. $D_{en\ büyük}$ betonun kullanılacağı yapı elemanının şekil, cins ve en dar kesitinin boyutu, net beton örtü tabakası kalınlığı [63] ile betonun dökümünde kullanılacak yöntemle bağlıdır [5].

- **İncelik modülü (FM)**

Boyutsuz bir parametre olan incelik modülü granülometriyi tayin ve karakterize eden tek bir sayıdır ve ortalama (veya logaritmik ortalama) tane büyüklüğünün bir ölçüsüdür [51]. Genellikle, aynı incelik modülüne sahip tanelerden aynı koheziona ve işlenebilirliğe sahip karışım elde etmek için yaklaşık aynı miktarda suya ihtiyaç duyulur

[51]. Bununla beraber, su ihtiyacı sadece incelik modülü ile verilen ortalama tane büyüklüğüne değil, özellikle çok ince malzeme (< 300 µm) içeriğine bağlıdır [51].

○ Granülometri ve diziliş teorileri

Taneli malzemeler üç boyutlu uzayda değişik düzenlerde dizilirler. Bu dizilişler tanelerin doğasına, özellikle granülometri ile tariflenen şekil ve tane büyüklüğü dağılımına bağlıdır [51]. Taneli malzemelerin dizilişi ve granülometrisi birbirleriyle yakından ilişkilidir çünkü granülometri hâkim diziliş etkinliğini etkilemektedir.

“En iyi tane büyüklüğü dağılımı” modelleri taneli malzemelerin diziliş karakteristiklerine bağlıdır. Fuller ve Thompson (1907) minimum boşluk oluşturacak granülometri eğrilerini (2.1) bağıntısıyla belirlemişlerdir [51].

$$P_t = \left[\frac{d}{D_{\text{en büyük}}} \right]^{0.5} \quad (2.1)$$

Bu ifade daha sonra aşağıdaki şekilde genelleştirilmiştir.

$$P_t = \left[\frac{d}{D_{\text{en büyük}}} \right]^q \quad (2.2)$$

Burada, $P_t = d$ göz büyüklüğünden ince olan toplam katı kısım, $D_{\text{en büyük}} =$ en büyük tane büyüklüğü, $q = 0$ ve 1 arasında bir değerdir.

(2.2) bağıntısı Fuller parabolik granülometri eğrisidir. Granülometri eğrileri ve parametreler (örneğin incelik modülü) arasındaki ilişkiyi veren Powers (1968) [64] tarafından Fuller ve Thompson’ın granülometri teorileri tartışıldı. Ancak, Powers’ın işaret ettiği gibi, parabolik granülometreler, çimento içeriği ve en büyük tane büyüklüğü verilen bileşimler için en iyi granülometrinin tahminine olanak tanımaz.

✓ Agregaların mekaniksel özellikleri

Agregaların mekaniksel özellikleri, kırılma, rijitlik ve aşınma veya sürtünme direncine bağlı parametreler dışında farklı dayanımları kapsar.

- **Kayaç dayanımı**

Katıların (kayaç) dayanımı deney için özel olarak hazırlanmış düzgün geometrik biçimli prizmatik numuneler (silindir, küp, kiriş vb.) üzerinde ölçülür. Agregaların taneli şekilde olmaları ve birçok agreganın tane boyutları geleneksel dayanım deneyleri için uygun değildir [51]. Birçok kayaçın dayanımları geleneksel ve hattâ yüksek dayanımlı betonların basma dayanımlarını aşmaktadır [51]. Bu nedenle betonlarda oldukça farklı agrega türleri kullanılabilir [51].

- **Agrega tane dayanımı**

Agregalar taneli şekle sahip olduklarından agrega tane dayanımı agreganın beton özellikleri üzerindeki etkisinin tahmini için daha kullanışlıdır [51].

Agrega tane dayanımının belirlenmesi, standard bir kap içerisinde iri agrega numunesinin ezilmesi (ufalanması) ve bunun sonucu elde edilen ince malzeme miktarının ölçümüne dayanır [51]. Ölçüm değerine etki eden etmenler; agrega şekli, yassılık, içsel kusurlar veya çatlaklar ve kayaç dayanımı olarak sıralanabilir [51].

Agrega tane dayanımı, TS EN 1097-2 standardında [65] belirtilen ölçüm yöntemi ile elde edilen Los Angeles katsayısı ve darbe direnç değeri kategorileri ile belirtilir [31].

- **Agregaların aşınma direnci ve sertliği**

Agrega aşınma direnci ve yüzey sertliğinin beton uygulamalarının çoğunda çok az veya hiç önemi yoktur [51]. Fakat bazı özel uygulamalarda bu agrega özellikleri beton özelliklerini etkilemektedir. İlk uygulama, beton yüzeylerinin bazı aşınma kuvvetlerine maruz kaldığı uygulamalardır. İkinci uygulama, agrega aşınma direncinin agrega üretimi ve nakliyesi esnasında agrega performansını etkileyen önemli bir etken olduğu uygulamalardır. Dayanımı düşük ve kolay ufalanabilir agregalar harmanlama, karıştırma ve döküm esnasında parçalanabilirler. Bu nedenle ince malzeme miktarındaki artış işlenebilirlikte kayıp, hava içeriğinde azalma oluşturur [51].

Agregaların aşınması sürtünme, zımparalama, kazıma, darbe ve hidrolik erozyon ile gerçekleşebilir [66]. Agregaların aşınma direnci ölçüm yöntemleri ve beton agregası için sınır değerleri [67], [68] ve [31] nolu kaynaklarda detaylı olarak verilmektedir. Agregaya yüzey sertliği sadece agregaların işlenmesi esnasında oluşacak olası aşınmalar

durumunda önemlidir. Sertliğin klasik tanımı, kazıma (perdah), batma veya ovalamaya (sürtünme) karşı dirençtir. Yüzey sertliği agregalardaki farklı mineral tanelerinin sertliğine ve tokluğuna bağlıdır [51].

✓ Agregaların kimyasal ve durabilite özellikleri

Agregaların kimyasal ve dürabilite özellikleri, tayini ve beton agregaları için sınır değerleri [31], [51], [69], [70], [71] ve [72] nolu kaynaklarda ayrıntılı olarak verilmektedir.

✓ Agregalarda bulunan zararlı maddeler ve tuzlar

Beton agregalarındaki çeşitli maddeler, çimento ile etkileşime girerler veya arzu edilmeyen etkilere sebep olurlar. Örneğin, sülfatlar çimento hidrasyonunu etkilerken, yüksek düzeyde klorürler donatı çeliğinde korozyona sebep olurlar [51].

Agrega içerisinde bulunan istenmeyen maddelerin betonda meydana getirdikleri zararlı etkiler [56] kaynağında; (1) çimentonun pirizine kimyasal etki, (2) çimento hamuru ve agregası arasındaki bağları fiziksel olarak engelleme, (3) dayanıklılık (kalıcılık) veya sertleşmiş malzeme dayanımına zarar verebilecek düzeyde taze beton özelliklerini değiştirme, (4) sertleşmeden sonra agregası ve çimento hamuru arasında etkileşimin devam etmesi, bazen betonun genleşmesi ve çatlamasına sebep olur, (5) agregası tanelerinin kendilerinin zayıf ve düşük dayanıklılığa sahip olması olarak özetlenmektedir [56].

Zararlı maddeler genellikle agregalardaki belirli mineral ve kayaçlar, organik maddeler, istenmeyen tuzlar ve diğer kimyasallardır. Zararlı maddeler ve betondaki istenmeyen etkileri, tayini ve sınır değerleri [73], [74], [75], [56], [51], [76] ve [31] nolu kaynaklarda ayrıntılı olarak verilmektedir.

2.3 Su

Malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyunun işlevleri çimento ve agregası tanelerinin yüzeyini ıslatarak “işlenebilme”sini sağlamak ve çimento taneleriyle birleşerek su + çimento hamurunun sertleşip mekaniksel direnç kazanmasını sağlayan hidrasyon “kimyasal tepkimelerini” oluşturmaktır.

Beton üretiminde kullanılacak karma suyunun özellikleri, betonun priz süresini, dayanım kazanma hızını ve donatının korozyona karşı korunmasını etkiler [33]. Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun ön muayenesi için incelenecek özellikler ve deney işlemleri, kimyasal özellikleri ve sınır değerleri [33] nolu kaynakta verilmektedir.

Uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton numunelerde priz başlangıç süresi, bir saatten daha az olmamalı ve damıtık su veya deiyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz başlangıç süresine göre %25'ten daha fazla sapma göstermemelidir [33]. Priz bitiş süresi ise 12 saatten daha uzun olmamalı ve damıtık su veya deiyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz sona erme süresine göre %25'ten daha fazla sapma göstermemelidir [33].

Uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton veya harç numunelerin 7 günlük ortalama basma dayanımı, aynı yaşta deneye tâbi tutulan damıtık su veya deiyonize su ile hazırlanmış numune basma dayanımının %90'ından daha küçük olmamalıdır [33].

2.4 Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri su, agrega ve çimento dışında, betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini istenen şekilde değiştirmek üzere betona katılan malzemelerin genel adıdır.

Katkı maddeleri konusunda aşağıdaki genel bilgilere ve değerlendirmelere dikkat etmek gerekir [77];

- Katkı maddeleri sihirli maddeler değildir. Kurallarına uygun olarak üretilmeyen kötü bir betonu katkı kullanarak iyileştirmek imkânsızdır.
- Katkı maddeleri her çimento, her agrega türü ve granülometrisi için istenene uygun sonuç vermeyebilir. Bu bakımdan katkının diğer malzemelerle uyumu önceden deneyle araştırılmalıdır.
- Pazarlayıcı tarafından önerilen yüzdeler her hâle uygulanabilir değerler değildir. Katkı dozajı ön deneylerle araştırılmalıdır.
- Katkı maddelerinin ana fonksiyonları yanında daima ikincil etkileri de vardır. Bir özellik düzeltilirken başka bir özeliği bozmak olasıdır.

- Bazı durumlarda birden fazla katkı maddesi birlikte kullanılır. Bunların uyumları, birbirlerinin etkilerini bozmadıkları kanıtlanmalıdır.

2.4.1 Kimyasal Katkı Maddeleri

Kimyasal katkı maddeleri, TS EN 934-2'de [78] "betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlesinin %5'ini geçmemek üzere, eklenen madde" olarak tanımlanmaktadır.

Kimyasal katkı özellikleri, TS EN 934-2 (beton içerisinde kullanılan kimyasal katkıları) [78], TS EN 934-3 (harç katkıları) [79], TS EN 934-4 (şerbet katkıları) [80] ve TS EN 934-5 (püskürtme beton katkıları) [81] standartlarında belirtilmektedir.

Süper akışkanlaştırıcılar su azaltıcı katkıların geliştirilmiş bir türüdür. Sabit bir su/çimento oranında süper akışkanlaştırıcılar karışım kohezyonu aynı kaldığı halde işlenebilirliği artırır. Genellikle çökme değerinin 75 mm'den 200 mm'ye kadar çıkmasını sağlarlar (yüksek sıcaklıklarda işlenebilirlikteki iyileşme daha az olur) [29].

Süper akışkanlaştırıcılar normal işlenebilir beton üretiminde kullanılırlar fakat su/çimento oranındaki anlamlı düzeyde azalma sebebiyle yüksek dayanım elde edilir [29]. Genellikle, süper akışkanlar belli işlenebilirlik için su içeriğini %25-35 düzeyinde düşürebilirler ve 24 saatlik dayanımı %50-75 oranında artırır ve hattâ erken yaşlarda çok daha iyi sonuç verebilirler [82]. Uzun dönem dayanımları etkilememektedir [40]. Süper akışkanlaştırıcıların ilave edilmesinin betonun erken dayanımına etkisi farklılık göstermektedir [83].

Süper akışkanlaştırıcıların plastikleştirici etkisi kısa dönemlidir (muhtemelen 10 dakika). 30 ile 90 dakika arasında işlenebilirlik normale döner [84].

Süper akışkanlaştırıcıların C_3A içeriği çok düşük olan çimento kullanıldığında aşırı gecikme oluşabilmesi dışında betonun prizine anlamlı düzeyde bir etkisi yoktur [29]. Büzülme, sünme, elatisite modülü [85], veya donma-çözülme direncini [84] etkilemezler. Sülfat etkisinde durabiliteyi etkilemez [86].

2.4.2 Mineral Katkı Maddeleri

Mineral katkıları, beton yapımında kullanılan çimentonun, suyun, agreganın ve liflerin dışında, beton karışımının içerisine karıştırma işlemi öncesinde veya esnasında katılan ince taneli mineraller olarak adlandırılmaktadır. Betonda kullanılan en yaygın mineral katkıları puzolanik malzemelerdir. Puzolanik malzemeler, "kendi başlarına bağlayıcılık özeliği olmayan, fakat ince taneli durumdayken veya ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir [38]. Bims, çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Uçucu küller ve silis dumanı yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir. Genel olarak puzolanların beton özelliklerine etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir [38].

- Karışım suyu gereksinimi artar. Ancak bazı uçucu küller az miktarda (çimento kütlesine oranla yaklaşık %5) katıldıklarında karma suyu gereksiniminde azalmaya neden olabilir.
- İşlenebilirlik ve kohezyon artar, ayrışma ve terleme azalır.
- Donma-çözülme direnci erken yaşlarda azalır.
- Dayanım kazanma hızı azalır. Geç yaşlarda dayanımlar yüksek olur.
- Alkali-agrega reaksiyonu riski azalır.
- Hidratasyon ısı azalır.
- Rötrenin genellikle artar.
- Sülfat direnci artar.

Bütün katkılarda olduğu gibi puzolanların kullanılacağı durumlarda da mutlaka gerçek kullanım koşullarına uygun denemeler yapılması gerekir.

2.5 Taze Beton

Taze beton, betonun, karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, seçilen yöntemle sıkıştırılabilir haldeki durumu olarak tariflenmektedir [27].

Taze beton ayrışma gerçekleşmeden, betonun taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey sonlandırması için yeterli bir süre yeterli kıvam düzeyini korumalıdır. Taze beton özellikleri sırasıyla karıştırma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma işlemlerini ve yapı özelliklerini etkiler. Taze beton aşağıdaki koşulları sağlamalıdır [34].

- Kolayca karıştırılabilmeli ve ayrışmadan taşınabilmelidir.
- Belirli bir yığının genelinde ve yığınlar arasında üniform olmalıdır.
- Taşıma süresince akıcılığını korumalıdır.
- Akıcılık özeliğine sahip olmalıdır, kesitin tamamının doldurulabilmesine imkân sağlamalıdır.
- Ayrışmaksızın tamamen sıkıştırılabilmelidir.
- Uygun sürede priz almalı, sertleşmeye başlamalıdır.
- Uygun sonlandırmayı gerçekleştirme imkânı vermelidir.

Geleneksel betonların su gereksiniminde, büyük ölçüde agregalar özellikle ince agregalar belirleyicidir. Karışımın standard su gereksinimi, esas olarak portland çimento içeriğinin genişçe bir aralığı içerisinde fazlaca değişmez. Su gereksinimi, iri agrega en büyük tane büyüklüğü, tane şekli, agreganın dokusu ve agrega granülometrisine bağlıdır [51].

2.5.1 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, taze betonun minimum enerji ile karıştırılabilmesi, kalıbı içine boşluksuz yerleşebilmesi ve karıştırma, taşıma ve yerleştirme sırasında ayrışmaması özelliklerinin tümünü ifade eden bir kavramdır [41].

Taze beton işlenebilirliği kıvam ve kohezyon olarak iki kavram içerir. Kıvam, taze betonun akıcılığını (karışımın ıslaklığı veya kuruluğu [87]), kohezyon ise taze betonun tüm bileşenleri üniform olarak birlikte tutabilme yeteneğini tanımlar [34].

✓ İşlenebilirliğin ölçümü

İşlenebilirliğin verilen tanımları çerçevesinde evrensel olarak kabul görmüş ölçümü hâlen bulunmamaktadır [34]. Beton kıvamının ölçülmesinde en çok kullanılan deney,

çökme (slump) deneyidir. Aynı amaçla, düşük kıvamdaki (örnek olarak çökme değeri sıfır olan) karışımlar için daha uygun olan Vebe deneyi kullanılır [34]. Taze beton kıvam sınıfları çökme ve Vebe deneyi için belirtilmelidir [27].

✓ İşlenebilirliği etkileyen etmenler

Kıvam ve kohezyonun farklı gereksinimleri nedeniyle işlenebilirlik üzerindeki etmenler çelişebilmektedir [34]. Genellikle, su içeriği, çimento içeriği, agrega özellikleri, katkı maddeleri, sıcaklık ve zaman kıvam ve/veya kohezyon üzerindeki etkileri ile beton karışımının işlenebilirliğini etkilemektedir [34].

✓ Ayrışma ve kuma (terleme)

Ayrışma (segregasyon), taze beton içerisindeki malzemelerin karışımın bütününde homojen olarak dağılmamasını ifade eder. Bunun sonucu beton özelliklerinde bölgesel farklılıklar oluşur.

Kurallarına uygun biçimde betonarme eleman kalıbının içerisindeki yerine iletilmiş ve yerleştirilmiş taze betonda ayrışma iki şekilde görülür. Birincisi, iri agrega tanelerinin betonun su ve ince tanelere göre yerçekimi etkisiyle aşağı katmanlara doğru çökme eğilimi göstermesi şeklindedir. İkincisi, özellikle su içeriği yüksek ve/veya iri agrega tane yoğunluğu yüksek karışımlarda karışımdan çimento bulamacının (çimento + su karışımının) ayrışması ile açıkça görülebilir. Bazı granülometreler ile düşük dozajlı karışımlar kullanıldığında, eğer karışım çok kuru ise birinci tip ayrışma oluşabilir; karışımın kohezyonunu iyileştirmek için su ilavesi yapılabilir fakat karışım çok akıcı hale geldiğinde ikinci tür ayrışma oluşabilir [29]. İnce agrega granülometrisinin çok iri olması durumunda inceler dâhil bütün katı tanecikler yerçekimi etkisiyle birlikte aşağı doğru çökler, suyun görece hareket ediyor görüldüğü bu özel ayrışma türüne “su kuma” veya “terleme” adı verilmektedir. Terleme olayında agrega taneciklerinin, genellikle iri agrega tanelerinin ve donatı çubuklarının altında merccekler halinde, betonun üst yüzeyinin üstünde su birikir. Betonda ayrışmanın önlenmesi için karışım oranlarının, özellikle bağlayıcı madde dâhil ince katılar (özellikle tane büyüklüğü $\leq 75 \mu\text{m}$) içeriğinin dikkatli seçilmesi, karıştırma ve yerleştirme işlemlerinin özenle gerçekleştirilmesi gerekir [34].

Kusma sonucunda; (i) betona katılan suyun bir miktarının betonun yüzeyinde toplanması ve bu bölgenin Su/Çimento oranının artması ile dayanımı azalır; (ii) suyun üst yüzeye ulaşınca kadar izlediği yol boyunca geride boşluklar kalır ve bu nedenle beton dışarıdan gelen kimyasal etkilerden ve donma-çözülme çevrimlerinden daha kolay zarar görür; (iii) suyun üst yüzeye çıkarken iri agrega taneleri ve betonarme donatının alt bölgelerinde toplanması ile bu bölgelerde hava cepleri oluşturur ve bu nedenle iri agrega-harç ve donatı-beton arayüzlerinin yapışma bağ dayanımlarının düşmesine neden olur [38]. Söz konusu cep veya mercek şeklindeki boşluklar beton kütesinin yatay doğrultudaki geçirimsizliğini arttırıcı etki yapar.

2.5.2 Pompalanabilir Beton

Pompa yardımı ile kalıplara iletilecek betonun bazı özelliklere sahip olması gerekir. Pompa ile iletim yatayda veya düşeyde yapılır. Genelde, karışım dişli, çok kuru veya çok ıslak vb. olmamalıdır. Genellikle çökme değerinin 40 mm ile 100 mm olması önerilir; fakat pompalama kısmî sıkıştırma oluşturur ve bu nedenle teslim noktasına kadar çökme 10 mm ile 25 mm'ye kadar azalabilir [29]. Plastik kıvamdaki (çökme = 80-100 mm) beton rahatlıkla pompalanabilir [38]. Benzer şekilde akıcı ve çok akıcı kıvamdaki betonlar da pompalanabilir [38]. Uygulamada, pompalanabilir akışkanlaştırıcı katkılı beton için istenen çökme değerinin 100 mm – 210 mm aralığında olduğu bilinmektedir.

Pompalanabilir beton için en büyük agrega tane büyüklüğü, beton kıvamı, kohezyonu ve betonun ayrışmaması önem taşır [38]. Beton pompa ile iletilecek ve dökülecekse betonda kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü pompa borusu iç çapının 1/3'ünü aşmamalıdır [5]. Pompalanabilir beton için yüksek ince agrega içeriğine gereksinim vardır ve iyi tane şekli ve yüzey dokusu ile iyi-garanülometriye sahip olması çok önemlidir. En büyük tane büyüklüğü 20 mm olan betonlar için en uygun ince agrega içeriğinin ($P_{a \leq 4.00 \text{ mm}}$) %37 – %45 arasında olması ve ince agregada $\%15 \leq P_{a = 0.30 \text{ mm}} \leq \%30$ ve $0.05 \leq P_{a = 0.15 \text{ mm}} \leq 0.10$ olması gerekmektedir [29]. Genellikle, ince agreganın $P_{a = 0.30 \text{ mm}}$ değeri yaklaşık %30 olmalıdır [29].

2.6 Sertleşmiş Beton

Sertleşmiş beton, katı fazda ve belirli seviyede dayanım kazanmış beton olarak tariflenir [27]. Hidratasyonun gelişimiyle birlikte, beton akıcı durumdan plastik duruma ve en nihayet katı sertleşmiş duruma ulaşır. Sertleşmiş durumda beton yapısal malzemeler gibi dış yükleri desteklemeye hazırdır. Sertleşmiş betonun en önemli özellikleri çeşitli dayanımlar, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, çeşitli modüller, Poisson oranı ve durabiliteyi kapsar. Beton dayanımı bunların içinde en önemli özeliğidir. Bununla beraber, dayanım genellikle betonun niteliğinin genel görünüşünü verir çünkü dayanım sertleşmiş çimento hamurunun yapısı ile doğrudan ilişkilidir [29].

Uygulamada, öngörölmüş belirli yaş ve sıcaklıkta saklanan beton dayanımının esas olarak sadece iki etmene bağlı olduğu kabul edilir; Su/Çimento (S/Ç) oranı ve sıkıştırılabilme derecesi [29]. Uygulamada sertleşmiş betonun yaklaşık %1 hava boşluğuna sahip olduğu kabulü yapılır [29].

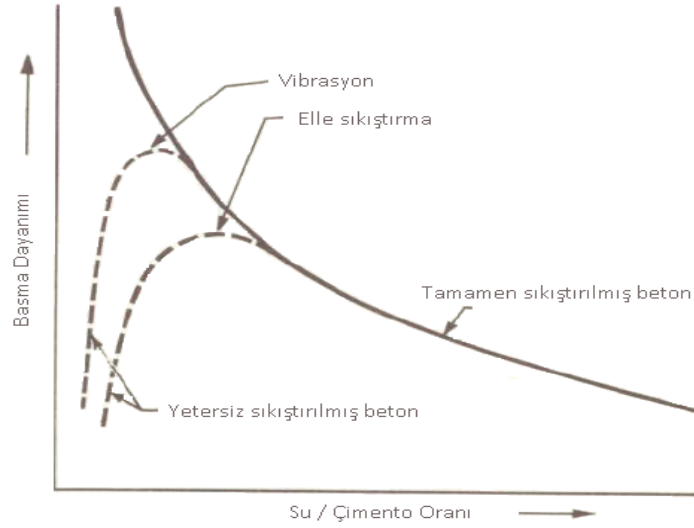
Beton tamamen sıkıştırıldığında dayanım Su/Çimento oranı ile ters orantılı olarak ele alınır. Bu bağıntı 1919'da Duff Abrams tarafından K_1 ve K_2 deneysel sabit olmak üzere (2.3) şeklinde önerildi.

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{S/\Ç}} \quad (2.3)$$

Su/Çimento oranına göre basma dayanımı formülü Graf tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \left(\frac{\Ç}{S} \right)^2 \quad (2.4)$$

Basma dayanımı ile Su/Çimento oranı arasındaki bağıntı Şekil 2.2'de görölmektedir [29].



Şekil 2.2 Beton dayanımı ve S/Ç oranı arasındaki ilişki [29]

Abrams “yasası”, bağımsız oluşturulmasına rağmen 1896’da Férét tarafından formüle edilen genel kurala benzerlik gösterir [29]. Férét kuralı, f_c , beton dayanımı, ζ , s ve h sırasıyla çimento, su ve havanın mutlak hacimleri ve K sabit olmak üzere (2.5) şeklinde verilir.

$$f_c = K \cdot \left(\frac{\zeta}{\zeta + s + h} \right)^2 \quad (2.5)$$

Hidratasyonun her bir aşamasında sertleşmiş çimento hamurunun boşlukluluğunu Su/Çimento oranı belirler. Su/Çimento oranı ve sıkıştırma düzeyinin her ikisi birlikte betonun boşluk hacmini etkiler ve bu Férét’in ifadesinin içerdiği betondaki hava hacminin nedenini açıklar [29].

Dayanım ve toplam boşluk hacmi arasındaki ilişki betonun özgün özeliği değildir çünkü suyun geride bıraktığı boşlukların da bulunduğu diğer kırılmalarda da bu özellik bulunur. Örneğin harç dayanımı boşluk içeriğinin dolaysız fonksiyonudur [88].

Beton dayanımı muhtemelen betondaki tüm boşluklardan (hapsedilmiş hava, kılcal boşluklar, jel boşlukları ve eğer varsa sürüklenmiş hava) etkilenir [89]. Özünde dayanım, toplam boşluk hacmi ile bağlantılıdır ve buradaki en anlamlı faktör Su/Çimento oranıdır. Daha temel bir düzeyde bu, hidrate olmuş çimento hamuru hacminin hidrate çimento hacmi ve kılcal boşlukların toplamına oranı olan jel/hacim (hacim = etkin anhidrit bağlayıcı+su+hava hacimlerinin toplamı, eşdeyişle, hidratasyon

ürünü olarak asıl bağlayıcı işlev gösteren “jel”in doldurması beklenen hacim olarak tanımlanmaktadır) oranının (x) fonksiyonu olarak ifade edilebilir [90]. Powers deneysel verilerine göre x değerine bağlı olarak dayanımı (2.6) şeklinde vermiştir.

$$f_c = 234 \cdot x^3 \quad (2.6)$$

(2.6) betonun yaşından ve karışım oranlarından bağımsızdır. Ancak x değeri çimentonun α hidrasyon derecesine bağlı olarak artmaktadır.

Beton dayanımı öncelikle jelin fiziksel yapısına bağlıdır ve jelin kimyasal bileşimi ilerleyen yaşlarda küçük ikincil etkiler oluşturur [90].

Bu tür modeller, sadece çimento hamuruna odaklanır, agrega özelliklerinin dayanım üzerinde önemli olabilecek etkilerini göz ardı eder. Beton dayanımı tahmini için kuramsal modellere güvenmek ihtiyatlı değildir [90]. Belirli çimento ve kabul edilebilir agrega ile üretilen betonun dayanımını etkileyen değişkenler [29];

- Su/Çimento oranı,
- Agrega/Çimento oranı,
- Agrega granülometrisi, tanelerin yüzey dokusu, biçim, dayanım ve rijitliği,
- En büyük agrega tane büyüklüğü olarak sayılabilir.

Betonlar basma dayanımlarına göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırmada, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basma dayanımı ($f_{ck, sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basma dayanımı ($f_{ck, küp}$) kullanılır.

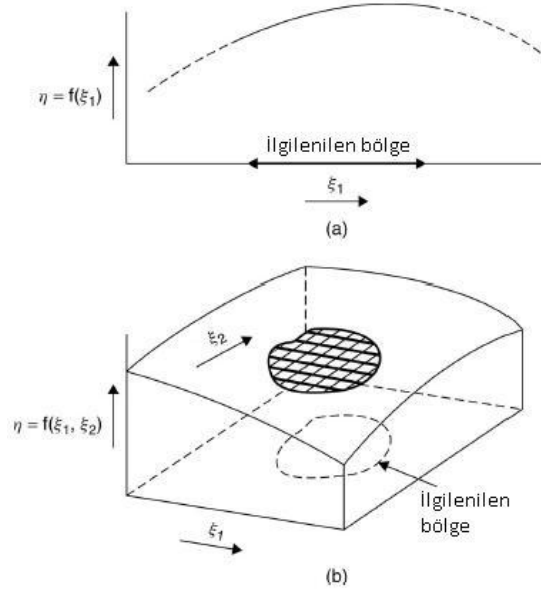
TEPKİ YÜZEYİ YÖNTEMBİLGİSİ

Tepki yüzeyi yöntembilgisi (TYY) bir sürecin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve eniyilemesi için faydalı istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür [2]. Özenli (dikkatli, ölçülü) tasarım ve deneylerin analizi vasıtasıyla, tepki veya çıktı (ürün) değişkeni ile bunlara etki eden tahminçiler veya girdi (etki) değişkenlerinin sayılarının düzeyleri arasındaki bağlantıyı araştırır [3]. Ayrıca mevcut bir ürün tasarımının iyileştirilmesinde olduğu gibi yeni ürünlerin tasarımı, geliştirilmesi ve formülasyonuna yönelik oldukça yararlı uygulamaları vardır [2].

Üzerinde çalışılan değişkenler uygulamanın özel bir alanı ile ilgilidir. TYY'in bu özel uygulama alanları, belirli bir ürünün veya sürecin bazı çıktı özelliklerini veya nitelik (kalite) karakteristiklerini birtakım girdi değişkenlerinin etkilediği bilinen veya tahmin edilen durumlardır. Bu başarımların özellikleri veya nitelik karakteristikleri "tepki" (mukabele, yanıt (uluslar arası istatistik enstitüsü)) olarak isimlendirilirler [2]. Girdi değişkenleri bazen "bağımsız değişkenler" olarak da isimlendirilirler [2]. Tepki veya çıktı değişkenleri ile girdi değişkenleri arasında aşağıdaki gibi fonksiyonel bir ilişki olduğu varsayılır [3].

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \quad (3.1)$$

Sadece bir girdi değişkeni (ξ_1) varsa, tepki eğrisi (Şekil 3.1 (a)) vasıtasıyla tepki değişkeni ile girdi değişkeni arasında bir bağıntı kurulur [3]. Eğer iki girdi değişkeni (ξ_1, ξ_2) varsa, tepki değişkeni ile girdi değişkenlerinin grafiği üç boyutlu uzayda çizilebilir ve Şekil 3.1 (b)'deki gibi bir tepki yüzeyi elde edilir [3].



Şekil 3.1 Tepki eğrisi (a) ve tepki yüzeyi (b) [3]

Herhangi bir girdi değişkenine (ξ) göre aynı koşullarda yapılan tekrarlı deneylerde, ölçüm hatâları, gözlemlenebilir hatâlar ve malzemedeki temel değişkenlikler nedeniyle ölçülen tepki değişecektir [3]. Bu nedenle, y olarak adlandırılan gerçek gözlemlenen tepki sonuçları ile bağımsız değişkenler arasında uygun yaklaşım modelini oluşturmak için istatistiksel modelleme yapılır. Genelde ilişki aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon \quad (3.2)$$

Burada f biçimi bilinmeyen gerçek tepki fonksiyonu ve ε , f fonksiyonu içerisinde hesaba katılmayan diğer değişkenlerin ve kullanılan matematiksel biçimin yetersiz kaldığı girdi değişkeni katkılarını temsil eden bir terimdir [2]. Genellikle, ε tepkideki ölçüm hatâlarının, arka plan gürültülerinin ve diğer değişkenlerin etkilerini içerir [91]. Epsilon (ε) istatistiksel hatâ olarak değerlendirilmektedir ve genellikle sıfır ortalaması etrafında σ^2 varyansla normal dağılıma sahip olduğu kabul edilir [2]. Epsilonun ortalamasının sıfır olması halinde (3.3) yazılabilir.

$$\begin{aligned} E[y] &\equiv \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)] + E[\varepsilon] \\ &= f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \end{aligned} \quad (3.3)$$

(3.3)'deki $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ değişkenleri ölçümün doğal birimini ifade ettikleri için genellikle "doğal değişkenler" olarak isimlendirilirler [2]. TYY çalışmalarında doğal değişkenlerin

yerine, x_1, x_2, \dots, x_k kodlanmış veya standardlaştırılmış değişkenlerle çalışmak daha uygun olmaktadır [3]. Bu kodlanmış değişkenler genellikle birimsiz olarak tanımlanırlar, ortalamaları sıfırdır ve aynı dağılıma veya standard sapmaya sahiptirler. Bu olgu sayısal hesaplarda doğal değişkenler arasındaki mertebe farklarından kaynaklanacak hatâları en aza indirilmesi bakımından da büyük yarar sağlamaktadır. Doğal değişkenler kodlanmış değişkenlere (3.4) yardımıyla dönüştürülürler [2].

$$x_i = \frac{\xi_i - (\xi_{iEB} + \xi_{iEK}) / 2}{(\xi_{iEB} - \xi_{iEK}) / 2} \quad (3.4)$$

ξ_i , i 'inci değişkene ait değeri ifade eder. Kodlanmış değişkenler kullanılarak, (3.3)'de verilen gerçek tepki fonksiyonu (3.5) şeklinde yazılır.

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.5)$$

Gerçek f tepki fonksiyonunun biçiminin tahmin edilmesi gerekir. Aslında TYY'nin başarılı kullanımı büyük ölçüde deneyi yapanın f için uygun yaklaşım geliştirebilme kabiliyetine bağlıdır. Genellikle bağımsız değişkenin bazı nispeten küçük değişim aralıklarında düşük üstel polinom uygundur. Birçok durumda birinci derece veya ikinci derece model kullanılır [2].

Birinci dereceden model, f tepki fonksiyonunun küçük eğrilikler içerdiği bağımsız değişken uzayının yeterince küçük bir bölgesi üzerindeki gerçek tepki yüzeyinin tahmini söz konusu olduğunda uygun olabilmektedir [2].

İki bağımsız değişkenin olduğu durum için birinci dereceden model kodlanmış değişkenler cinsinden (3.6) şeklinde yazılır.

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3.6)$$

(3.6)'daki birinci dereceden modelin denklemini ana etkiler modeli olarak adlandırılır. Çünkü x_1 ve x_2 değişkenlerinin yalnız ana etkilerini ihtiva eder. Eğer bu değişkenler arasında bir etkileşim varsa aşağıdaki şekilde bir ilave kolaylıkla yapılabilir [2].

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.7)$$

Bu “bir etkileşimli” birinci dereceden modeldir. Etkileşim teriminin ilavesi tepki fonksiyonunda (yüzeyinde) eğrisellik oluşturur [91].

Genellikle gerçek tepki yüzeyindeki eğrisellik (etkileşim terimi ilave edilmiş olsa bile) yüksek olur. Bu durumda muhtemelen ikinci dereceden modele ihtiyaç duyulur. İki değişkenli durum için ikinci dereceden model (3.8) biçiminde yazılabilir [2].

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.8)$$

Bu modelden, nispeten küçük bir bölgedeki gerçek tepki yüzeyinin tahmini için yararlanılabilir [91]. Bu bölgedeki gerçek tepki yüzeyinde önemli miktarda eğrilik bulunabilir.

İkinci dereceden model TYY’de genellikle birkaç sebeple kullanılır [91];

- İkinci dereceden model oldukça esneklerdir. Fonksiyonel formun genişçe bir değişim aralığını kapsar ve gerçek yüzeyin tahmininde oldukça iyi yaklaşım verir.
- İkinci derece modelde parametreler kolaylıkla (β) tahmin edilir. En küçük kareler yöntemi bu amaçla kullanılabilir.
- Gerçek tepki yüzeyi problemlerinin çözümünde ikinci dereceden modelin iyi sonuçlar verdiğini gösteren çok sayıda uygulama deneyimi mevcuttur.

Bazı durumlarda ikiden yüksek dereceli tahmin polinomları kullanılır. Gerçek tepki fonksiyonunun çokterimli tahmini için genel tercih, $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0}$ noktaları etrafında Taylor serisi açılımına dayanır.

Sonuç olarak TYY ve lineer regresyon analizi arasında yakın bir bağlantı vardır [2]. Meselâ (3.9) modelini ele alalım.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.9)$$

Burada β katsayıları bilinmeyen parametreler kümesidir. Bu parametrelerin değerlerini tayin etmek için önce araştırılan sistemle ilgili verilerin toplanması, derlenmesi gerekir. İstatistiksel modelleme aracı olarak regresyon analizi toplanan verilerden β ’ların tahmin edilmesinde kullanılır. Genelde çokterimli modeller bilinmeyen β ’ların lineer fonksiyonları olduğu için bu tekniğe lineer regresyon analizi de denilir. Tepki yüzeyi

çalışmasının veri toplama aşamasının dikkatli bir şekilde kurgulanması çok önemlidir. Gerçekten de deney tasarımının “tepki yüzeyi tasarımı” adı verilen özel türleri bu anlamda değerlidir [2].

3.1 TYY'nin Ardışık Doğası

Tepki yüzeyi modelinin birçok uygulaması doğasında ardışıklık (peşpeşe gelen işlemler dizisi) içerir ve üç evreden (Evre 0, Evre 1 ve Evre 2) oluşur.

Evre 0: İlk önce tepki yüzeyi çalışmasında hangi etmenlerin veya değişkenlerin önemli olduğuna dair fikirler üretilmesi gerekir. Bu evrede etkiler ve tepkiler arasında var olduğu bilinen, istatistiksel olmayan, fiziksel ve kuramsal ilişkilerin değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu genellikle deney tasarımının bu etmenlerin önemsiz olanlarını eleme, değerlendirme dışında bırakma, düşüncesiyle tasarlanmasına götürür. Bu tip deneyler “eleme deneyi” olarak isimlendirilir. Etmen eleme amacı, aday değişkenler listesinin kısaltılmasıdır ki bundan sonraki deneyler daha verimli olsun ve daha az deney veya sınamaya gerektirsin [91]. Önemli etmenlerin belirlenmesini sağlayan eleme deneyleri gerçekleşmedikçe tepki yüzeyi çözümlenmesine kesinlikle başlanamaz [2].

Evre 1: Önemli bağımsız değişkenler tanımlandıktan sonra tepki yüzeyi çalışmasının “evre bir” bölümü başlar. Bu evrede deney yapanın amacı bağımsız değişkenlerin mevcut seviyelerinin eniyi yakınında mı uzak farklı bir bölgede mi bir tepki oluşturduğunu belirlemektir [2]. Eğer bağımsız değişkenlerin mevcut seviyeleri en uygun başarımla uyumlu değilse, deneyi yapanın süreç değişkenlerine süreci eniyiye doğru yaklaştırmak için uygulanacak ayarlamalar kümesini/dizisini belirlemesi gerekir. Tepki yüzeyi yöntembilgisinin bu evresinde birinci dereceden model ve “en dik çıkış yöntemi” oldukça yoğun kullanır [2].

Evre 2: İkinci evre süreç eniyiye yaklaştığında başlar. Bu noktada deneyi yapan genellikle eniyi civarındaki nispeten küçük bir bölge içerisinde gerçek tepki yüzeyini doğru şekilde tahmin edecek modeli bulmak istemektedir. Çünkü gerçek tepki yüzeyi genellikle eniyi civarında eğrisel bir yapı gösterir ve ikinci dereceden model (veya muhtemelen daha yüksek dereceden polinom) kullanılacaktır. Uygun bir yaklaşık

yaklaşım modeli elde edildikten sonra bu model süreç için ikinci derece modeli ve eniyi şartları tayin etmek üzere kullanılabilir [2].

Bu ardışık deneysel süreç genellikle işlevsel (çalışılabilir) bölge olarak isimlendirilen bağımsız değişkenler uzayının belirli bir bölgesi içinde gerçekleştirilir [2].

Tepki yüzeyi yöntembilgisinin bu ardışık doğası, deneyi yapana incelenmekte olan süreç veya sistemi ileri araştırmalarla öğrenme imkânı tanır. Böylelikle deneyi yapan aşağıda belirtilen soruların cevaplarını öğrenecektir [2]:

- Enuygun bölgenin konumu
- Gerekli yaklaşım fonksiyonunun türü/biçimi
- Uygun deney tasarımının seçimi ve
- Kaç tane yinelemenin gerektiği
- Tepkiler veya süreç değişkenleri üzerinde dönüşüm uygulanmasının gerekip gerekmediği.

3.2 TYY'nin Üç Çeşit Uygulamaları

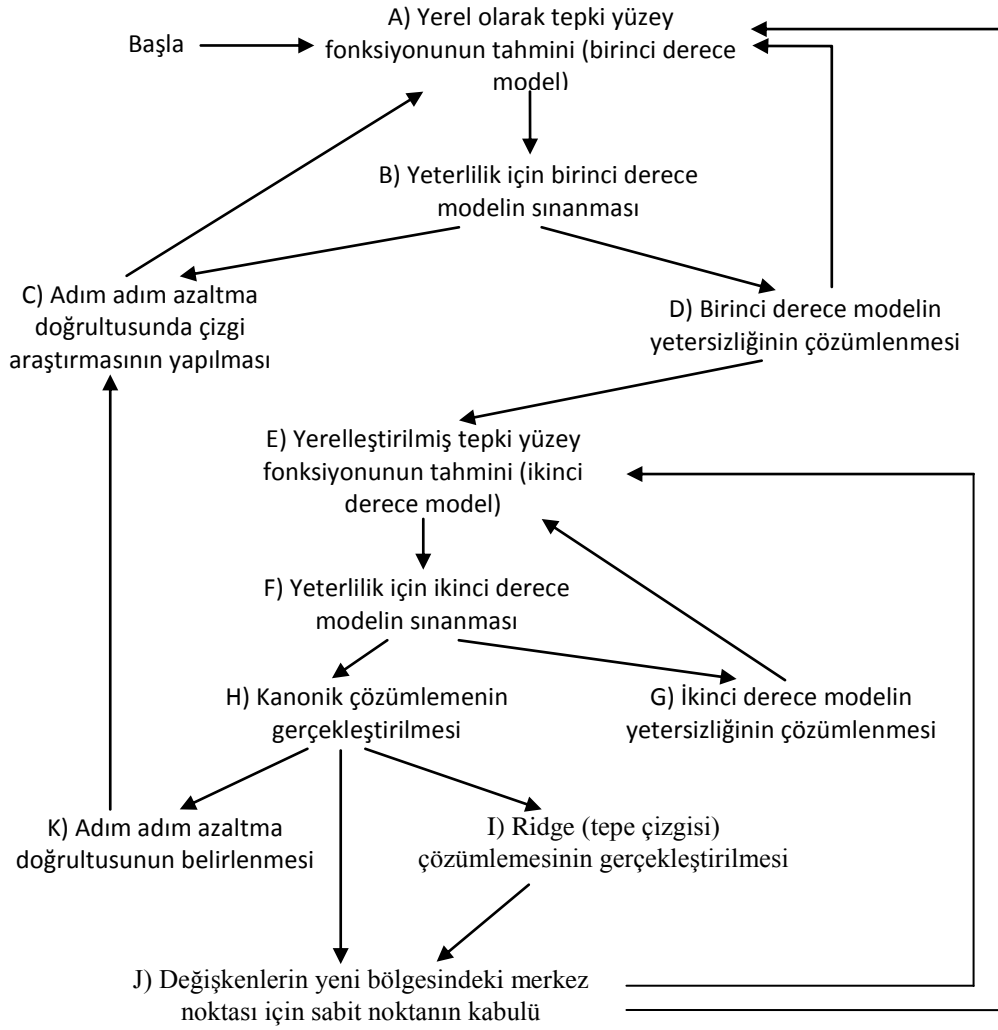
Tepki yüzey yöntembilgisi çok geniş değişkenliğe sahip problemlerin çözümünde fayda sağlamaktadır [3]. Bu problemler genel olarak üç türe ayrılır. (i) İncelenen belirli bir bölge üzerinde tepki yüzeyi haritasının çıkarılması. (ii) İstenilen özellikleri elde etmek için işletme şartlarının seçilmesi. (iii) Enuygun tepki koşullarının araştırılması.

Uygulamada karışık süreç eniyileme problemleri genellikle uygun tepki yüzeyi konturlarının üst üste çizilmesi ile çözülebilmektedir [2]. Ancak uygulamada ikiden fazla süreç değişkeni ve daha karmaşık tepki gereksinimlerini içeren problemlerle sıkça karşılaşılır. Böyle problemlerin çözümünde kontur grafiklerinin üst üste çizilmesinden daha etkin olan diğer eniyileme yöntemleri kullanılır [2].

3.3 TYY İçin Genel Çerçeve

Kuramsal bilgilerin az olduğu durumlarda tepki yüzey yöntembilgisi kullanılarak elde edilecek rastlantısal amaç fonksiyonunun belirlenmesi yüksek maliyetli olabilir ve uzun zaman alabilir. Bu nedenle tam otomasyonlu eniyilemeler için tepki yüzey

yöntembilgisinin genel uygulama çerçevesi Şekil 3.2 [92]'de görülmektedir. Bu çerçeve otomasyona sahip olmayan eniyilemeler için de kullanılabilir [92].



Şekil 3.2 Tepki yüzeyi yöntembilgisi için genel çerçeve [92]

AMPİRİK MODELLERİN KURULMASI**4.1 Lineer Regresyon Modeller ve Parametrelerin Tahmini**

TYY'nin pratik uygulamalarında, doğru tepki yüzeyi bazı bilinmeyen fiziksel mekanizmalardan oluştuğu için bir yaklaşım modeli geliştirilmesi gereklidir. Yaklaşım modeli, süreç veya sistemden gözlenen verilere dayanır ve deneysel bir modeldir [2]. Çoklu regresyon, TYY'de ihtiyaç duyulan ampirik modellerin tiplerinin oluşturulması için faydalı istatistiksel tekniklerin toplamıdır [2].

Genelde, k regresor değişkeni ile bağıntılı olan y tepki değişkenini ifade eden (4.1)'deki model çoklu lineer regresyon modeli olarak adlandırılır [2].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (4.1)$$

$\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$, parametreleri regresyon katsayıları olarak adlandırılır. Bu model, $\{x_j\}$ regresor değişkenlerinin k -boyutlu uzayında bir hiper düzlem tanımlar [2]. β_j parametresi, geriye kalan tüm $x_i (i = j)$ bağımsız değişkenleri sabit tutulduğunda, x_j 'deki birim değişimi sonucu, y tepkisindeki beklenen değişimi gösterir [2].

Genel olarak, ortaya çıkan tepki yüzeyinin şeklinden bağımsız olarak, parametreleri (β değerleri) lineer olan her regresyon modeli lineer regresyon modeli olarak kabul edilir [2].

Çoklu lineer regresyon modellerindeki parametrelerin tahmini için modeller oluşturulur. Buna model uydurma denir [2].

En küçük kareler yöntemi, çoklu lineer regresyon modelindeki regresyon katsayıların tahmininde çok yaygın kullanılmaktadır [2]. Tepki değişkenleri üzerinde y_1, y_2, \dots, y_n olarak adlandırabileceğimiz $n > k$ gözlemlerinin geçerli olduğunu farzedelim. Her bir

gözlemlenen y_i ile beraber, her bir regresor değişkeni üzerinde gözlem mevcuttur ve x_{ij} , x_j değişkeninin i 'inci gözlem veya düzeyini ifade eder [2]. Çoklu lineer regresyon veri planı Çizelge 4.1'de görülmektedir [2]. Modeldeki ε hatâ teriminin, $E(\varepsilon) = 0$ ve $\text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2$ ve de $\{\varepsilon_i\}$ 'nin rasgele değişkenlerle korelasyonsuz olduğunu farz ettiğimizde (4.1) model eşitliği Çizelge 4.1'deki gözlemler dikkate alınarak (4.2)'deki gibi yazılabilir [2].

$$\begin{aligned}
 y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \\
 &= \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Çizelge 4.1 Çoklu lineer regresyon için veri planı [2]

y	x_1	x_2	\dots	x_k
y_1	x_{11}	x_{12}	\dots	x_{1k}
y_2	x_{21}	x_{22}	\dots	x_{2k}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
y_n	x_{n1}	x_{n2}	\dots	x_{nk}

En küçük kareler yöntemi (4.2)'deki β 'ları ε_i hatâ kareleri toplamını minimize edecek şekilde belirler [2]. En küçük kareler fonksiyonu (4.3) ile verilir.

$$\begin{aligned}
 L &= \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)^2
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

L fonksiyonu, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 'ya göre minimize olmalıdır [2]. b_0, b_1, \dots, b_k olarak adlandırabileceğimiz en küçük kareler tahmin edicileri, (4.4a) ve (4.4b)'yi sağlamalıdır [2].

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_0} \right|_{b_0, b_1, \dots, b_k} = -2 \sum_{i=1}^n \left(y_i - b_0 - \sum_{j=1}^k b_j x_{ij} \right) = 0 \tag{4.4a}$$

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_j} \right|_{b_0, b_1, \dots, b_k} = -2 \sum_{i=1}^n \left(y_i - b_0 - \sum_{j=1}^k b_j x_{ij} \right) x_{ij} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k \tag{4.4b}$$

(4.4) basitleştirildiğinde (4.5) elde edilir [2].

$$\begin{aligned}
nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{ik} &= \sum_{i=1}^n y_i \\
b_0 \sum_{i=1}^n x_{i1} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} &= \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\
\vdots & \\
b_0 \sum_{i=1}^n x_{ik} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 &= \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Bu eşitliklere en küçük kareler normal eşitlikleri denir. Dikkat edilirse, her bir bilinmeyen regresyon katsayılarının $p = k+1$ tane normal eşitliği bulunmaktadır. Normal eşitliklerin çözümü, b_0, b_1, \dots, b_k regresyon katsayılarının en küçük kareler tahmin edicilerini vermektedir [2].

Normal eşitliklerin çözümü matris gösterimle basitleşir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Burada;

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \text{ve } \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Genellikle, \mathbf{y} gözlemlerin $n \times 1$ boyutlu vektörü, \mathbf{X} bağımsız değişkenlerin seviyelerinin $n \times p$ boyutlu matrisi, $\boldsymbol{\beta}$ regresyon katsayılarının $p \times 1$ boyutlu vektörü ve $\boldsymbol{\varepsilon}$ rastgele hatâların $n \times 1$ boyutlu vektörüdür [2].

Hatâların karesel toplamını minimize eden, en küçük kareler tahmin edicileri (\mathbf{b}) vektörünü bulmak istediğimizde [2];

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \boldsymbol{\varepsilon}'\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}' \quad \mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}$$

$\boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{y}$, 1×1 matris veya skaler ve bunun transpozesi $(\boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{y})' = \mathbf{y}'\boldsymbol{\beta}\mathbf{X}$ aynı skaler olduğundan L aşağıdaki şekilde yazılabilir [2];

$$\begin{aligned}
L &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - \boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{y} - \mathbf{y}'\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \\
&= \mathbf{y}'\mathbf{y} - 2\boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\boldsymbol{\beta}
\end{aligned} \tag{4.6}$$

En küçük kareler tahmin edicilerinin aşağıdaki koşulu sağlaması gerekmektedir [2].

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} \Big|_b = -2\mathbf{X}'\mathbf{y} + 2\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = 0$$

Yukarıdaki ifade basitleştirildiğinde (4.7) elde edilir.

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (4.7)$$

Normal eşitliklerin çözümü için (4.7)'nin her iki tarafı $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ 'in tersi ile çarpılır. Böylece, β 'nin en küçük kareler tahmin edicileri (4.8) ile bulunur [2].

$$\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (4.8)$$

Normal eşitliklerin matris formunun skaler formu aynı olduğu kolayca görülmektedir. (4.7) açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{ik} \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \end{bmatrix}$$

Eğer gösterilen matris çarpımı gerçekleştirilirse normal eşitliklerin ((4.5)) skaler formu elde edilir.

Uydurulmuş regresyon modeli (4.9) biçiminde yazılır [2].

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\mathbf{b} \quad (4.9)$$

Skaler notasyonlarla ise uygun model aşağıdaki gibi yazılır [2].

$$\hat{y}_i = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

y_i gözlemleri ve \hat{y}_i uydurulmuş değerler arasındaki farka artakalan (artık) denir ve $e_i = y_i - \hat{y}_i$ şeklinde hesaplanır. Artıkların $n \times 1$ vektörü (4.10)'daki gibi ifade edilir [2].

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} \quad (4.10)$$

4.2 En Küçük Kareler Tahmin Edicilerinin Özellikleri ve σ^2 'nin Tahmini

En küçük kareler metodu çoklu lineer regresyon modelindeki β parametrelerinin tarafsız tahmin edicilerini oluşturur. Bu özellik, $E(\varepsilon) = 0$ ve $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{X} = \mathbf{I}$ olduğundan \mathbf{b}' 'nin beklenen değerinin bulunması ile aşağıdaki şekilde gösterilebilir [2].

$$\begin{aligned} E(\mathbf{b}) &= E\left[\mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y}\right] \\ &= E\left[\mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}\right] \\ &= E\left[\mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1}\mathbf{X}'\boldsymbol{\varepsilon}\right] \\ &= \boldsymbol{\beta} \end{aligned}$$

Bu sebeple β 'nin tarafsız tahmin edicileri \mathbf{b}' 'dir. \mathbf{b}' 'nin varyans özeliği kovaryans matrisi ile açıklanır [2].

$$Cov(\mathbf{b}) = E\left[\mathbf{b} - E\mathbf{b}\right]\left[\mathbf{b} - E\mathbf{b}\right]'$$

\mathbf{b}' 'nin kovaryans matrisi bir $p \times p$ simetrik matristir. Bu matrisin (j, j) elemanı b_j 'nin varyansı ve (i, j) 'inci elemanı b_i ve b_j arasındaki kovaryanstır [2]. \mathbf{b}' 'nin kovaryans matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$Cov(\mathbf{b}) = \sigma^2 \mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1} \quad (4.11)$$

Genellikle σ^2 'nin tahmini de gerekli olur. Bunun için artakalanların karelerinin toplamı göz önüne alındığında ve $\mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b}$ değişimi yapıldığında (4.12) ve (4.13) yazılabilir [2].

$$\begin{aligned} SS_E &= \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ &= \mathbf{e}'\mathbf{e} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} SS_E &= (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b})'(\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b}) \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{y} - \mathbf{y}'\mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - 2\mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{y} + \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{y}$ olduğundan (4.13) eşitliği (4.14)'de dönüşür [2].

$$SS_E = \mathbf{y}'\mathbf{y} - \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (4.14)$$

(4.14) hatâ (**error**) veya artık (artakalan) kareler toplamı olarak isimlendirilir ve $n - p$ serbestlik derecesine sahiptir [2] ve $E(SS_E) = \sigma^2(n - p)$ şeklinde gösterilir.

σ^2 'nin tarafsız tahmin edicisi (4.15) ile verilir [2].

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SS_E}{n - p} \quad (4.15)$$

(4.15)'den elde edilen $\hat{\sigma}^2$ 'nin tahmini modele bağımlıdır [2]. Eğer tekrarlama mümkün olabilirse (yani aynı x seviyesinde y üzerinde birden fazla gözlem) $\hat{\sigma}^2$ 'nin modelden bağımsız tahmini elde edilebilir [2].

4.3 Çoklu Regresyonda Hipotez Sınaması

Çoklu lineer regresyon problemlerinde model parametreleri ile ilgili bazı hipotez testleri modelin kullanılabilirliğinin belirlenmesinde yararlıdır. Bu bölümde birkaç önemli hipotez test süreci açıklanmaktadır. Bu süreçler modeldeki ε_i hatâlarının ortalama sıfır ve σ^2 varyansı ile normal ve bağımsız bir dağılıma sahip olduğu varsayımına dayanır. Bu durum $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ şeklinde gösterilir. Bu kabulün sonucu olarak y_i gözlemleri $\beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$ ortalama değeri ve σ^2 varyansı etrafında normal ve bağımsız bir dağılım gösterirler [2].

4.3.1 Regresyonun Anlamlılık Sınaması

Regresyonun anlamlılık sınaması tepki değişkeni y ve x_1, x_2, \dots, x_k regresor değişkenlerinin alt kümesi arasında doğrusal bir bağıntı olup olmadığını gösterir [2]. Uygun hipotezler:

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \\ H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ en azından bir } j \text{ için.} \end{aligned} \quad (4.16)$$

(4.16)'daki H_0 hipotezinin reddilmesi x_1, x_2, \dots, x_k regresor değişkenlerinin en az birinin modele anlamlı düzeyde katkıda bulunduğunu gösterir [2]. Sınama süreci

$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i - \bar{y}^2$ karelerinin genel toplamının modelden (veya regresyondan) gelen karelerin toplamına $SS_R = \sum_{i=1}^n \hat{y}_i - \bar{y}^2$ ve artıklardan (artakalan) (veya hatâdan) gelen karelerin toplamına, $SS_E = \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i^2$ ayrılmasını içerir [2].

$$SS_T = SS_R + SS_E \quad (4.17)$$

Eğer sıfır hipotezi $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ doğru ise χ^2 için serbestlik derecesinin sayısı modeldeki regresor değişkenlerinin sayısına eşit olduğunda SS_R/σ^2 değerleri χ_k^2 olarak dağılacaktır [2]. Ayrıca SS_R/σ^2 değerlerinin χ_{n-k-1}^2 olarak dağılım gösterdiği ve SS_E ile SS_R 'ın bağımsız oldukları gösterilebilir. $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ için sınaama (4.18) ile yapılır ve $F_0, F_{\alpha, k, n-k-1}$ değerini aşıyorsa H_0 reddedilir [2].

$$F_0 = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n - k - 1)} = \frac{MS_R}{MS_E} \quad (4.18)$$

Hipotez testine alternatif olarak p -değeri yaklaşımı kullanılabilir. Bu durumda istatistik F_0 için p -değeri α dan küçük ise H_0 reddedilir. Bu test süreci varyans çözümlemesi olarak isimlendirilir. Çünkü tepki değişkeni y 'deki toplam değişebilirliğin açılımına dayanmaktadır [2]. Varyans çözümlemesi bileşenleri ile birlikte Çizelge 4.2'deki gibi özetlenebilir.

Çizelge 4.2 Çoklu regresyon anlamlılığı için varyans çözümlemesi [2]

Değişkenin kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F_0
Regresyon	$SS_R = \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{y} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$	k	MS_R	MS_R / MS_E
Hatâ veya artık	$SS_E = \mathbf{y}'\mathbf{y} - \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{y}$	$n-k-1$	MS_E	
Toplam	$SS_T = \mathbf{y}'\mathbf{y} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$	$n-1$		

R^2 çoklu belirlilik katsayısı aşağıdaki gibi tariflenir.

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (4.19)$$

R^2 , modeldeki x_1, x_2, \dots, x_k regresor değişkenlerinin kullanılması ile elde edilen y 'nin değişkenliğindeki azaltma miktarının ölçüsüdür ve $0 \leq R^2 \leq 1$ aralığında bir değere sahiptir. R^2 'nin büyük değerler alması her koşul altında modelin iyi olduğunu göstermez. İstatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına bakılmaksızın, modele değişken eklenmesi her zaman R^2 değerini yükseltecektir. Bu nedenle, büyük R^2 değerleri bulunan modellerin yeni gözlem veya ortalama tepki tahminlerinin yetersiz hattâ anlamsız kalması olasıdır [2].

Modele değişken eklenmesinin R^2 'yi yükseltmesi sebebiyle bazı araştırmacılar aşağıdaki gibi tanımlanan ayarlı R^2 istatistiğini kullanmayı tercih etmektedir [2].

$$R_{\text{ayarlı}}^2 = 1 - \frac{SS_E / (n - p)}{SS_T / (n - 1)} = 1 - \frac{(n - 1)}{(n - p)} (1 - R^2) \quad (4.20)$$

Genellikle, ayarlı R^2 modele eklenen değişkenlere göre her zaman artmaz. Gerçekten, eğer modele gereksiz terimler eklenirse ayarlı R^2 değeri çoğu zaman azalır [2].

4.3.2 Ayrık Regresyon Katsayıları Üzerinde Sınama

Ayrık, tekil regresyon katsayılarında hipotez sınamaları regresyon modelindeki her bir regresor değişkeninin değerini belirlemede kullanışlıdır. Örneğin, modele değişkenler eklenmesi veya mevcut değişkenlerden bir veya daha fazlasının çıkarılması modeli daha etkili, uygun duruma getirebilir [2].

Regresyon modeline eklenen değişken her zaman regresyon kareleri toplamının (SS_R) artmasına ve hatâ kareleri toplamının (SS_E) azalmasına neden olur. Regresyonun kareleri toplamındaki artışın, modele değişken eklenmesini haklı kılıp kılmadığının irdelenmesi gerekir. Ayrıca, modele eklenen önemsiz değişken, ortalama karesel hatâyı gerçekten artırır. Böylece modelin kullanılabilirliğini azaltır [2].

Herhangi bir tekil regresyon katsayısının anlamlılığının sınanması için hipotezler, β_j için aşağıdaki gibi yazılabilir [2].

$$H_0 : \beta_j = 0, H_1 : \beta_j \neq 0$$

Eğer $H_0 : \beta_j = 0$ reddedilmezse, bu x_j 'nin modelden silinebilir olduğuna işaret eder. Bu hipotez için sınama istatistiği (4.21) şeklinde verilir [2].

$$t_0 = \frac{b_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}} \quad (4.21)$$

Burada C_{jj} , $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 'in b_j 'ye karşı gelen diyagonal elemanıdır. Eğer $|t_0| > t_{\alpha/2, n-k-1}$ ise sıfır hipotezi $H_0: \beta_j = 0$ reddedilir. Sınama için p -değeri yaklaşımı da kullanılabilir. Bunun gerçekten kısmî veya uç olduğuna dikkat etmek gerekir. Çünkü b_j regresyon katsayısı modeldeki tüm diğer x_i ($i \neq j$) regresyon değişkenlerine bağlıdır [2].

(4.21)'in $\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}$ paydası sıklıkla b_j regresyon katsayısının standard hatâsı (se) olarak isimlendirilir ve (4.22) gibi verilir [2].

$$se(b_j) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}} \quad (4.22)$$

Ayrıca, (4.21)'deki sınama istatistiğinin eşdeğeri (4.23) şeklinde yazılabilir.

$$t_0 = \frac{b_j}{se(b_j)} \quad (4.23)$$

x_j belirli değişkeninin, modele dâhil x_i ($i \neq j$) diğer değişkenler verildiğinde, regresyon kareler toplamına katkısını dolaysız olarak sınavabiliriz [2]. Bu işlemler dizisi ekstra kareler toplamı yöntemi (**extra sum of squares method**) olarak adlandırılır [2]. Bu işlem modeldeki regresör değişkenlerinin alt kümesinin araştırılmasında da kullanılabilir [2].

4.4 Model Uygunluk Kontrolü

Model uygunluğunun kontrolü, uydurulan (oluşturulan) modelin doğru sistemde yeterli tahmini sağladığının belirlenmesi ve en küçük kareler regresyon varsayımlarında herhangi birinin ihlal edilip edilmediğinin sınanmasıdır. Model yeterli uygunluk sağlamadıkça oluşturulan tepki yüzeyin açıklanması ve eniyilemesi süreci zayıf veya yanlış sonuç verecektir [2].

4.4.1 Artık Çözümlemesi

Model yeterliliğinin sınanmasında, $e_i = y_i - \hat{y}_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ olarak tanımlanan artıklar önemli rol oynarlar. Normal dağılıma uygunluk varsayımının sınaması artıkların normal

olasılık grafiğinin oluşturulmasıyla yapılır. Bu grafik normal dağılım varsayımında bir probleme işaret ettiğinde, çare olarak genellikle tepki değişkenleri dönüştürülürler [2]. Daha detaylı bilgi için [93-94] kaynaklarına bakılabilir.

4.4.2 Artıkların Ölçeklendirilmesi

Birçok tepki yüzey analisti genel en küçük kareler artıklarının aksine ölçeklendirilmiş artıklarla çalışmayı tercih etmektedir. Bu ölçeklendirilmiş artıklar, genel olarak hesaplanan artıklardan daha fazla bilgi elde edilmesine olanak sunar.

Standardize edilmiş artıklar, artık ölçeklendirmesinin bir şeklidir ve (4.24)'deki gibi ifade edilir [2].

$$d_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.24)$$

(4.24)'ün hesaplamalarında genellikle $\hat{\sigma} = \sqrt{MS_E}$ olarak hesaplanır [2]. Standardize edilmiş artıklar sıfır ortalamaya ve yaklaşık sabit varyansa sahiptir. Sonuç olarak standardize edilmiş artıklar aykırı değerlerin bulunmasında kullanılırlar. Standardize edilmiş artıkların çoğu $-3 \leq d_i \leq 3$ aralığına düşmektedir. Bu aralığın dışına düşen standardize edilmiş artıklar dikkatlice incelenmelidir. Çünkü uydurulmuş model gerçek tepki yüzeyinin zayıf tahminini ifade edecektir [2].

(4.24)'te artıkların ölçeklendirilmesinde kullanılan standardizasyon işlemi artıkların kendi ortalama standard sapmasına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Bazı veri gruplarında artıklar birbirlerinden çok farklı standard sapmaya sahip olabilirler [2]. Bu farklılığı da dikkate alan ölçeklendirmeyi göz önünde bulundurabiliriz.

Uydurulmuş değerler vektörü \hat{y}_i ile gözlemlenen y_i değerleri arasında (4.25) eşitliği vardır [2].

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{y}} &= \mathbf{X}\mathbf{b} \\ &= \mathbf{X} (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \\ &= \mathbf{H}\mathbf{y} \end{aligned} \quad (4.25)$$

$\mathbf{H} = \mathbf{X} \mathbf{X}' \mathbf{X}^{-1} \mathbf{X}'$, $n \times n$ matrisi, gözlemlenen değerler vektörünü uydurulmuş değerler vektörü ile eşleştirdiği için şapka matrisi olarak adlandırılır [2]. Şapka matrisi ve özellikleri regresyon analizinde merkezî bir rol oynar.

Artıklar matris formda (4.26) gibi yazılır.

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} \quad (4.26)$$

Artıklar vektörü (4.27) gibi farklı şekillerde de ifade edilebilir [2].

$$\begin{aligned} \mathbf{e} &= \mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b} \\ &= \mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{y} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{y} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Şapka matrisinin, simetri ($\mathbf{H}' = \mathbf{H}$) ve eşgüçlülük ($\mathbf{H}\mathbf{H} = \mathbf{H}$) gibi birkaç yararlı özellikleri vardır. Benzer şekilde $\mathbf{I} - \mathbf{H}$ matrisinin de simetri ve eşgüçlülük özeliği vardır [2].

$\text{Var}(\mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{I}$ ve $\mathbf{I} - \mathbf{H}$ simetrik ve eşgüçlü olduğu için artıkların kovaryans matrisi (4.28)'deki gibi yazılabilir [2].

$$\begin{aligned} \text{Var}(\mathbf{e}) &= \text{Var}(\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{y} \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H})\text{Var}(\mathbf{y})(\mathbf{I} - \mathbf{H})' \\ &= \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \end{aligned} \quad (4.28)$$

$\mathbf{I} - \mathbf{H}$ matrisi genellikle diyagonal değildir. Bu nedenle artıklar farklı varyanslara ve karşılıklı ilişkiye sahiptirler [2].

i 'inci artığın varyansı, \mathbf{H} matrisinin, i 'inci diyagonal elemanı olan h_{ii} 'ye göre (4.29) ile hesaplanır [2].

$$\text{Var}(e_i) = \sigma^2 (1 - h_{ii}) \quad (4.29)$$

$0 \leq h_{ii} \leq 1$ olduğundan, artıkların varyansının tahmini için artıkların ortalama karesinin (MS_E) kullanılması $\text{Var}(e_i)$ değerinin gerçekten daha yüksek tahmin edilmesine neden olur. Ayrıca h_{ii} , x yüzeyindeki i 'inci noktanın bölgesel bir ölçümü olduğu için, e_i 'nin varyansı x_i noktasının düştüğü bölgeye bağlıdır. Genellikle, x yüzeyinin merkezine yakın artıklar, bu bölgeden uzağa düşen artıklardan daha geniş varyansa sahiptir. Model varsayımlarının bozulmaları ayırık noktalarda beklenir ve bu ayırık noktaların

artıkları genellikle küçük olduğundan, bozulmaları e_i 'nin (veya d_i) muayenesinden fark etmek oldukça güç olabilir [2].

Artıklar ölçeklendirileceği zaman varyanstaki eşitsizliğin dikkate alınması önerilir. Bunun için e_i (veya d_i) yerine $\hat{\sigma}^2 = MS_E$ dikkate alınarak (4.30) ile elde edilen normallenmiş artıkların çizimi tavsiye edilir [2].

$$r_i = \frac{e_i}{\sqrt{\hat{\sigma}^2(1-h_{ii})}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.30)$$

Normallenmiş artıklar, modelin biçimi doğru olduğunda x_i 'nin konumu ne olursa olsun $\text{Var}(r_i) = 1$ sabit varyansa sahiptir. Birçok durumda, özellikle geniş veri gruplarında, artıkların varyansı sabittir. Bu durumda, standardize edilmiş ve normallenmiş artıklar arasında çok küçük farklılıklar olacaktır. Bu nedenle standardize edilmiş ve normallenmiş artıklar çoğu kez eşdeğer bilgiyi ifade ederler. Ancak, geniş h_{ii} ve geniş artıklı herhangi bir noktanın en küçük kareler uygulamasında daha yüksek etkisi olduğundan, genellikle normallenmiş artıkların incelenmesi önerilmektedir [2].

Allen (1971, 1974) [95, 96] tarafından önerilen tahmini hatâ (artık) kareler toplamı (**PRESS, prediction error sum of squares**) kullanışlı artık ölçeklendirilmesi sağlar. PRESS'in hesaplanması için bir gözlem (örneğin i) seçmek gerekir. Geriye kalan $n-1$ gözlem için regresyon model uydurulur ve bu eşitlik y_i kısıtlanmış gözlemin tahmininde kullanılır. Bu tahmini değer \hat{y}_i ile gösterilir ve i noktası için tahmini hatâ $e_{(i)} = y_i - \hat{y}_{(i)}$ şeklinde bulunur. Tahmini hatâ genellikle i 'inci PRESS artık olarak adlandırılır. Bu işlem $i = 1, 2, \dots, n$, gözlemlerinin her biri için tekrarlanır ve $e_{(1)}, e_{(2)}, \dots, e_{(n)}$ şeklinde, n sayıda PRESS artıklar değeri içeren küme oluşturulur. Böylelikle PRESS istatistiği n sayıda PRESS artık kareler toplamı olarak (4.31) ile tanımlanır [2].

$$\text{PRESS} = \sum_{i=1}^n e_{(i)}^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{(i)}]^2 \quad (4.31)$$

PRESS hesabının, n adet farklı regresyon oluşturulmasına gereksinim duyacağı ilk bakışta görülebilir. Bu i 'inci PRESS artığının (4.32) şeklinde hesaplanabileceğini gösterir [2].

$$e_{(i)} = \frac{e_i}{1-h_{ii}} \quad (4.32)$$

Böylece, PRESS, PRESS artık kareleri toplamı olduğundan basit olarak (4.33) ile hesaplanabilir [2].

$$PRESS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{1 - h_{ii}} \right)^2 \quad (4.33)$$

(4.33)'den, PRESS artığının, şapka matrisinin h_{ii} diyagonal elemanlarına göre alışılmış artığın bağıl değeri olduğu kolayca görülmektedir. Geniş h_{ii} 'lere sahip veri noktaları geniş PRESS artıklara sahip olacaktır. Bu gözlemler genellikle yüksek etkiye sahip noktalardır. Genellikle, alışılmış artık ve PRESS artık arasındaki büyük fark modelin veriyi uygun yansıttığı noktayı işaret eder. Bu nedenle model bu nokta olmadan üretildiğinde tahminler zayıf olur [2].

i 'inci PRESS artığın varyansı ve standardize edilmiş PRESS artık sırasıyla (4.34) ve (4.35) ile hesaplanır [2].

$$\begin{aligned} \text{Var}[e_{(i)}] &= \text{Var} \left[\frac{e_i}{1 - h_{ii}} \right] \\ &= \frac{1}{(1 - h_{ii})^2} \sigma^2 (1 - h_{ii}) \\ &= \frac{\sigma^2}{1 - h_{ii}} \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned} \frac{e_{(i)}}{\sqrt{\text{Var}[e_{(i)}]}} &= \frac{e_i / (1 - h_{ii})}{\sqrt{\sigma^2 / (1 - h_{ii})}} \\ &= \frac{e_i}{\sqrt{\sigma^2 (1 - h_{ii})}} \end{aligned} \quad (4.35)$$

Ayrıca PRESS, tahmini R^2 'nin hesaplanmasında kullanılabilir [2].

$$R_{\text{tahmini}}^2 = 1 - \frac{PRESS}{SS_T} \quad (4.36)$$

Bu istatistik regresyon modelinin tahmin kapasitesi hakkında bazı ipuçları verir [2].

r_i normallenmiş artıklar sıklıkla aykırı değerlerin teşhisinde (**diagnostic**) dikkate alınır. r_i 'nin hesaplanmasında σ^2 'nin tahmini için MS_E kullanımı alışlagelmiştir. Bu artıkların içsel ölçeklendirmesi için dayanak oluşturur çünkü MS_E , tüm n gözlemleri için

oluşturulmuş modelden elde edilen σ^2 'nin içsel üretilen tahminidir. σ^2 'nin tahmininde kullanılacak diğer yaklaşım i 'inci gözlemin veri grubundan çıkarılmasına dayanır [2]. $S_{(i)}^2$ 'in elde edilmesi ile σ^2 'nin tahmini gösterilebilir.

$$S_{(i)}^2 = \frac{(n-p)MS_E - e_i^2 / (1-h_{ii})}{n-p-1} \quad (4.37)$$

(4.37)'deki σ^2 'nin tahmini, genellikle R -Student olarak adlandırılan dışsal normallenmiş artıkların elde edilmesi için MS_E 'nin yerine kullanılır ve (4.38) ile hesaplanır [2].

$$t_i = \frac{e_i}{\sqrt{S_{(i)}^2 (1-h_{ii})}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.38)$$

Birçok durumda, t_i , r_i normallenmiş artıklardan çok az farklılık gösterir. Ancak i 'inci gözlem etkili ise $S_{(i)}^2$, MS_E 'den anlamlı düzeyde farklılık gösterir ve bunun için R -Student bu noktada çok daha duyarlı olacaktır. Ayrıca standard yaklaşımlarda t_i , t_{n-p-1} dağılımına sahiptir. Bu nedenle R -Student, aykırı değerler tespiti için hipotez sınamalarına göre çok daha formal işlemler dizisi sunar [2].

4.4.3 Etki Tanılamaları

Oluşturulan regresyon modelindeki uygun olmayan (oransız) etkileri, verilerin daha küçük alt kümelerini kullanarak göstermek mümkündür. Bunlar parametre tahmininin tüm verilerden daha çok alt kümelerin etkisine bağımlı olan durumlardır. Bu alt bölümlerde etkinin birçok kullanışlı ölçümünü açıklamak ve göstermek olanaklıdır.

x uzayındaki noktaların dağılımı veya düzeni model özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Gözlemlerden belirli bir uzaklıkta bulunan değerler parametre tahminlerinde orantısız dengelemelere (**leverage**) sahiptir.

$\mathbf{H} = \mathbf{X} \mathbf{X}' \mathbf{X}^{-1} \mathbf{X}'$ şapka matrisi etkili gözlemlerin tespit edilmesinde çok kullanışlıdır.

Daha öncede bahsedildiği gibi $\text{Var}(\hat{\mathbf{y}}) = \sigma^2 \mathbf{H}$ ve $\text{Var}(\mathbf{e}) = \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H})$ olduğundan $\hat{\mathbf{y}}$ ve \mathbf{e} 'nin varyans ve kovaryansı \mathbf{H} matrisi ile belirlenebilir. \mathbf{H} 'ın h_{ij} elemanları y_j 'nin \hat{y}_i 'deki dengeleme miktarı olarak yorumlanabilir. Böylece \mathbf{H} elemanlarının muayenesi, x uzayında kendi bölgelerinin etkisi ile potansiyel etkiye sahip noktaları gösterir. Burada

h_{ii} diyagonal elemanlarına odaklanılmasına dikkat edilmelidir. $\sum_{i=1}^n h_{ii} = \text{rank}(\mathbf{H}) = \text{rank}(\mathbf{X}) = p$ olduğundan \mathbf{H} matrisinin diyagonal elemanlarının ortalama boyutu p/n 'dir. Kabaca, eğer h_{ii} diyagonal elemanı $2p/n$ değerini aşıyorsa i gözlemi yüksek-dengeleme noktasıdır. Regresyon tanılamalarında şapka matrisin elemanlarının kullanılması ve özellikleri ile ilgili daha ayrıntılı irdelemeler [97] nolu kaynakta bulunabilir.

Şapka matrisi diyagonalleri ile x uzayında kendi bölgelerinden ötürü potansiyel etkiye sahip noktalar tespit edilebilir. Bu, ölçülen etkide hem noktanın bölgesini hem de tepki değişkenini dikkate almayı gerektirir. Cook (1977, 1979) [98-99], tüm n noktalarının dikkate alındığı en küçük kareler tahmini \mathbf{b} ve i 'inci noktanın çıkarılması ile elde edilen $\mathbf{b}_{(i)}$ arasındaki uzaklığın karelerinin ölçümünün kullanılmasını önermiştir. Bu uzaklık ölçümü genel şekliyle (4.39) gibi ifade edilebilir [2].

$$D_i(\mathbf{M}, c) = \frac{(\mathbf{b}_{(i)} - \mathbf{b})' \mathbf{M} (\mathbf{b}_{(i)} - \mathbf{b})}{c}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.39)$$

\mathbf{M} ve c 'nin $\mathbf{M} = \mathbf{X}'\mathbf{X}$ ve $c = pMS_E$ olarak seçilmesi (4.39)'un (4.40) şeklinde yazılabilesine imkân verir.

$$D_i(\mathbf{M}, c) \equiv D_i = \frac{(\mathbf{b}_{(i)} - \mathbf{b})' \mathbf{X}'\mathbf{X} (\mathbf{b}_{(i)} - \mathbf{b})}{pMS_E}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.40)$$

D_i 'nin geniş değerlerine sahip noktalar en küçük kareler tahmini \mathbf{b} üzerinde önemli etkilere sahiptirler. D_i 'nin büyüklüğü $F_{\alpha, p, n-p}$ ile karşılaştırılarak da tayin edilebilir [2].

$D_i \approx F_{0.5, p, n-p}$ olduğunda silinen nokta i , \mathbf{b} 'yi tüm veri gurubuna bağlı β için %50 güven bölgesinin sınırlarına doğru hareket ettirecektir. Bu büyük bir yer değiştirmedir ve en küçük kareler tahmininin i 'inci veri noktasına duyarlı olduğunu gösterir [2].

D_i istatistiği (4.41) gibi de yazılabilir [2].

$$D_i = \frac{r_i^2}{p} \frac{\text{Var}[\hat{y}(x_i)]}{\text{Var}(e_i)} = \frac{r_i^2}{p} \frac{h_{ii}}{(1 - h_{ii})}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.41)$$

4.4.4 Uyum Yokluğu İçin Sınama

TYT'nde genellikle tasarlanan deneylerden elde edilen veriler için regresyon modeli oluşturulur. Bu bağımsız veya regresor değişkenlerinin aynı gruptaki (deneme noktasındaki) tepki üzerinde iki veya daha fazla gözlemlerin (tekrar) elde edilmesinde kullanışlıdır. Bu işlem yapıldığında regresyon modelinde uyum yokluğu için biçimsel bir sınama yapılır [2].

Uyum yokluğunun sınanması, x_1, x_2, \dots, x_k regresorlerinde en az bir düzey için y tepkisi üzerinde doğru tekrara sahip olmayı gerektirir. Bu y 'nin eş okuması veya ölçümü değildir. Tekrar noktaları σ^2 'nin modelden bağımsız elde edilmesine olanak sağlar.

$x_i, i = 1, 2, \dots, m$ regresorlerinin i 'inci düzeyindeki tepkide n_i gözlemlerine sahip olduğumuzu farz edelim. $y_{ij}, x_i, i = 1, 2, \dots, m$ 'deki tepkinin j 'inci, $j = 1, 2, \dots, n_i$ gözlemini göstermektedir. Burada toplam $n = \sum_{i=1}^m n_i$ gözlem vardır. Sınama işlemleri artık kareleri toplamının iki bileşene bölünmesini içerir [2].

$$SS_E = SS_{PE} + SS_{UY}$$

Burada SS_{PE} salt hatâlardan kaynaklanan kareler toplamını ve SS_{UY} uyum yokluğundan kaynaklanan kareler toplamını ifade etmektedir.

Salt hatâların kareleri toplamı (4.42) şeklinde verilir [2].

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (4.42)$$

Eğer sabit varyans varsayımı geçerli ise bu değer salt hatânın modelden bağımsız bir ölçüsüdür. Çünkü SS_{PE} 'nin hesaplanmasında sadece her x_i düzeyindeki y 'lerin değişkenliği kullanılmaktadır.

Uyum yokluğu (UY) için kareler toplamı ise (4.43) şeklinde verilir.

$$SS_{UY} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.43)$$

\hat{y}_i uydurulmuş değerlerin \bar{y}_i ortalama tepki değerlerine yakın değerler olması, regresyon fonksiyonunun doğrusal olduğuna dair güçlü bir belirtidir. Eğer \hat{y}_i, \bar{y}_i 'den

büyük sapmalar gösteriyorsa, regresyon fonksiyonunun doğrusal olmadığını gösterir. Burada, SS_{UY} ile ilişkilendirilmiş $m - p$ serbestlik derecesi vardır, çünkü x 'in m düzeyi bulunmaktadır ancak model için p sayıda parametrenin tahmin edilmesi gerektiğinden p serbestlik derecesi kaybolur. SS_{UY} genellikle SS_E 'den SS_{PE} 'nin çıkarılmasıyla hesaplanır [2].

Uyum yokluğu için istatistik sına (4.44) ile gerçekleştirilir.

$$F_0 = \frac{SS_{UY}/(m - p)}{SS_{PE}/(n - m)} = \frac{MS_{UY}}{MS_{PE}} \quad (4.44)$$

MS_{PE} 'nin beklenen değeri σ^2 'dir ve MS_{LOF} 'un beklenen değeri (4.45) ile elde edilir [2].

$$E(MS_{UY}) = \sigma^2 + \frac{\sum_{i=1}^m n_i \left[E(y_i) - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right]^2}{m - 2} \quad (4.45)$$

Eğer gerçek regresyon fonksiyonu doğrusal ise $E(y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$ olacaktır ve (3.45)'in ikinci terimi sıfır olur. Bunun sonucu $E(MS_{UY}) = \sigma^2$ olacaktır. Fakat gerçek regresyon modeli doğrusal değilse $E(y_i) \neq \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$ ve $E(MS_{UY}) > \sigma^2$ olur. Ayrıca eğer gerçek regresyon fonksiyonu doğrusal ise F_0 istatistiği $F_{m-p, n-m}$ dağılımına tabi olacaktır. Bu nedenle uyum yokluğu sınavı için F_0 istatistiği sınavı kullanılır ve eğer $F_0 > F_{\alpha, m-p, n-m}$ ise regresyon fonksiyonunun doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılır [2].

Potansiyel tahmini performansın oldukça basit hesaplaması kendi ortalama standard hatâsı ile \hat{y} uydurulmuş değerler aralığının $(\hat{y}_{\max} - \hat{y}_{\min})$ karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilir. Modelin biçimi ne olursa olsun uydurulmuş değerlerin ortalama varyansı, p modeldeki parametre sayısı olmak üzere (4.46) ile hesaplanır [2].

$$\overline{\text{Var}(\hat{y})} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Var}(\hat{y}(x_i)) = \frac{p\sigma^2}{n} \quad (4.46)$$

Genelde, \hat{y}_i uydurulmuş değerler aralığının, $\hat{\sigma}^2$ hatâ varyansının modelden bağımsız tahmini olmak üzere, kendi tahmini $\sqrt{(p\hat{\sigma}^2)/n}$ standard hatâsının ortalamasından daha geniş olmadığı sürece model anlamlı tahmin ediciler için uygun olmaz [2].

4.5 İkinci Derece Modelin Oluşturulması

Tepki yüzey yöntembilgisinin birçok uygulamaları ikinci derece modellerin oluşturulması ve yeterliliğinin sınanmasını ihtiva eder. Gerçek tepki fonksiyonunun ($y = f(x, \theta) + \varepsilon$) Taylor serisine açılımı (4.47) ile verilir [2].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{kk} x_k^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{k-1} x_{k-1} x_k + \varepsilon$$
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (4.47)$$

(4.47) ikinci dereceden tepki yüzeyi modeli olarak adlandırılır. İkinci derece model eğrisellik ihtiva eden deneysel verilerin açıklanmasında çok esnek ve dikkate değerdir.

(4.47)'deki ikinci derece model deneysel tasarımın geniş değişkenliği ile kolayca uyum sağlar. Bu model $1+2k+k(k-1)/2$ parametre ihtiva eder. Bunun sonucu deneysel tasarım en az $1+2k+k(k-1)/2$ tane farklı tasarım noktası içeren verilere ihtiyaç duyar. Buna ek olarak salt karesel terimlerin tahmini için tasarımdaki her bir tasarım değişkeninin en az üç düzeyli olması gerekir [2].

İkinci derece fonksiyonların farklı geometrik gösterimleri bulunmaktadır [2]: (i) sistemin merkezî veya durağan nokta (maksimum veya minimum tepki noktaları) olarak oluşması. Tepki grafikleri eşmerkezli elipsler şeklinde oluşur. (ii) konturların hiperbolik sistemli oluşması. Burada merkez ne maksimum nede minimum noktadır. Böyle durumlarda durağan nokta eyer nokta ve kontor sistemi eyer veya en küçük-büyük sistem olarak adlandırılır. Durağan noktanın yerinin ve sistemin doğasının belirlenmesi ikinci derece analizin önemli bir parçasıdır. 3 boyutlu grafikler tepki yüzeyinin doğasının belirlenmesinde veri analizcileri için çok faydalıdır.

Tepki yüzeyi sistemlerinin (maksimum, minimum veya eyer nokta) doğası (4.47) modelindeki katsayıların büyüklük ve işaretlerine bağlıdır. İkinci derece katsayılar çok önemli rol oynarlar. Durağan nokta ve sistemin genel doğası gerçek yapısından değil, uydurulmuş model sonuçlarından elde edilir [2]. Tahmini tepkiyi eniyileştiren x_1, x_2, \dots, x_k 'lerin düzeylerinin belirlenebilmesi için kısmî türevlerinin sifıra eşit olması gerekmektedir ($\partial \hat{y} / \partial x_1 = \partial \hat{y} / \partial x_2 = \dots = \partial \hat{y} / \partial x_k = 0$). Kısmî türevi sifır yapan noktalar durağan nokta olarak adlandırılır [2].

4.6 Nitel Regresor Değişkenleri

TYT'nde kullanılan regresyon modelleri genellikle değişkenliği sayısal ölçekte ölçülebilen nicel değişkenleri kapsar. Örneğin sıcaklık, basınç, mesafe ve yaş gibi değişkenler nicel değişkenlerdir. Bazen regresyon modeline nitel değişkenleri de dâhil etme ihtiyacı duyulabilir [2].

Nitel değişkenin farklı düzeylerini gösterebilmenin genel metodu gösterge (**indicator**) değişkenleri kullanmaktır. Genellikle t düzeye sahip nitel değişken $t-1$ gösterge değişkeni ile gösterilir. Gösterge değişkenler kukla (**dummy**) değişkenleri olarak adlandırılırlar. Farklı uygulamaları için [93-94] kaynaklarına bakılabilir.

4.7 Tepki Değişkenlerinin Dönüştürülmesi

Veri dönüştürülmesi, artık analizinin model varsayımından kaynaklanan tepki değişkenlerindeki normal dağılımdan sapma veya değişken varyans gibi bazı problemlere işaret ettiğinde kullanılır. Genellikle dönüştürücüler üç amaç için kullanılırlar [2]. (i) Tepki varyansının dengelenmesi, (ii) Tepki değişkeni dağılımının normal dağılımla örtüşmesinin sağlanması, (iii) Veriler için model uygunluğunun iyileştirilmesi.

Bu amaçlardan sonuncusu, etkileşimlerin veya yüksek dereceli polinomsal terimlerin elenmesi ile modelin basitleştirilmesini içerir. Bazen, tek bir dönüştürücü yukarıdaki amaçlardan birden fazlası üzerinde aynı anda etkin olabilir [2].

λ bulunması gereken parametresi olmak üzere ($\lambda = 1/2$, orijinal tepkinin karekökü), $y^* = y^\lambda$ dönüştürücülerinin kuvvet ailesinin bulunması çok kullanışlıdır. Box ve Cox (1964) [100] λ dönüştürücü parametresinin diğer model parametreleri ile aynı zamanda nasıl tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Yöntemlerini dayandırdıkları teori maksimum olabilirlik (**maximum likelihood**) yönteminin kullanılmasıdır. Gerçek hesaplama işlemi, λ 'nın farklı değerleri için (4.48) üzerinde standard varyans çözümlemesinin gerçekleştirilmesini kapsar [2].

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda \cdot y^{\lambda-1}} & \lambda \neq 0 \\ \dot{y} \ln y & \lambda = 0 \end{cases} \quad (4.48)$$

$\hat{y} = \ln^{-1} \left[1/n \sum \ln y \right]$ gözlemlerin geometrik ortalamasını ifade eder. λ 'nın maksimum olasılık tahmini $SS_E(\lambda)$ hatâ kareler toplamını minimum yapan değerdir. λ 'nın bu değeri genellikle λ 'ya göre $SS_E(\lambda)$ 'nın çizilen grafiğinden bulunur. Bu grafik üzerinden $SS_E(\lambda)$ 'yı minimum yapan λ 'nın değeri okunur [2].

λ değerinin seçiminin, y^λ varyans çözümlemesinden elde edilen hatâ kareler toplamının direkt olarak karşılaştırılması ile yapılamayacağına dikkat etmek gerekir çünkü λ 'nın her bir değeri için hatâ kareler toplamı farklı ölçeklerde ölçülür. Ayrıca, problem $\lambda = 0$ olduğunda y 'de ortaya çıkar, diğer bir deyişle λ sıfıra yaklaştığında y^λ bire yaklaşır. Bu durumda $\lambda = 0$ olduğunda tüm tepki değerlerinin sabit olacağı görülmektedir. (4.48)'deki $(y^\lambda - 1)/\lambda$ terimi bu sorunu bir miktar azaltmaktadır çünkü λ sıfıra yaklaştığında $(y^\lambda - 1)/\lambda$ terimi $\ln y$ 'nin limit değerine yaklaşacaktır. (4.48)'deki $y^{\lambda-1}$ bölen terimi tepkilerde ölçek değişimini sağladığından hatâ kareler toplamı direkt olarak karşılaştırılabilir [2].

4.8 Deneysel Tasarımların İnşası, Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması için Genel Ölçütler

Tasarım oluşturulması için bilgisayar kullanımı 1980'lerde başladı. Bilgisayar kaynaklı tasarım kullanımının uygun olduğu üç durum bulunmaktadır [2]: (i) düzensiz deneysel bölge, (ii) Standard olmayan model ve (iii) uygun olmayan numune boyutu veya blok boyutu ihtiyacı.

4.8.1 Uygulanabilir Tasarım Eniyilemesi

Tasarım eniyileme ölçütleri alfabe harfleri ile karakterize edilir ve bunun sonucu olarak alfabetik eniyileme ölçütleri olarak adlandırılırlar. Bazı ölçütler model parametrelerinin iyi tahminine odaklanırken diğerleri tasarım bölgesinde iyi tahmine odaklanır. En iyi bilinen ve en sık kullanılan ölçüt D -Eniyilemesidir. A -Eniyilemesi, G -Eniyilemesi ve I -Eniyilemesi ölçütleride kullanılmaktadır.

• D -Eniyilemesi ve D -Etkinliği

İyi model parametresi tahminine odaklanan D -Eniyilemesi, deneysel tasarımın (4.49)'da verilen moment matrisindeki belli özelliklerin elde edilmesi fikrine dayanır [2].

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{X}'\mathbf{X}}{N} \quad (4.49)$$

Genellikle \mathbf{M} 'nin tersi yani (4.50) (ölçeklendirilmiş dağılım matrisi) N/σ^2 ile ölçeklendirilen regresyon katsayılarının varyans ve kovaryanslarını içerir [2].

$$\mathbf{M}^{-1} = N(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \quad (4.50)$$

Sonuç olarak tasarım ile moment matrisinin kontrolü varyans ve kovaryansların kontrolünü ifade eder [2].

Moment matristeki önemli prensip (4.51)'deki gibi matrisin determinatını almaktır [2].

$$|\mathbf{M}| = \frac{|\mathbf{X}'\mathbf{X}|}{N^p} \quad (4.51)$$

p modeldeki parametre sayısını ifade eder. Sabit varyans ve normal dağılıma sahip hatâlar varsayımı durumunda, $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ 'in determinatı regresyon katsayılarındaki güven bölgesi hacminin karesi ile ters orantılıdır. Küçük $|\mathbf{X}'\mathbf{X}|$ ve bu yüzden geniş $|\mathbf{X}'\mathbf{X}|^{-1} = 1/|\mathbf{X}'\mathbf{X}|$ modeldeki β 'nin zayıf tahminini ifade eder.

D -Eniyileme tasarımı $|\mathbf{M}| = |\mathbf{X}'\mathbf{X}|/N^p$ maksimum olduğunda bir olur ve (4.52) ile gösterilir [2].

$$M_{\zeta}^{\text{ak}} |\mathbf{M}(\zeta)| \quad (4.52)$$

(4.52)'deki M_{ζ}^{ak} , ζ 'nin tüm tasarımlarının maksimum olacağı kabulunu ifade eder. Sonuç olarak, ζ^* tasarımının D -Etkinliği (4.53) şeklinde tanımlanır [2].

$$D_{\text{etkinliği}} = \frac{|\mathbf{M}(\zeta)|}{M_{\zeta}^{\text{ak}} |\mathbf{M}(\zeta)|}^{1/p} \quad (4.53)$$

Burada, $1/p$ kuvveti varyans-kovaryans matrisinin determinant hesaplarında p parametre tahmininin tayininin dikkate alındığını gösterir.

4.9 Çoklu Tepki Eniyilemesi

Birçok tepki yüzeyi problemleri birkaç tepkinin çözümlenmesini içerir. Çoklu tepkilerin eş zamanlı düşünülmesi, öncelikle her bir tepki için uygun tepki yüzeyinin

oluşturulmasını ve daha sonra istenilen aralıklarda tüm tepkileri veya en az birkaçının eniyilemesine duyarlı işletim koşulları takımının elde edilmesini kapsar. Sadece az sayıda süreç değişkenine sahip çalışmalarda birkaç tepkinin eniyilemesi için oldukça uygun yaklaşım her bir tepki için kontur grafiklerinin üst üste konmasıdır. Üçten fazla tasarım değişkeni olduğunda, kontur grafiklerinin üst üste konması algılanması güç durum oluşturur. Bu nedenle çoklu tepkiler için pratik genel bir eniyileme metodu kullanılır [2].

Problemin tertibi ve çözümü için en popüler yaklaşım kısıtlanmış eniyileme problemidir [2]. Bu problemin çözümü için kullanılacak birçok sayısal teknikler mevcuttur.

Çoklu tepkilerin eniyilemesi için diğer bir yaklaşım, Derringer ve Suich (1980) [101] tarafından anlaşılır hale getirilen eşzamanlı eniyileme tekniğinin kullanılmasıdır. İşlemler arzuedilirlik fonksiyonlarının kullanılmasını içerir. Genel yaklaşım, öncelikle her bir y_i tepkisinin $0 \leq d_i \leq 1$ aralığında değişen ayrı ayrı arzuedilirlik fonksiyonuna dönüştürülmesidir. Burada eğer y_i tepkisi amaç veya hedef değerinde ise $d_i = 1$ ve eğer tepki kabul edilebilir bölgenin dışında ise $d_i = 0$ olur. Ayrıca m sayıda tepkiye sahip tasarım değişkenleri, $D = (d_1 d_2 \dots d_m)^{1/m}$ toplam arzuedilirliği maksimum yapacak şekilde seçilir.

Her bir arzuedilirlik fonksiyonları Şekil 4.1'deki gibi oluşturulur [2]. Eğer y tepkisi için amaç veya hedef (T) maksimum değer ise arzuedilirlik fonksiyonu (4.54) ile hesaplanır [2].

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y - L}{T - L} \right)^r & L \leq y \leq T \\ 1 & y > T \end{cases} \quad (4.54)$$

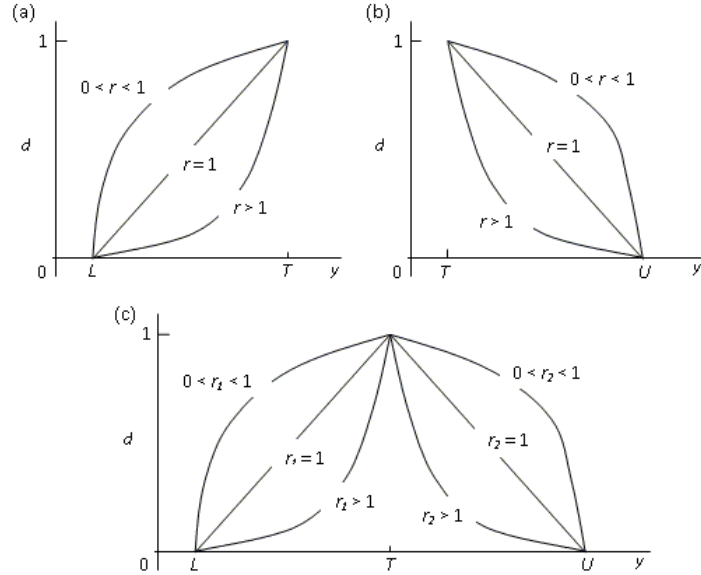
Ağırlık $r = 1$ alındığında d arzuedilirlik fonksiyonu doğrusal olur. $r > 1$ seçildiğinde hedef değere ulaşılmasının öneminin birincil olduğu varsayılır. $0 < r < 1$ seçildiğinde hedef değer elde edilmesinin önemi zayıflar [2].

Eğer tepki için hedef minimum değer seçilir ise arzuedilirlik fonksiyonu d , (4.55) ile bulunur [2].

$$d = \begin{cases} 1 & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T} \right)^r & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (4.55)$$

Şekil 4.1 (c)'de görülen iki taraflı arzuedirlik kabulü yapıldığında hedef, alt (L) ve üst (U) limitler arasında seçilmiş olur ve bu (4.56) ile tanımlanır [2].

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L} \right)^{r_1} & L \leq y \leq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T} \right)^{r_2} & T \leq y \leq U \\ 0 & y > U \end{cases} \quad (4.56)$$



Şekil 4.1 y 'nin eşzamanlı eniyilenmesi için arzuedirlik fonksiyonları. (a) Amaç (hedef) y 'nin maksimum değerini elde etmek. (b) Amaç (hedef) y 'nin minimum değerini elde etmek. (c) Amaç y için olası hedefin oldukça yakın değerlerini elde etmek [2]

ELEME DENEYLERİ TASARIMLARI

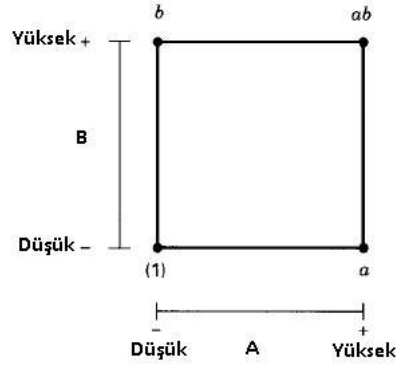
5.1 İki Düzeyli Faktöriyel Tasarımlar

Faktöriyel tasarımda en önemli özel durumlardan birisi, her bir k faktörünün sadece iki düzeyinin olmasıdır. Bu tasarımlara genellikle 2^k faktöriyel tasarımlar denir. Çünkü bu tür tasarımların her yinelemesi 2^k deneysel denemeler veya çalışmalar içerir [2].

2^k faktöriyel tasarımlar tepki yüzey çalışmalarında çok önemlidirler. Özellikle üç alanda uygulamaları bulunmaktadır [2];

- 2^k tasarım (veya kısmî faktöriyel tasarım), tepki yüzey çalışmalarının başlangıcı olan önemli süreç veya sistem değişkenlerinin belirlenmesinin gerçekleştirildiği eleme deneylerinde kullanışlıdır.
- 2^k tasarım sıklıkla birinci derece tepki yüzeyi modelinin oluşturulmasında ve adım adım yükseltme metodunun gerçekleştirilmesi için gerekli faktör etki tahminlerinin üretilmesinde kullanılır.
- 2^k tasarım diğer tepki yüzey tasarımlarını oluşturmak için temel yapı bloğu olarak kullanılır.

2^k tasarım serisinde en basit tasarım, her biri iki düzeyli sadece iki faktöre (A ve B) sahip 2^2 faktöriyel tasarım olarak adlandırılan tasarımdır. Faktörlerin düzeyleri keyfi olarak “düşük (-)” veya “yüksek (+)” olarak adlandırılabilir. Bu iki düzey nicel veya nitel özellikte olabilir. Birçok tepki yüzey çalışmasında faktörler ve düzeyleri nicel özelliklerdir. 2^2 tasarımı için deneme düzeni Şekil 5.1’de verildi [2].



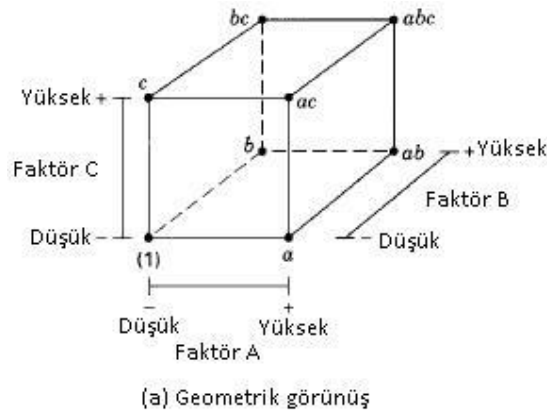
Şekil 5.1 2^2 faktöriyel tasarım [2]

Faktör düzeyi veya durum kombinasyonunun (1), a, b, ab sırasına göre Çizelge 5.1'deki gibi yazılması uygundur.

Çizelge 5.1 2^2 tasarımda etkilerin hesabı için işaretler [2]

Durum kombinasyonu	Faktöriyel Etki			
	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
a	+	+	-	-
b	+	-	+	-
ab	+	+	+	+

Her biri iki düzeyli (+, -) olan A, B ve C faktörü dikkate aldığımızda buna 2^3 faktöriyel tasarım denir ve sekiz kombinasyonlu davranışı küp olarak Şekil 5.2 (a)'da gösterilmiştir. Her bir faktörün yüksek ve düşük düzeylerini gösteren "+" ve "-" işaretleri kullanılarak 2^3 tasarımındaki sekiz denemenin listesi tablo olarak Şekil 5.2 (b)'deki gibi verilebilir. Bu genellikle tasarım matrisi olarak adlandırılır. "+" ve "-" işaretlemesine geometrik işaretleme denir [2].



Deneme	Faktör		
	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

(a) Geometrik görünüş

(b) Tasarım matrisi

Şekil 5.2 2^3 faktöriyel tasarım [2]

2^3 tasarımında sekiz deneme arasında yedi serbestlik derecesi vardır. Üç serbestlik derecesi A, B ve C'nin ana etkileri ile ilgilidir. Dört serbestlik derecesi ise AB, AC, BC ve ABC etkileşimleri ile ilgilidir [2].

2^3 faktöriyel tasarıma ait durum kombinasyonlarına ait işaretleme Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2 2^3 tasarımında etkilerin hesabı için işaretler [2]

Durum kombinasyonu	Faktöriyel Etki							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
<i>a</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>b</i>	+	-	+	-	-	+	-	+
<i>c</i>	+	-	-	+	+	-	-	+
<i>abc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>ab</i>	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>ac</i>	+	+	-	-	+	+	-	-
<i>bc</i>	+	-	+	-	+	-	+	-
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-

Çizelge 5.2 bazı ilginç özelliklere sahiptir;

- I sütünü hariç tüm sütünlarda eşit sayıda + ve – işaret bulunmaktadır.
- Herhangi iki sütündeki işaretlerin çarpımının toplamı sıfıra eşittir.
- Herhangi bir sütun ile I sütününün çarpımında sütun işaretlerinde değişim olmaz. Bu I'nın birim (tanımlayıcı, özdeş, etkisiz) eleman olduğunu gösterir.
- Herhangi iki sütunun çarpımı çizelgede bir kolon oluşturur. Örneğin; $A \times B = AB$ ve $AB \times B = AB^2 = A$

2^k faktöriyel tasarımlar genelleştirilmiş durumlara uygulandığında her biri iki düzeyli k faktörlü tasarımlarla karşılaşılır. 2^k tasarımları için istatistiksel model k ana etkileri, $\binom{k}{2}$

iki faktör etkileşimleri, $\binom{k}{3}$ üç faktör etkileşimleri, vs. ve bir k faktör etkileşimini kapsar. Bu 2^k tasarımı için tüm modelin $2^k - 1$ etkiyi içerdiği anlamına gelir [2].

2^k faktöriyel tasarımlarında k faktör sayısı arttıkça deneme kombinasyonlarının sayısı da artmaktadır. Örneğin, 2^5 tasarımında 32, 2^6 tasarımında 64 ve 2^{10} tasarımında 1024

deneme kombinasyonu oluşmaktadır. Kaynaklar genellikle sınırlı olduğundan, tasarımcı yapacağı tekrarlama sayısını sınırlandırabilir. Genellikle, tasarımcı bazı ana faktörleri elemeye karar vermedikçe mevcut kaynaklar tasarım denemelerinin sadece tek tekrarlı olmasına olanak verir [2].

2^k tasarımının tek tekrarlı olanına tekrarsız faktöriyel de denmektedir. Sadece tek tekrar olduğunda hatânın tahmini yapılamaz. Tekrarsız faktöriyelerin analizi için bir yaklaşım, yüksek düzeyli etkileşimlerin ihmal edilmesi ve bunların karesel ortalamalarının birleşiminin hatâ olarak kabul edilmesidir. Bu kabul etkilerin seyrekliği ilkesine dayanır. Bu ilke, birçok sistemde bazı ana etkilerin ve düşük dereceli etkileşimlerin hâkim olduğunu ve çok yüksek dereceli etkileşimlerin önemsiz olduğunu varsayar [2].

Tekrarsız faktöriyel tasarımlarla veri analizleri yapılırken çok yüksek dereceli etkileşimler meydana gelir. Bu durumlarda, düşük etkiye sahip yüksek dereceli etkileşimleri belirlemek için hatâların karesel ortalamasını kullanmak uygun değildir. Bunun için tahmini etkilere ait normal olasılık grafiği çizilerek, ortalaması sıfır ve σ^2 varyanslı normal dağılıma sahip etkiler ihmal edilir [102]. Bu etkiler grafik üzerinde düz bir çizgi üzerine düşme eğilimindedirler.

İki düzeyli faktöriyel tasarımların kullanılmasındaki olası sakınca faktör etkilerinde doğrusallık olduğu varsayımdır. Mükemmel doğrusallık gereksizdir ve doğrusallık varsayımı sadece yeterli yaklaşıma sahip olduğunda bile 2^k tasarımı yeteri kadar iyi sonuçlar verebilmektedir.

İki düzeyli faktöriyel denemelerde genellikle birinci derece model oluşturulması öngörülür. Fakat ikinci derece modelin daha uygun bir model olma olasılığını göz ardı etmemek gerekir. İkinci derece etkilerden kaynaklı eğriselliği içeren 2^k faktöriyelerde tekrarlanan belirli noktalar sayesinde hatânın bağımsız tahmini sağlanabilir. Bu yöntem 2^k tasarıma merkezî noktaların eklenmesini kapsar; $x_i = 0$ ($i = 1, 2, \dots, k$) noktalarında n tekrar denemelerini gerektirir. Tekrar denemelerinin tasarım merkezine eklenmesinin önemli sebeplerinden biri bu merkezî noktaların 2^k tasarımdaki genel etki tahminlerini etkilememesidir. Merkezî noktaların eklenmesi k faktörlerinin nicel olduğu varsayımına dayanır [2].

Faktöriyel noktalardaki deneme sonuçlarının ortalaması \bar{y}_F ve merkez noktaların ortalaması \bar{y}_C arasındaki fark küçük ise karesel eğriselliğin bulunmadığı, fark büyük ise karesel eğriselliğin bulunduğu söylenebilir. Salt karesel eğrisellik için tek serbestlik dereceli kareler toplamı (5.1) ile verilir [2].

$$SS_{\text{Salt karesel}} = \frac{n_F n_C (\bar{y}_F - \bar{y}_C)^2}{n_F + n_C} \quad (5.1)$$

(5.1)'de n_F faktöriyel tasarım noktalarının sayısıdır. Salt karesel eğriselliğin sınanması için bu nicelik hatâ ortalama karesi (**error mean square**) ile karşılaştırılabilir [2]. Özellikle, 2^k tasarımına merkez noktası eklendiğinde, (5.1)'e dayalı eğrisellik sınaması için aşağıdaki hipotez sınamalarının yapılması gerekir.

$$H_0 : \sum_{j=1}^k \beta_{jj} = 0, H_1 : \sum_{j=1}^k \beta_{jj} \neq 0$$

Ayrıca, eğer tasarımdaki faktöriyel noktalar tekrarsız ise $n_C - 1$ serbestlik derecesi ile hatânın tahminini gerçekleştirmek için n_C adet merkez noktası kullanılır [2].

Örneğin 2^2 faktöriyel tasarımında eğrisellik bulunmadığında aşağıdaki gibi birinci derece modelin kullanılması uygun olacaktır [2].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

Fakat karesel terimlere ihtiyaç duyulan durumlarda aşağıdaki gibi ikinci derece model kullanılması önerilir [2].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

Ancak bu modelde altı parametrenin tahmini gerekmektedir; eğer elde 2^2 tasarımı ve bir de merkez noktası ile toplam beş bağımsız deneme sonucu bulunuyorsa bu modeldeki bilinmeyen parametrelerin tahmini gerçekleştirilemez [2].

Bu problemin basit ve en etkin çözümü dört eksensel deneme noktaları ile 2^2 tasarımını yükseltgemektir. Sonuç tasarım merkezî birleşik tasarım olarak adlandırılır [2].

Merkez noktalarının kullanılmasında uygulamada faydalı olabilecek birkaç öneri [2] aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Faktöriyel denemeler devam eden bir süreçte yürütülmekte ise tasarımdaki merkez noktaları için mevcut işletim koşulları (reçete) kullanılabilir. Bu durum, deneylerde en az birkaç deneme işletim koşulları altında yapıldığından, elde edilecek sonuçların yeterliliği ve elde edilen sonuçların (en az bu birkaç deneme için) genel olarak elde edilecek sonuçlardan daha kötü olmayacağı konusunda işletim personeli için de inandırıcı olacaktır.
- Faktöriyel denemelerde genel işletim çözümüne karşılık gelen merkez noktaları kullandığında, araştırmacı deney esnasında olağandışı bir durumun oluşup oluşmadığını yaklaşık olarak anlamak için bu merkez noktalarında gözlemlenen tepkileri kullanabilecektir. Başka bir deyişle, bu merkez noktası tepkileri sürekli üretim sürecinde geçmişte gözlemlenen tepkilere çok benzer olacaktır. İşletim personeli süreç başarımını izlemek için çoğunlukla bir izleme/denetim çizgesi (diyagramı) oluşturur. Bazen merkez nokta tepkileri (mukabeleleri) bu çizge üzerine işaretlenerek deneyler esnasında sürecin nasıl işlediğini irdelemek için kullanılır.
- Rastgele olmayan düzende merkez noktasında tekrarların gerçekleştirildiğini düşünelim. Belirli bir biçimde bir veya iki merkez noktası deney başlangıcında veya yakınında, bir veya iki tane ortasına yakın ve bir veya iki tane sona yakın olarak gerçekleştirilsin. Merkez noktaların farklı zamanlara dağıtılması vasıtasıyla araştırmacı deneyler esnasında üretim sürecinin kararlılığını denetleme imkânı elde eder.
- Bazen araştırmalar süreç değişkenliği hakkında az veya hiç öncül bilgi bulunmayan durumlarda yapılmak zorunda olmaktadır. Bu durumlarda deneylerde ilk birkaç deneme için iki veya üç merkez noktasının kullanılması çok yararlı olabilir. Bu denemeler değişkenliğin ön tahminini sağlarlar. Eğer değişkenliğin büyüklüğü kabul edilebilir ise devam edilir, tahmin edilenden daha büyük bir değişkenlik gözlemlendiğinde durulur. Çoğu kez deneylere devam etmeden önce değişkenliğin nelerden kaynaklandığının araştırılması çok “kârlı” olabilir.
- Genellikle merkez noktaları tüm tasarım faktörleri nicel olduğunda kullanılır. Fakat bazen bir veya daha çok nitel veya kategorik değişkenler ve birkaç nicel değişkenler de olabilir. Merkez noktaları bu durumlarda da kullanılabilir.

Birçok durumda faktöriyel tasarımdaki tüm denemeleri sadece incelenen etkiler bakımından rastgeleleştirmek, homojen koşullar altında gerçekleştirmek imkânsız olur. Homojen koşullara örnekler, tek bir zaman periyodu (örneğin bir gün), ham maddenin homojen tek bir yığını, sadece tek bir teknisyen vb. olarak düşünülebilir. Diğer bir seçenek ise yapılan bir iyileştirmenin uygulamada karşılaşılabilecek her koşulda etkili (sağlam, “**robust**”) olduğunu kanıtlamak için deney koşullarının kasıtlı olarak değiştirilmesi söz konusu olabilir. [2]. Bazı durumlarda da istenmeyen, bozucu etkenler tam rastgeleleştirmeyi engeller.

Bu durumlarda kullanılan tasarım tekniği bloklama olarak adlandırılır. n tekrarlı 2^k faktöriyel tasarımı olduğunu varsayalım. Bu durumda homojen olmayan bozucu koşulları modele içselleştirmek, göz önüne almak için en basit yol her bir koşul veya bozucu etken grubu düzeylerinin bir blok gibi düşünülmesi ve ayrı ayrı bloklardaki tasarımın her biri için tekrarların gerçekleştirilmesidir. Her bir bloktaki denemeler rastgele sırada yapılırlar. Her blok deneyin tamamının tekrarını içerdiği için bu tür bloklama düzenine “rastgeleleştirilmiş tam blok tasarım (**randomized complete block design**)” denmektedir. Birçok durumda tek bir blokta faktöriyel tasarımın tüm tekrarlarının gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Bu tür durumlarda bir tam faktöriyel tasarım blok büyüklüğü bir tekrardaki koşul kombinasyonlarından daha küçük boyutlardaki blokların birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu yöntem bazı koşulların etkileri ile ilgili bilgileri (genellikle yüksek dereceden etkileşimlerini) bloklardan ayırt edilemez duruma getirir.

İki düzeyli faktöriyel tasarımların gerçekleştirilmesi ve çözümlenmeleri için özel olarak geliştirilmiş bilgisayar programları kullanılmaktadır.

5.2 Kısmî İki Düzeyli Faktöriyel Tasarımlar

2^k faktöriyel tasarımlarda faktör sayısı arttıkça deneme sayısı artacaktır. Örneğin, 2^6 tasarımının tam tekrarı 64 deneme gerektirir. Bu tasarımda 63 serbestlik derecesinden sadece 6’sı ana etkilerin tahmininde ve sadece 15 serbestlik derecesi iki faktör etkileşiminin tahmininde kullanılır. Geriye kalan 42 serbestlik derecesi üç faktör ve daha yüksek etkileşimler ile ilişkilidir [2].

Deneysel hatânın standard sapması (σ) küçük ise tasarım için sınırlı sayıda deneme gerçekleştirilerek yeterlilik sağlanabilir [3]. Bu durumda tasarımcı yüksek derece etkileşimlerin ihmal edilebileceğini varsayabilirse, ana etkiler ve düşük dereceli etkileşimler hakkında tüm faktöriyel denemelerin sadece bir kısmını kullanarak bilgi edinebilir. Bu kısmî faktöriyel tasarımlar endüstride en çok kullanılan tasarım çeşitleri arasındadır [2].

Kısmî faktöriyellerin başlıca kullanım alanlarından birisi eleme deneyleridir. Hatırlanacağı gibi eleme deneyleri tepki yüzey çalışmalarının ilk aşamasını oluşturmaktadır.

Kısmî faktöriyel tasarımların kullanım başarıları üç temel fikre dayanmaktadır [2];

- Etkilerin seyrekliği ilkesi (**the sparsity-of-effects principle**); sistem veya süreçte birçok değişken olduğunda, esasında süreçte incelenen tepkilerde etkenlerin ve etkileşimlerin hepsi değil sadece bazı ana etkiler ve bazı düşük dereceli etkileşimler anlamlı düzeyde etkili olur.
- Projeksiyon (izdüşüm) (**projection**) özeliği; kısmî faktöriyel tasarımların, anlamlı faktörlerin (etmenlerin) alt kümesinde güçlü (geniş) tasarımlara izdüşürülmesidir.
- Ardışık denemeler; iki (veya daha fazla) kısmî faktöriyelerin denemelerinin ardışık olarak birleştirilmesi ile oluşturulan kombinasyon, faktör etkileri ve değişkenlerin etkileşimlerinin tahminlerinin daha büyük tasarımlarla elde edilmesine olanak verir.

Her biri iki düzeyli üç faktörün bulunduğu, fakat araştırmacının tüm $2^3 = 8$ durum kombinasyonu yerine sadece dört deneme yapmak istediği bir durumu düşünelim. Bu öneri 2^3 tasarımının tek yarılanmasıdır. 2^3 tasarımının tek yarılanması sıklıkla 2^{3-1} olarak adlandırılır, çünkü tasarım $2^{3-1} = 4$ durum kombinasyonunu kapsar [2].

2^{3-1} tasarım örneği çözümüleme (**resolution**) III tasarımı olarak adlandırılır. Bu tasarımda ana etkiler iki-faktör etkileşimleri ile eşdeştirler. Eğer p -faktör etkileri $R-p$ faktörden daha küçükleri ihtiva eden diğer etkiler ile eşdeğ değil ise bu tasarımlara çözümüleme R tasarımları denir. Çözümüleme tasarımları alt simge olarak Roma rakamları ile gösterilir. Önemli belli başlı üç çözümüleme (çözümüleme III, çözümüleme IV ve çözümüleme V) tasarımları vardır.

- Çözümleme III tasarımları; hiçbir ana etkinin diğer ana etkilerle eşdeş olmadığı fakat ana etkilerin iki-faktör etkileşimlerle eşdeş olduğu ve iki-faktör etkileşimlerin kendi aralarında eşdeş olabildiği tasarımlardır. I = ABC ile 2^{3-1} tasarımı çözümleme III (2_{III}^{3-1}) tasarımıdır.
- Çözümleme IV tasarımları; hiçbir ana etkinin diğer ana etkilerle veya iki-faktör etkileşimlerle eşdeş olmadığı fakat iki-faktör etkileşimlerin kendi aralarında eşdeş olabildiği tasarımlardır. I = ABCD ile 2^{4-1} tasarımı çözümleme IV (2_{IV}^{4-1}) tasarımıdır.
- Çözümleme V tasarımları; hiçbir ana etkinin veya iki-faktör etkileşimin diğer ana etkilerle veya iki-faktör etkileşimlerle eşdeş olmadığı fakat iki-faktör etkileşimlerin üç-faktör etkileşimlerle eşdeş olabildiği tasarımlardır. I = ABCDE ile 2^{5-1} tasarımı çözümleme V (2_V^{5-1}) tasarımıdır.

Çözümleme R'nin herhangi kısmî faktöriyel tasarımı R-1 faktörlerin her bir alt kümesindeki tüm faktöriyel tasarımları içerir. Bu önemli ve kullanışlı bir durumdur. Örneğin, bir araştırmacı potansiyel birkaç faktör elde ettiğinde, fakat bunların sadece R-1 tanesinin önemli etki oluşturduğuna inandığında, tasarım model seçiminde çözümleme R'nin kısmî faktöriyel tasarımları uygun olur. Eğer araştırmacı haklı ise, çözümleme R'nin kısmî faktöriyel tasarımı R-1 anlamlı faktörlerle tüm faktöriyelin izdüşümü olur [2].

Özellikle eğer denemeler ardışık yapılacaksa, kısmî faktöriyel tasarımların kullanılması denemelerde büyük bir ekonomi ve verimlilik sağlar. Örneğin, $k = 4$ ($2^4 = 16$) faktör incelediğimizi farz edelim. Bu durumda sonuçların çözümlemesinde genellikle her zaman 2_{IV}^{4-1} (8 deneme) kısmî faktöriyel tasarım tercih edilir ve sonra bir sonrakini gerçekleştirmek için en iyi denemeler grubuna karar verilir. Eğer belirsizliklerin çözümü için gerekli ise her zaman alternatif kısım denemeleri gerçekleştirilir ve 2^4 tasarımı tamamlanır. Bu yöntem, tasarımı tamamlamak için kullanıldığı zaman, her iki tek yarılama, bloklar ile şaşırtılan yüksek dereceli etkileşimler ile tamamlanan tasarımları gösterir. Birçok durumda, gerekli eklenecek veya çıkartılacak faktörler, değiştirilecek tepkiler veya bazı faktörlerin yeni düzeylerinin değiştirilmesi gibi denemelerin bir sonraki aşamasına ilerleyebilmek için tek yarılama yeterli bilgi edinilir [2].

5.2.1 Genel 2^{k-p} Kısmî Faktöriyel Tasarımlar

2^{k-p} deneme içeren 2^k kısmî faktöriyel tasarımlar 2^{k-p} kısmî faktöriyel tasarımlar olarak adlandırılır. Bu tasarımlar p bağımsız tasarım üreticilerinin seçimini gerektirir. p adet üretici içeren tasarımlar için öncelikle tanımlı ilişki seçilir ve bunların 2^p-1 genelleştirilmiş etkileşimleri oluşturulur [2]. Eşdeğer yapı her bir etki sütununun tanımlı ilişki ile çarpılması ile bulunur. Potansiyel faktörlerin etkilerinin birbirleriyle eşdeğer olmaması için üretici seçimine dikkat etmek gerekir. Her bir etki 2^p-1 eşdeğere sahiptir [2]. 2^{k-p} kısmî faktöriyel tasarımlar için en iyi olası eşdeğer bağıntıları kapsayan p üreticilerin seçimi önemlidir. Çizelge 5.3'de 2^{k-p} kısmî faktöriyel tasarımlardaki üretici seçimleri görülmektedir [102].

Çizelge 5.3 2^k faktöriyel tasarımlar için önerilen üretici seçimleri [102]

Faktör sayısı, k	Kısım	Deneme sayısı	Tasarım üreteçleri
3	2_{III}^{3-1}	4	$C = \pm AB$
4	2_{IV}^{4-1}	8	$D = \pm ABC$
5	2_V^{5-1}	16	$E = \pm ABCD$
	2_{III}^{5-2}	8	$D = \pm AB, E = \pm AC$
6	2_{VI}^{6-1}	32	$F = \pm ABCDE$
	2_{IV}^{6-2}	16	$E = \pm ABC, F = \pm BCD$
	2_{III}^{6-3}	8	$D = \pm AB, E = \pm AC, F = \pm BC$
7	2_{VII}^{7-1}	64	$G = \pm ABCDEF$
	2_{IV}^{7-2}	32	$F = \pm ABCD, G = \pm ABDE$
	2_{IV}^{7-3}	16	$E = \pm ABC, F = \pm BCD, G = \pm ACD$
	2_{III}^{7-4}	8	$D = \pm AB, E = \pm AC, F = \pm BC, G = \pm ABC$
8	2_V^{8-2}	64	$G = \pm ABCD, H = \pm ABEF$
	2_{IV}^{8-3}	32	$F = \pm ABC, G = \pm ABD, H = \pm BCDE$
	2_{IV}^{8-4}	16	$E = \pm BCD, F = \pm ACD, G = \pm ABC, H = \pm ABD$
9	2_{VI}^{9-2}	128	$H = \pm ACDFG, J = \pm BCEFG$
	2_{IV}^{9-3}	64	$G = \pm ABCD, H = \pm ACEF, J = \pm CDEF$
	2_{IV}^{9-4}	32	$F = \pm BCDE, G = \pm ACDE, H = \pm ABDE, J = \pm ABCE$
	2_{III}^{9-5}	16	$E = \pm ABC, F = \pm BCD, G = \pm ACD, H = \pm ABD, J = \pm ABCD$
10	2_V^{10-3}	128	$H = \pm ABCG, J = \pm ACDE, K = \pm ACDF$
	2_{IV}^{10-4}	64	$G = \pm BCDF, H = \pm ACDF, J = \pm ABDE, K = \pm ABCE$
	2_{IV}^{10-5}	32	$F = \pm ABCD, G = \pm ABCE, H = \pm ABDE, J = \pm ACDE, K = \pm BCDE$
	2_{III}^{10-6}	16	$E = \pm ABC, F = \pm BCD, G = \pm ACD, H = \pm ABD, J = \pm ABCD, K = \pm AB$
11	2_{IV}^{11-5}	64	$G = \pm CDE, H = \pm ABCD, J = \pm ABF, K = \pm BDEF, L = \pm ADEF$
	2_{IV}^{11-6}	32	$F = \pm ABC, G = \pm BCD, H = \pm CDE, J = \pm ACD, K = \pm ADE, L = \pm BDE$
	2_{III}^{11-7}	16	$E = \pm ABC, F = \pm BCD, G = \pm ACD, H = \pm ABD, J = \pm ABCD, K = \pm AB, L = \pm AC$

DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEYLERİN TASARLANMASI

Deneysel çalışma dört aşamadan oluşmaktadır;

- ✓ Uygulamada bütünsel nitelik denetimi çerçevesinde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçların toplanması ve değerlendirilmesi.
- ✓ Betonun alışlagelmiş özelliklerinden çökme ve basma dayanımına etki eden eş zamanlı kontrol edilebilir değişkenlerin tespiti ve pompalanabilir beton için değişkenlerin yaklaşık değişim aralıklarının minimum deneme gerektirecek deneysel tasarımlarla belirlenen deneme noktalarına ait verilerin laboratuarda üretilen numunelerden elde edilerek belirlenmesi.
- ✓ Tepki değişkenleri (çökme ve basma dayanımı) üzerinde kontrol edilebilir etki değişkenlerinin etki düzeylerinin kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak elde edilen deneme noktalarına ait verilerin laboratuarda üretilen numuneler üzerinde belirlenmesi ve değerlendirilmesi.
- ✓ Gerçek tepki fonksiyonlarının elde edilmesi.

Beton özelliklerini etkileyen değişkenler, beton bileşim malzemelerinden agreganın özellikleri TS 706 EN 12620 [31] standardında, çimentonun özellikleri TS EN 197-1 [32] ve karışım suyunun özellikleri TS EN 1008 [33] standardında tariflenen ve belirtilen değerleri sağlamalıdır. Bununla birlikte beton tasarım kriterlerini sağlayabilmek için karışım agreganın incelik modülü, D_{en} büyük, dozaj, su/çimento ve çimento/ince agrega değerlerindeki değişimlerin etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Genel olarak beton özelliklerini etkileyen faktörler Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1 Beton özelliklerini etkileyen faktörler

Çimento bileşeni ile ilgili değişkenler (TS EN 197-1)	Standard basma dayanımı
	Erken dayanım
	Priz başlama süresi
	Hacim genleşmesi
	Kızdırma kaybı
	Çözünmeyen kalıntı
	Sülfat miktarı
	Klorür muhtevası
	Özgül yüzey
	Normal kıvam suyu
	Hidratasyon ısısı
	Rötre
Agrega bileşeni ile ilgili değişkenler (TS 706 EN 12620)	İri ve ince agrega incelik modülü
	Tane şekli
	Tane yüzeyi
	Kavkı muhtevası
	Çok ince malzemenin muhtevası
	Çok ince malzemenin kalitesi
	Tane dayanımı
	Kırılma parametreleri
	Elastisite modülü
	Tane yoğunluğu ve su emme oranı
	Yığın yoğunluğu
	Hacim sabitliği
	Klorürler
Kükürtlü bileşikler	
Diğer bileşenler	
Karışım suyu ile ilgili değişkenler (TS EN 1008)	Genel olarak içilebilir sular beton karışım suyu için uygun kabul edilir.
Tasarım kriterleri ile ilgili değişkenler (TS 802)	Karışım agrega incelik modülü
	$D_{en\ büyük}$
	Dozaj
	Su/çimento
Katki malzemeleri	Çimento/ince agrega
	Kullanılan katkı malzemesinin türü ve miktarı

Çalışma kapsamında beton özelliklerini etkileyen kontrol edilebilir değişkenler 7 adet olarak belirlendi. Karışım agrega incelik modülü, ince agrega miktarı ve en büyük tane büyüklüğü $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ birbirlerine bağımlı olduklarından her bir deneme noktası için eş zamanlı veri üretilmemektedir. Bu nedenle her bir en büyük tane büyüklüğü için ayrı ayrı 7 kontrol edilebilir değişken dikkate alınarak tasarımlar oluşturuldu. Kontrol edilebilir değişkenler Çizelge 6.2'de görülmektedir.

Çizelge 6.2 Beton özelliklerini etkileyen kontrol edilebilir faktörler

Sıra no	Adı	Kısaltmalar
1	Su/Çimento	(S/Ç)
2	Dozaj	(Dozaj)
3	Çimento standard dayanımı	(f_{cc})
4	Karışım agrega incelik modülü	(k_k)
5	İnce agrega ($P_{a \leq 4.00 \text{ mm}}$)	(iA)
6	Katkı maddesi (kimyasal katkı maddesi)	(KM)
7	Agrega türü	(AT)

Pompalanabilir betonun çökme değerinin 100 mm - 250 mm aralığında, en büyük tane büyüklüğü 20 mm için ince agrega içeriğinin ($P_{a=4.00 \text{ mm}}$) 0.40 – 0.50 ve $P_{a=0.30 \text{ mm}}$ değerinin ince agreganın ağırlıkça %15 - %30 değerlerini sağlaması gerekmektedir [29]. Eş zamanlı veri elde edilebilmesi amacıyla çimento miktarı, $P_{a=4.00 \text{ mm}}$ değeri ve karışım agrega incelik modülü değerleri dikkate alınabilmektedir. $P_{a=0.30 \text{ mm}}$ değeri bağlayıcı miktarı, ince agrega içeriği ve agrega tane büyüklüğü dağılımına bağlı olarak ortaya çıktığından pompalanabilirlik için çökme değeri sınırlarının sağlanmasının yeterli olduğu varsayıldı. Uygulamada pompalanabilir betonun çökme değerinin 100 mm - 210 mm (TS EN 206-1, S3, S4) arasında olması tercih edilmektedir. Bu nedenle deneysel tasarımlar; (i) pompalanabilir bir beton için gerekli çökme değeri dikkate alınarak kontrol edilebilir değişkenlerin işlevsel bölgeye düşecek değişim aralıklarının belirlenmesi, (ii) tepki değişkenleri (çökme ve basma dayanımı) üzerinde kontrol edilebilir etki değişkenlerinin etki düzeylerinin kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak belirlenmesi ve değerlendirilmesi ve (iii) gerçek tepki fonksiyonunun elde edilmesini kapsamaktadır. İlk aşamada pompalanabilir bir beton üretilebilmesi için gerekli işlevsel bölgenin yaklaşık olarak belirlenebilmesi amacıyla sadece “çökme” tepki değişkeni dikkate alınarak 2^{7-3} , 2^{6-2} ve 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımlar gerçekleştirildi. İkinci aşamada yaklaşık olarak belirlenen işlevsel bölgede “çökme ve basma dayanımı” tepki değişkenleri için etki değişkenlerinin değişim aralıklarına uygun 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım ve üçüncü aşamada ikinci aşamadan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesi ile elde edilen D-Eniyileme tasarımı gerçekleştirildi. Deneysel tasarımlar için Design Expert 7.1 bilgisayar programı kullanıldı.

6.1 Hazır Beton Tesislerinden Derlenen Verilerin Değerlendirilmesi

Uygulamadaki deneysel verilerin toplanması çerçevesinde farklı iki hazır beton üretim santralinden veri derlendi. Elde edilen veriler etki değişkenleri olarak çimento miktarı, su miktarı, su/çimento oranı ve kimyasal katkı maddesi miktarı, tepki değişkenleri olarak ise çökme, birim kütle ve beton basma dayanımına ait sonuçları içermektedir. Elde edilen verilere ait maksimum, minimum ve merkez noktası değerleri her bir santral için kullanılan kimyasal katkı maddesi türüne göre Çizelge 6.3'te görülmektedir.

Çizelge 6.3 Hazır beton tesislerinden derlenen veriler

Dayanım Numunesi Boyutları = a = b = h = 150 mm

2005							Sıcaklık (°C)				2 (2)	7 (2)	28 (2)	Santral		
Nokta sayısı	Beton sınıfı	Çimento Tipi	Dozaj (kg/m ³)	Su Miktarı (kg/m ³)	S/Ç	KKM	KKM (kg/m ³)	Hava	Beton	Çökme (cm)	Birim Kütle (kg/m ³)	Ortalama Basma Dayanımı (Kgf/cm ²)				
71	C20/25	CEMII/A-LI	Mak.	305	171	0.58	K 862, 0.6%	1.83	30	28.6	18	2404	13.56	26.29	36.30	2
			Min.	285	125	0.42		1.71	1	12.1	12	2320	5.04	11.77	18.93	
			Merkez	295	148	0.50		1.77	15.5	20.35	15	2362	9.30	19.03	27.62	
93	C25/30	CEMIII/A-LI	Mak.	340	177	0.54	K 862, 0.6%	2.04	31.8	29.4	18	2412	17.11	29.99	38.89	2
			Min.	300	131	0.40		1.80	0	11.2	12	2321	7.00	17.13	22.65	
			Merkez	320	154	0.47		1.92	15.9	20.3	15	1367	12.06	23.56	30.77	
44	C20/25	CEMII/A-LI	Mak.	305	180	0.61	K 862, 0.6%	1.83	25.3	26.4	17	2400	14.45	25.12	36.58	1
			Min.	285	141	0.48		1.71	-2	5.2	11	2321	3.76	13.95	23.43	
			Merkez	295	161	0.54		1.77	11.65	15.8	14	2361	9.10	19.54	30.01	
45	C25/30	CEMIII/A-LI	Mak.	340	238	0.53	K 862, 0.6%	2.04	22	28.9	18	2410	16.33	31.71	43.78	1
			Min.	300	132	0.40		1.80	-2	5.7	13	2340	4.94	18.54	27.94	
			Merkez	320	185	0.47		1.92	10	17.3	16	2375	10.63	25.13	35.86	
2004												3(2)	7(2)	28(2)		
84	C20/25	PLÇ-A 42.5	Mak.	310	195	0.65	MR-	1.86	30	28.8	19	2429	21.05	29.75	36.75	1
			Min.	290	143	0.46	50W,	1.74	2.1	9.1	10	2343	9.40	14.05	20.90	
			Merkez	300	169	0.56	0.6%	1.80	16.05	18.95	15	2386	15.23	21.90	28.82	
56	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	345	259	0.77	MR-	2.07	31	30.2	19	2421	26.60	34.35	46.35	1
			Min.	325	148	0.44	50W,	1.95	2	9.1	11	2344	10.95	17.70	29.00	
			Merkez	335	204	0.61	0.6%	2.01	16.5	19.65	15	2383	18.78	26.02	37.67	
22	C30/37	PLÇ-A 42.5	Mak.	380	180	0.49	DRC-	3.80	19	19.8	18	2420	25.90	36.10	49.45	1
			Min.	355	138	0.36	200,	3.55	-5	4.4	10	2371	14.75	26.15	34.80	
			Merkez	368	159	0.43	1.0%	3.68	7	12.1	14	1296	20.33	31.13	42.12	

Çizelge 6.3 Devam

32	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	335	188	0.58	250S, 0.6%	2.01	32	30.8	18	2414	24.70	32.75	42.90	1
			Min.	325	149	0.44		1.95	18	20.4	13	2357	15.05	20.20	28.45	
			Merkez	330	169	0.51		1.98	25	25.6	16	2386	19.88	26.47	35.67	
48	C20/25	PLÇ-A 42.5	Mak.	310	195	0.66	MR- 50W, 0.6%	1.86	30	28.3	19	2420	18.55	27.35	40.95	2
			Min.	290	148	0.50		1.74	4.9	12	11	2364	10.30	15.85	25.65	
			Merkez	300	172	0.58		1.80	17.45	20.15	15	2392	14.42	21.60	33.30	
39	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	340	258	0.77	MR- 50W, 0.6%	2.04	30	28.8	19	2414	24.15	34.40	49.65	2
			Min.	325	143	0.44		1.95	4	11.5	10	2370	14.30	20.70	29.95	
			Merkez	333	201	0.61		2.00	17	20.15	15	2392	19.22	27.55	39.80	
15	C30/37	PLÇ-A 42.5	Mak.	380	180	0.49	DRC- 200, 1.0%	3.80	21	23	19	2429	27.15	40.05	54.60	2
			Min.	355	146	0.38		3.55	3	9.4	10	2379	19.15	28.75	40.75	
			Merkez	368	163	0.44		3.68	12	16.2	14	2404	23.15	34.40	47.67	
47	C20/25	PLÇ-A 42.5	Mak.	335	181	0.62	250S, 0.6%	2.01	33	31.1	19	2407	19.25	26.20	35.85	2
			Min.	290	140	0.47		1.74	19.7	16.1	13	1376	10.45	15.35	21.65	
			Merkez	313	161	0.54		1.88	26.35	23.6	16	1892	14.85	20.77	28.75	
55	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	345	180	0.55	250S, 0.6%	2.07	34	31.1	18	2420	23.10	31.55	41.30	2
			Min.	300	135	0.40		1.80	19.7	23.1	12	2370	13.65	19.65	27.85	
			Merkez	323	158	0.48		1.94	26.85	27.1	15	2395	18.37	25.60	34.57	
10	C20/25	PLÇ-A 42.5	Mak.	300	166	0.57	580, 0.6%	1.80	23	24.3	18	2400	14.35	20.60	29.55	2
			Min.	290	150	0.50		1.74	15	19.6	14	2369	10.30	15.80	23.30	
			Merkez	295	158	0.53		1.77	19	21.95	16	2385	12.33	18.20	26.42	
12	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	335	171	0.51	580, 0.6%	2.01	24	23.5	18	2400	18.00	26.75	38.10	2
			Min.	330	153	0.46		1.98	11.2	20.2	13	2371	13.00	20.75	30.45	
			Merkez	333	162	0.48		2.00	17.6	21.85	16	2386	15.50	23.75	34.27	
27	C20/25	PLÇ-A 42.5	Mak.	295	174	0.59	700, 0.6%	1.77	25	25.6	18	2407	16.00	22.20	32.55	2
			Min.	285	140	0.47		1.71	1	12.5	13	2351	9.55	16.00	25.40	
			Merkez	290	157	0.53		1.74	13	19.05	16	2379	12.77	19.10	28.97	
24	C25/30	PLÇ-A 42.5	Mak.	335	174	0.59	700, 0.6%	2.01	23	24.1	17	2410	18.75	28.25	39.05	2
			Min.	295	147	0.45		1.77	4	13.4	12	2350	11.35	17.20	26.05	
			Merkez	315	161	0.52		1.89	13.5	18.75	15	2380	15.05	22.72	32.55	

Tepki yüzeyi yöntem bilgisi kapsamında faktör eleme aşamasında kullanılan 2^k faktöriyel ve/veya 2^{k-p} kısmi faktöriyel tasarımlar ve gerçek tepki modelinin elde edilebilmesi için kullanılan tasarımların (merkezi birleşik tasarım, D-Eniyileme tasarımı) oluşturulabilmesi için gerekli minimum, maksimum ve merkez noktası değerlerine göre üç etki değişkenine sahip 2^3 faktöriyel tasarım (en az 4 merkez noktasına sahip ve 3 tekrarlı) ve ikinci derece model tasarımı (3 tekrarlı, etki değişkeni sayısı küçüldükçe deneme sayısı küçüldüğünden tekrar sayısı artırılabilir) için gerekli deneme noktası sayıları Çizelge 6.4'te görülmektedir.

Çizelge 6.4 Tesislerden derlenen veri sayıları ve ikinci derece model tasarımları için gerekli deneme sayıları

Yıl	Santral	Çimento tipi	Kimyasal katkı maddesi ve çimento yüzdesi	C20/25	C25/30	C30/37	Toplam	2 ³	MBT
2005	1	CEMII/A-LL	K 862, 0.6%	44	45	-	89	28	20
	2	CEMII/A-LL	K 862, 0.6%	71	93	-	164	28	20
2004	1	PLÇ-A 42.5	MR-50W, 0.6%	84	56	-	140	28	20
	1	PLÇ-A 42.5	DRC-200, 1.0%	-	-	22	22	28	20
	1	PLÇ-A 42.5	250S, 0.6%	-	32	-	32	28	20
	2	PLÇ-A 42.5	MR-50W, 0.6%	48	39	-	87	28	20
	2	PLÇ-A 42.5	DRC-200, 1.0%	-	-	15	15	28	20
	2	PLÇ-A 42.5	250S, 0.6%	47	55	-	102	28	20
	2	PLÇ-A 42.5	580, 0.6%	10	12	-	22	28	20
	2	PLÇ-A 42.5	700, 0.6%	27	24	-	51	28	20
Genel toplam							724	280	200

7 adet olarak belirlenen beton özelliklerine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerden sadece 3 değişken (dozaj, su/çimento oranı ve kimyasal katkı maddesi miktarı) ile ilgili veri elde edilebildiği görülmektedir. Sadece üç parametre için gerçekleştirilecek model araştırmasında hatâların kaynağının açıklanması konusunda yetersiz kalınacağı, yeterli güvenilirlikte tepki yüzeyi oluşturulamayacağı, açıktır.

Çizelge 6.4 incelendiğinde genel olarak her iki santralde her bir beton sınıfı (C30/37 ve 2004 yılında 580 kimyasal katkı maddesi ile üretilen C20/25 ve C25/30 beton sınıfları hariç) için sayısal olarak yeterli deneme noktası elde edildiği görülmektedir. Fakat maksimum ve minimum noktaları dikkate alınarak oluşturulan eleme deneyleri ve ikinci dereceden model tasarımları için gerekli deneme noktaları ile örtüşen tepki verilerine ulaşamadığı da görülmektedir.

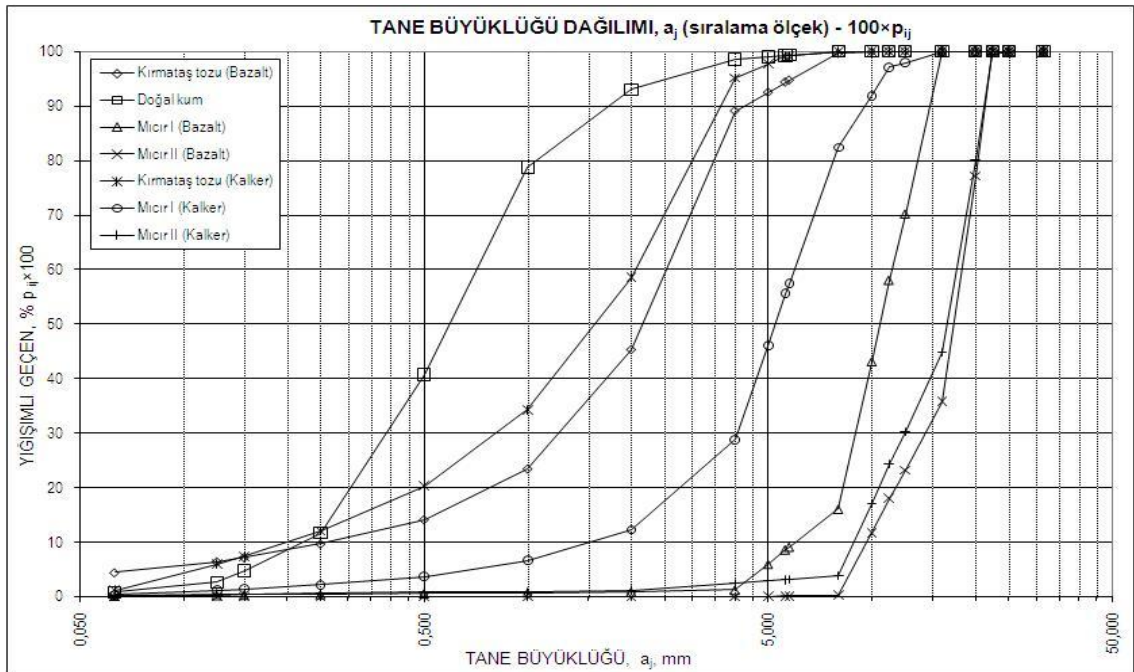
Sonuç olarak yıl, hazır beton santrali ve kimyasal katkı maddesi türüne göre sınıflandırılan verilerin yetersizliği ve değişim aralıklarının sınırlı olması nedeniyle hazır beton tesislerinden elde edilen veriler anlamlı sonuç verecek bir istatistiksel değerlendirmeye elverişli olmadığından, gerekli verilerin kontrollü ve eş zamanlı bir şekilde laboratuvar deneyleri yapılarak üretilmesine karar verildi.

6.2 Laboratuarda Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan agregalar, kimyasal katkı maddesi, su ve üretim için gerekli özellikleri Çizelge 6.5 ve agregalara ait tane büyüklüğü dağılımları Şekil 6.1’de verilmiştir. Agrega incelik modülleri 13 elekli (0.063 - 0.125 - 0.250 - 0.500 - 1.0 - 2.0 - 4.0 - 5.6 - 8.0 - 11.2 - 16.0 - 22.4 - 31.5) takımında belirlendi.

Çizelge 6.5 Kullanılan agregalar ve özellikleri

Özellikler		İncelik modülü k	Tane yoğunluğu ρ kg/m ³	Su emme μ kg/kg	
					-
Agrega	Bazalt	Mıdır II	10.456	2872	0.0100
		Mıdır I	9.129	2878	0.0130
		Kırma taş tozu	5.198	2845	0.0220
	Kalker	Mıdır II	10.181	2600	0.0120
		Mıdır I	7.107	2590	0.0170
		Kırma taş tozu	4.791	2550	0.0260
Kum		3.770	2600	0.0140	
Su	İçilebilir su				
Kimyasal katkı maddesi	Süper akışkanlaştırıcı	-	1100	0.0000	



Şekil 6.1 Agregalara ait tane büyüklüğü dağılımları

Deneylerde kullanılan bağlayıcı malzemeler CEM I 42.5 R, CEM V/A (S-P) 32.5 R ve SDÇ 32.5 R çimentolarına ait özellikler sırasıyla Çizelge 6.6, Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de görülmektedir [103].

Çizelge 6.6 CEM I 42.5 R çimento özellikleri [103]

Numune = CEM I 42.5 R, Standard = TS EN 197-1/Mart 2002						
Numunenin alındığı tarih = 26.04.2010, Deneme tarihi = 30.04.2010-28.05.2010						
Kimyasal Analiz			Fiziksel Denemeler			
Test metodu: TS EN 196-2 (%)	Standard	Analiz sonuçları	Test metodu: TS EN 196-3 ve TS EN 196-6		Standard	Analiz sonuçları
SiO ₂ çözünen	-	20.41	Tane yoğunluğu (g/cm ³)			3.14
Çözünmez kalıntı	≤5.0	0.22	Priz süresi, (dak.) (vicat)	Başlangıç	≥60	152
Al ₂ O ₃	-	5.01		Bitiş		215
Fe ₂ O ₃	-	4.00	Hacim genişmesi (mm) (Le Chatelier)		≤10	1
CaO	-	63.84	İncelik	Özgül yüzey-Blaine (m ² /kg)		379
MgO	-	1.18		45 µm elek kalıntısı (%)		6.9
SO ₃	≤4.0	2.78		90 µm elek kalıntısı (%)		0.3
Kızdırma kaybı	≤5.0	1.58	Dayanım Denemeleri			
Cl ⁻	≤0.10	0.0405	40×40×160 mm kalıplar			
Na ₂ O / K ₂ O	-	0.32/0.81	Karışım: 1 kısım çimento, 3 kısım CEN referans kumu, 0.50 su/çimento			
Tayin edilemeyen	-	0.03	Basma dayanımı (MPa)			
Serbest CaO	-	1.40	Test metodu: TS EN 196-1	Standard	Deney sonuçları	
Mineralojik bileşim	C3S	51.70	Mekanik özellik/gün			
	C2S	19.59	Erken dayanım/2	≥20.0	27.2	
	C3A	6.52	Erken dayanım/7	-	42.5	
	C4AF	12.17	Standard dayanım/28	≥42.5 <62.5	55.1	
LSF	-	0.94				

Çizelge 6.7 CEM V/A (S-P) 32.5 R çimento özellikleri [103]

Numune = CEM V/A (S-P) 32.5 R, Standard = TS EN 197-1/Mart 2002						
Numunenin alındığı tarih = 26.04.2010, Deneme tarihi = 30.04.2010-28.05.2010						
Kimyasal Analiz			Fiziksel Denemeler			
Test metodu: TS EN 196-2 (%)	Standard	Analiz sonuçları	Test metodu: TS EN 196-3 ve TS EN 196-6	Standard	Analiz sonuçları	
SiO ₂ çözünen	-	27.81	Tane yoğunluğu (g/cm ³)		2.99	
Çözünmez kalıntı	-	12.73	Priz süresi, (dak.) (vicat)	Başlangıç	≥75	180
Al ₂ O ₃	-	7.24		Bitiş		260
Fe ₂ O ₃	-	4.32	Hacim genişmesi (mm) (Le Chatelier)		≤10	1
CaO	-	50.14	İncelik	Özgül yüzey-Blaine (m ² /kg)		416
MgO	-	2.43		45 µm elek kalıntısı (%)		16.8
SO ₃	≤3.5	2.95		90 µm elek kalıntısı (%)		2.3
Kızdırma kaybı	-	3.71	Dayanım Denemeleri			
Cl ⁻	≤0.10	0.0281	40×40×160 mm kalıplar			
Na ₂ O / K ₂ O	-	0.38/0.82	Karışım: 1 kısım çimento, 3 kısım CEN referans kumu, 0.50 su/çimento			
Tayin edilemeyen	-	0.71	Basma dayanımı (MPa)			
Serbest CaO	-	0.90	Test metodu: TS EN 196-1	Standard	Deney sonuçları	
Mineralojik bileşim	C3S	-	Mekanik özellik/gün			
	C2S	-	Erken dayanım/2	-	12.5	
	C3A	-	Erken dayanım/7	≥16.0	21.7	
	C4AF	-	Standard dayanım/28	≥32.5 <52.5	34.4	
LSF	-	-				

Çizelge 6.8 SDÇ 32.5 R çimento özellikleri [103]

Numune = SDÇ 32.5 R, Standard = TS 10157 / Hzirar 2007					
Numunenin alındığı tarih = 26.04.2010, Deneme tarihi = 30.04.2010-28.05.2010					
Kimyasal Analiz			Fiziksel Denemeler		
Test metodu: TS EN 196-2 (%)	Standard	Analiz sonuçları	Test metodu: TS EN 196-3 ve TS EN 196-6	Standard	Analiz sonuçları
SiO ₂ çözünen	-	20.37	Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)		3.16
Çözünmez kalıntı	≤5.0	0.68	Priz süresi, (dak.) (vicat)	Başlangıç	≥75
Al ₂ O ₃	-	4.12		Bitiş		148
Fe ₂ O ₃	-	4.96	Hacim genişmesi (mm) (Le Chatelier)		≤10
CaO	-	64.23	İncelik	Özgül yüzey-Blaine (m ² /kg)	339
MgO	-	1.24		45 µm elek kalıntısı (%)	7.7
SO ₃	≤3.5	2.25		90 µm elek kalıntısı (%)	0.4
Kızdırma kaybı	≤5.0	1.63	Dayanım Denemeleri		
Cl ⁻	≤0.10	0.0346	40×40×160 mm kalıplar		
Na ₂ O / K ₂ O	-	0.19/0.67	Karışım: 1 kısım çimento, 3 kısım CEN referans kumu, 0.50 su/çimento		
Tayin edilemeyen	-	0.31	Basma dayanımı (MPa)		
Serbest CaO	-	1.10	Test metodu: TS EN 196-1 Mekanik özellik/gün	Standard	Deney sonuçları
Mineralo-jik bileşim	C3S	-				60.94	Erken dayanım/2	≥10.0
	C2S	-	12.52	Erken dayanım/7	-
	C3A	-	2.54	Standard dayanım/28	≥32.5 ≤52.5
	2×C3A+ C4AF	-	20.17		44.75
LSF	-	0.96			

6.3 Pompalanabilir Beton İçin Kontrol Edilebilir Değişkenlerin Değişim Aralıklarının Belirlenmesi

Öncelikle pompalanabilir bir beton için gerekli çökme değeri (uygulamada çökme = 100 mm - 210 mm (TS EN 206-1, S3, S4) dikkate alınarak kontrol edilebilir değişkenlerin işlevsel bölgeye düşecek değişim aralıkları belirlendi. Bunun için en az deneme sayısı veren kısmî faktöriyel tasarımlar kullanıldı. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla 2^{7-3} , 2^{6-2} ve 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımlar uygulandı.

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımlar için kontrol edilebilir değişkenlere ait değişim aralıkları ilgili standartlarda [5, 27, 31, 32] belirtilen alt ve üst limitlere göre belirlendi. 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımlara ait tasarım özetleri Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da görülmektedir.

Çizelge 6.9 2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Tasarım özeti		2^{7-3}							
Çalışma türü		Faktöriyel				Denemeler		18	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel				Bloklar		0	
Merkez noktası		2							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	45	65	-1	1	55	9.43
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	300	350	-1	1	325	23.57
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.76
D	k _k	-	Sayısal	5.4	5.8	-1	1	5.62	0.18
E	iA	%	Sayısal	65	70	-1	1	67.61	2.26
F	KM	%	Sayısal	0.7	1.4	-1	1	1.05	0.33
G	AT	Tür	Kategorik	Kalker	Bazalt			Düzyey	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	18	Faktöriyel	0	26.5	5.96	9.22	-
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)				

Çizelge 6.10 2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Tasarım özeti		2^{7-3}							
Çalışma türü		Faktöriyel				Denemeler		18	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel				Bloklar		0	
Merkez noktası		2							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	45	65	-1	1	55	9.43
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	300	350	-1	1	325	23.57
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.76
D	k _k	-	Sayısal	6.4	7.13	-1	1	6.80	0.32
E	iA	%	Sayısal	45	50	-1	1	47.64	2.29
F	KM	%	Sayısal	0.7	1.4	-1	1	1.05	0.33
G	AT	Tür	Kategorik	Kalker	Bazalt			Düzyey	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	18	Faktöriyel	0	26.5	9.11	10.18	-
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)				

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımlara ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen deneme noktaları ve her bir deneme noktasında elde edilen çökme değerleri Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12'de verildi.

Çizelge 6.11 2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	7	
					A: S/Ç %	B: Dozaj kg/m ³	C: f_{cc} MPa	D: k_k -	E: İA %	F: KM %	G: AT Tür		Çökme cm
17	0	1	1	Merkez	55	325	44.75	5.600	67.5	1.05	Kalker	0.0
18	0	18	1	Merkez	55	325	44.75	5.600	67.5	1.05	Bazalt	1.5
1	1	6	1	Gerçek	45	300	34.40	5.400	65.0	0.70	Kalker	0.0
2	2	13	1	Gerçek	65	300	34.40	5.400	70.0	0.70	Bazalt	0.0
3	3	3	1	Gerçek	45	350	34.40	5.400	70.0	1.40	Kalker	0.0
4	4	7	1	-	65	350	34.40	5.550	66.0	1.40	Bazalt	26.5
5	5	14	1	Gerçek	45	300	55.10	5.400	70.0	1.40	Bazalt	0.0
6	6	15	1	Gerçek	65	300	55.10	5.400	65.0	1.40	Kalker	13.5
7	7	16	1	-	45	350	55.10	5.544	66.0	0.70	Bazalt	0.0
8	8	4	1	Gerçek	65	350	55.10	5.400	70.0	0.70	Kalker	23.0
9	9	8	1	Gerçek	45	300	34.40	5.800	65.0	1.40	Bazalt	0.0
10	10	5	1	Gerçek	65	300	34.40	5.800	70.0	1.40	Kalker	2.0
11	11	9	1	Gerçek	45	350	34.40	5.800	70.0	0.70	Bazalt	0.0
12	12	2	1	Gerçek	65	350	34.40	5.800	65.0	0.70	Kalker	7.5
13	13	11	1	Gerçek	45	300	55.10	5.800	70.0	0.70	Kalker	0.0
14	14	10	1	Gerçek	65	300	55.10	5.800	65.0	0.70	Bazalt	8.2
15	15	12	1	Gerçek	45	350	55.10	5.800	65.0	1.40	Kalker	0.0
16	16	17	1	Gerçek	65	350	55.10	5.800	70.0	1.40	Bazalt	25.0

Çizelge 6.12 2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	7	
					A: S/Ç %	B: Dozaj kg/m ³	C: f_{cc} MPa	D: k_k -	E: İA %	F: KM %	G: AT Tür		Çökme cm
17	0	3	1	Merkez	55	325	44.75	6.765	47.50	1.05	Kalker	1.5
18	0	17	1	Merkez	55	325	44.75	6.765	47.50	1.05	Bazalt	3.0
1	1	7	1	Gerçek	45	300	34.40	6.400	45.00	0.70	Kalker	0.0
2	2	4	1	-	65	300	34.40	6.500	50.00	0.70	Bazalt	7.0
3	3	8	1	Gerçek	45	350	34.40	6.400	50.00	1.40	Kalker	0.0
4	4	6	1	-	65	350	34.40	6.652	46.00	1.40	Bazalt	25.7
5	5	10	1	-	45	300	55.10	6.400	50.53	1.40	Bazalt	0.0
6	6	18	1	Gerçek	65	300	55.10	6.400	45.00	1.40	Kalker	20.0
7	7	9	1	-	45	350	55.10	6.651	46.00	0.70	Bazalt	0.0
8	8	16	1	Gerçek	65	350	55.10	6.400	50.00	0.70	Kalker	21.3
9	9	15	1	Gerçek	45	300	34.40	7.130	45.00	1.40	Bazalt	0.0
10	10	12	1	Gerçek	65	300	34.40	7.130	50.00	1.40	Kalker	17.5
11	11	5	1	Gerçek	45	350	34.40	7.130	50.00	0.70	Bazalt	0.0
12	12	14	1	Gerçek	65	350	34.40	7.130	45.00	0.70	Kalker	20.5

Çizelge 6.12 Devam

13	13	13	1	Gerçek	45	300	55.10	7.130	50.00	0.70	Kalker	0.0
14	14	1	1	Gerçek	65	300	55.10	7.130	45.00	0.70	Bazalt	18.0
15	15	2	1	Gerçek	45	350	55.10	7.130	45.00	1.40	Kalker	2.5
16	16	11	1	Gerçek	65	350	55.10	7.130	50.00	1.40	Bazalt	27.0

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımlarına göre elde edilen çökme değerleri üzerinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları ($\alpha = 0.10$) dikkate alınarak varyans analiz sonuçları Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14'te görülmektedir.

Çizelge 6.13 2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	1365.2	7	195.03	16.940	0.0002	Anlamlı
A-(S/Ç)	698.28	1	698.28	60.650	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	212.43	1	212.43	18.451	0.0020	Anlamlı
C-(f_{cc})	70.981	1	70.981	6.1651	0.0348	Anlamlı
F-(KM)	50.056	1	50.056	4.3476	0.0667	Anlamlı
AB	212.43	1	212.43	18.451	0.0020	Anlamlı
AC	70.981	1	70.981	6.1651	0.0348	Anlamlı
AF	50.056	1	50.056	4.3476	0.0667	Anlamlı
Eğrisellik	60.970	1	60.970	5.2956	0.0469	Anlamlı
Artık	103.62	9	11.513			
Toplam	1529.8	17				

Çizelge 6.14 2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	1758.3	13	135.25	169.28	0.0007	Anlamlı
A-(S/Ç)	1452.7	1	1452.7	1818.2	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	76.463	1	76.463	95.700	0.0023	Anlamlı
C-(f_{cc})	19.129	1	19.129	23.941	0.0163	Anlamlı
D-(k_k)	6.1210	1	6.1210	7.6610	0.0697	Anlamlı
E-(i_A)	12.925	1	12.925	16.177	0.0276	Anlamlı
F-(KM)	46.344	1	46.344	58.004	0.0047	Anlamlı
AB	59.222	1	59.222	74.122	0.0033	Anlamlı
AC	10.661	1	10.661	13.343	0.0354	Anlamlı
AD	1.9341	1	1.9341	2.4207	0.2176	Anlamsız
AE	6.1127	1	6.1127	7.6506	0.0698	Anlamlı
AF	29.051	1	29.051	36.360	0.0091	Anlamlı
BD	2.3276	1	2.3276	2.9132	0.1864	Anlamsız

Çizelge 6.14 Devam

ABD	7.0884	1	7.0884	8.8718	0.0587	Anlamlı
Eğrisellik	105.27	1	105.27	131.76	0.0014	Anlamlı
Artık	2.3969	3	0.7990			
Toplam	1866.0	17				

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımlara ait sonuçlar incelendiğinde ilk seçilen değişim aralıklarının pompalanabilir bir beton üretimi için uygun olmadığı görülmektedir. Tersine eleme regresyon sonucunda $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için D, E, G, AD, AE, AG, BD ve ABD, $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için G, AG, AD ve BD'nin etki düzeylerinin anlamlı olmadığı görüldü. Etkidüzensel (hiyerarşik) model oluşturulabilmesi için $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de AD ve BD parametreleri tepki fonksiyonuna eklendi. Her iki 11.2 mm ve 22.4 mm en büyük tane büyüklüğü tasarımlarında, ana etkilerden agrega türünün ("G Faktörü"nün, eşdeyişle, agreganın kalker veya bazalt (tane yoğunluğu ve ezilme değerinin farklı) olmasının) göz önüne alınan etki değişkenlerinin değişim aralıklarında çökme üzerinde anlamlı düzeyde bir etki oluşturmadığı görülmektedir.

2^{7-3} kısmî faktöriyel kullanılarak oluşturulan $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'den elde edilen sonuçlar beraber değerlendirildiğinde etki değişkenlerinin değişim aralıklarının işlevsel bölgeden çok uzakta olduğu görülmektedir. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm'de pompalanabilir beton için belirlenen çökme değerinin 1 deneme noktasında (100 mm - 210 mm), $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de ise sadece 5 deneme noktasında uygun işlenebilirlik sağlandığı görülmektedir.

Her iki tasarımda da G faktörünün (agrega türü) etki düzeyinin anlamsız olması nedeniyle etki değişkenleri 7'den 6'ya azaltıldı. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yeniden belirlenen değişim aralıkları kullanılarak 2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarım oluşturuldu. 2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarım için belirlenen değişim aralıkları ve tasarım özetleri Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'da görülmektedir.

Çizelge 6.15 2^{6-2} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Tasarım özeti		2^{6-2}							
Çalışma türü		Faktöriyel			Denemeler			19	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel			Bloklar			0	
Merkez noktası		3							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	50	60	-1	1	55	4.59
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	300	350	-1	1	325	22.94
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.50
D	k _k	-	Sayısal	5.4	5.8	-1	1	5.60	0.18
E	İA	%	Sayısal	65	70	-1	1	67.50	2.29
F	KM	%	Sayısal	1.0	1.4	-1	1	1.20	0.18
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	19	Faktöriyel	0	20	4.72	6.89	-
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)				

Çizelge 6.16 2^{6-2} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Tasarım özeti		2^{6-2}							
Çalışma türü		Faktöriyel			Denemeler			19	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel			Bloklar			0	
Merkez noktası		0							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	50	60	-1	1	55	4.59
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	300	350	-1	1	325	22.94
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.50
D	k _k	-	Sayısal	6.7	7.13	-1	1	6.92	0.20
E	İA	%	Sayısal	45	50	-1	1	47.50	2.29
F	KM	%	Sayısal	1.0	1.4	-1	1	1.20	0.18
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	13	Faktöriyel	0	20.4	5.02	6.04	-
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)				

2^{6-2} tasarımına ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen deneme noktaları ve her bir deneme noktasında elde edilen çökme değerleri Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18'de verildi.

Çizelge 6.17 2⁶⁻² tasarım deneme noktaları (D_{en büyük} = 11.2 mm)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	
					A: S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f _{cc} MPa	D: k _k -	E: İA %	F: KM %		Çökme cm
18	0	1	1	Merkez	55	325	44.75	5.6	67.5	1.2	1.8
19	0	2	1	Merkez	55	325	44.75	5.6	67.5	1.2	1.7
17	0	3	1	Merkez	55	325	44.75	5.6	67.5	1.2	2.2
1	1	13	1	Gerçek	50	300	34.40	5.4	65.0	1.0	0.0
2	2	15	1	Gerçek	60	300	34.40	5.4	70.0	1.0	0.3
3	3	18	1	Gerçek	50	350	34.40	5.4	70.0	1.4	1.5
4	4	8	1	Gerçek	60	350	34.40	5.4	65.0	1.4	20.0
5	5	9	1	Gerçek	50	300	55.10	5.4	70.0	1.4	0.0
6	6	14	1	Gerçek	60	300	55.10	5.4	65.0	1.4	3.5
7	7	19	1	Gerçek	50	350	55.10	5.4	65.0	1.0	2.9
8	8	7	1	Gerçek	60	350	55.10	5.4	70.0	1.0	17.5
9	9	16	1	Gerçek	50	300	34.40	5.8	65.0	1.4	0.0
10	10	12	1	Gerçek	60	300	34.40	5.8	70.0	1.4	1.3
11	11	10	1	Gerçek	50	350	34.40	5.8	70.0	1.0	0.0
12	12	5	1	Gerçek	60	350	34.40	5.8	65.0	1.0	16.5
13	13	11	1	Gerçek	50	300	55.10	5.8	70.0	1.0	0.0
14	14	6	1	Gerçek	60	300	55.10	5.8	65.0	1.0	1.7
15	15	17	1	Gerçek	50	350	55.10	5.8	65.0	1.4	1.2
16	16	4	1	Gerçek	60	350	55.10	5.8	70.0	1.4	17.5

Çizelge 6.18 2⁶⁻² tasarım deneme noktaları (D_{en büyük} = 22.4 mm)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	
					A: S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f _{cc} MPa	D: k _k -	E: İA %	F: KM %		Çökme cm
17	0	17	1	Merkez	55	325	44.75	6.915	47.5	1.2	-
18	0	10	1	Merkez	55	325	44.75	6.915	47.5	1.2	-
19	0	7	1	Merkez	55	325	44.75	6.915	47.5	1.2	-
1	1	2	1	Gerçek	50	300	34.40	6.700	45.0	1.0	0.0
2	2	1	1	Gerçek	60	300	34.40	6.700	50.0	1.0	7.0
3	3	3	1	Gerçek	50	350	34.40	6.700	50.0	1.4	16.2
4	4	6	1	Gerçek	60	350	34.4	6.7	45	1.4	-
5	5	15	1	Gerçek	50	300	55.10	6.700	50.0	1.4	1.0
6	6	13	1	Gerçek	60	300	55.10	6.700	45.0	1.4	2.3
7	7	11	1	Gerçek	50	350	55.10	6.700	45.0	1.0	2.0
8	8	19	1	Gerçek	60	350	55.10	6.700	50.0	1.0	20.4
9	9	5	1	Gerçek	50	300	34.40	7.130	45.0	1.4	0.8
10	10	14	1	Gerçek	60	300	34.40	7.130	50.0	1.4	4.5
11	11	8	1	Gerçek	50	350	34.40	7.130	50.0	1.0	3.0
12	12	18	1	Gerçek	60	350	34.4	7.13	45	1	-

Çizelge 6.18 Devam

13	13	12	1	Gerçek	50	300	55.10	7.130	50.0	1.0	0.0
14	14	4	1	Gerçek	60	300	55.10	7.130	45.0	1.0	3.4
15	15	16	1	Gerçek	50	350	55.10	7.130	45.0	1.4	4.6
16	16	9	1	Gerçek	60	350	55.1	7.13	50	1.4	-

2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak oluşturulan $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm'ye ait çökme sonuçları incelendiğinde elde edilen sonuçların pompalanabilir beton için gerekli işlenebilirliği (100 mm – 210 mm) sadece dört deneme noktasında (4, 5, 7 ve 8) sağladığı görülmektedir. Diğer deneme noktalarında elde edilen çökme değerlerinin ortalaması 12,1 mm bulundu. Benzer şekilde $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de 2 deneme noktasında (3 ve 19) uygun işlenebilirlik sağlandı. Geriye kalan 11 deneme noktasında elde edilen çökme değerlerinin ortalaması ise 26,0 mm bulundu. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de 19 deneme noktası oluşturulmasına rağmen anlamlı 13 gözlem elde edilebildi. 6 deneme noktasında (6, 7, 9, 10, 17 ve 18) göçme şeklinde çökme oluştuğundan dikkate alınmadı.

2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarımlarına göre elde edilen çökme değerleri üzerinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları ($\alpha = 0.10$) dikkate alınarak varyans analiz sonuçları Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20'de görülmektedir.

Çizelge 6.19 2^{6-2} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	873.65	10	87.365	1953.1	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	330.33	1	330.33	7384.6	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	308.88	1	308.88	6905.1	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	1.3806	1	1.3806	30.864	0.0009	Anlamlı
D-(k_k)	3.5156	1	3.5156	78.597	< 0.0001	Anlamlı
E-(İA)	3.7056	1	3.7056	82.840	< 0.0001	Anlamlı
F-(KM)	2.3256	1	2.3256	51.990	0.0002	Anlamlı
AB	218.30	1	218.30	4880.2	< 0.0001	Anlamlı
AE	0.3906	1	0.3906	8.7325	0.0213	Anlamlı
AF	2.6406	1	2.6406	59.032	0.0001	Anlamlı
BD	2.1756	1	2.1756	48.637	0.0002	Anlamlı
Eğrisellik	28.246	1	28.246	631.45	< 0.0001	Anlamlı
Artık	0.3131	7	0.0447			
Uyum yokluğu	0.1731	5	0.0346	0.4946	0.7727	Anlamsız
Salt hatâ	0.14	2	0.07			
Toplam	902.21	18				

Çizelge 6.20 2^{6-2} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	469.67	10	46.967	24.558	0.0397	Anlamlı
A-(S/Ç)	100.34	1	100.34	52.466	0.0185	Anlamlı
B-(Dozaj)	156.24	1	156.24	81.695	0.0120	Anlamlı
C-(f_{cc})	3.92	1	3.9200	2.0497	0.2886	Anlamsız
D-(k_k)	21.66	1	21.660	11.326	0.0781	Anlamlı
E-(i_A)	20.48	1	20.480	10.709	0.0821	Anlamlı
F-(KM)	37.00	1	37.002	19.347	0.0480	Anlamlı
AB	31.04	1	31.041	16.231	0.0564	Anlamlı
AC	5.78	1	5.7800	3.0222	0.2243	Anlamsız
BD	16.01	1	16.007	8.3695	0.1016	Anlamsız
BF	46.482	1	46.482	24.304	0.0388	Anlamlı
Artık	3.8250	2	1.9125			
Toplam	473.50	12				

2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarımlara ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de ABD, ABF, AC, BF ve AD'nin etkileri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 'de AD, AF, C'nin etkilerinin anlamsız düzeyde kaldığı görülmektedir. Elde edilen tepki fonksiyonlarında $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 'de etki düzeyi anlamsız olarak bulunan C değişkeni hiyerarşi (etkidüzeni) nedeniyle denkleme ilave edildi.

Her iki tasarım beraber düşünüldüğünde 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarıma göre yeniden belirlenen etki değişkenlerinin değişim aralıklarının yeterli olmadığı görülmektedir. Tepki değişkeni üzerinde ana ve iki etkileşimli etkilerin etki düzeylerinin anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Seçilen 2^{6-2} kısmî faktöriyel tasarımda AB, AC, AD, AE, AF, BD ve BF gibi iki etkileşimli etkiler modelde dikkate alınırken BC, BE, CD, CE, CF, DE, DF ve EF gibi iki etkileşimli etkiler hatâ olarak dikkate alınmaktadır. Her iki tasarımda da iki etkileşimli etkilerin anlamlı düzeyde etkiye sahip olmaları seçilen modelin taze beton özellikleri için yetersiz olabileceğini göstermektedir.

Yukarıda belirtilen yetersiz işlenebilirlikler ve tasarımdaki yetersizlikler etkilerin değişim aralıklarının yeniden belirlenmesinin ve bir üst tasarım modelinin kullanılmasının uygun olacağına işaret etmektedir. Yeni tasarım 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarım olarak seçilerek, yeni değişim aralıklarına ait değerler Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22'de verildi.

Çizelge 6.21 2^{6-1} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Tasarım özeti		2^{6-1}							
Çalışma türü		Faktöriyel				Denemeler		35	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel				Bloklar		0	
Merkez noktası		3							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	57	60	-1	1	55	4.59
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	335	350	-1	1	342.5	7.17
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.90
D	k _k	-	Sayısal	5.4	5.6	-1	1	5.50	0.10
E	İA	%	Sayısal	65	70	-1	1	67.50	2.39
F	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.10
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	35	Faktöriyel	4.6	23	15.33	5.91	5
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)				

Çizelge 6.22 2^{6-1} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Tasarım özeti		2^{6-1}							
Çalışma türü		Faktöriyel				Denemeler		35	
Başlangıç tasarım		2 Düzeyli faktöriyel				Bloklar		0	
Merkez noktası		3							
Tasarım modeli		İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	50	55	-1	1	52.5	2.39
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	325	345	-1	1	335	9.56
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.90
D	k _k	-	Sayısal	6.4	6.8	-1	1	6.60	0.19
E	İA	%	Sayısal	48	54	-1	1	51	2.87
F	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.10
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	35	Faktöriyel	1.5	22	11.77	7.05	14.67
Dönüştürücü		-		Model	İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)				

2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarım için Design-Expert bilgisayar programından elde edilen deneme noktaları ve her bir deneme noktasında elde edilen çökme değerleri Çizelge 6.23 ve Çizelge 6.24'de verildi.

Çizelge 6.23 2^{6-1} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	Çökme
					A: S/Ç %	B: Dozaj kg/m ³	C: f_{cc} MPa	D: k_k -	E: İA %	F: KM %	
33	0	15	1	Merkez	58.5	342.5	44.75	5.5	67.5	1.3	22.2
34	0	22	1	Merkez	58.5	342.5	44.75	5.5	67.5	1.3	22.9
35	0	17	1	Merkez	58.5	342.5	44.75	5.5	67.5	1.3	22.2
1	1	21	1	Gerçek	57.0	335.0	34.40	5.4	65.0	1.2	7.0
2	2	19	1	Gerçek	60.0	335.0	34.40	5.4	65.0	1.4	20.8
3	3	29	1	Gerçek	57.0	350.0	34.40	5.4	65.0	1.4	19.7
4	4	6	1	Gerçek	60.0	350.0	34.40	5.4	65.0	1.2	20.3
5	5	13	1	Gerçek	57.0	335.0	55.10	5.4	65.0	1.4	17.5
6	6	27	1	Gerçek	60.0	335.0	55.10	5.4	65.0	1.2	18.7
7	7	11	1	Gerçek	57.0	350.0	55.10	5.4	65.0	1.2	19.5
8	8	33	1	Gerçek	60.0	350.0	55.10	5.4	65.0	1.4	23.0
9	9	14	1	Gerçek	57.0	335.0	34.40	5.6	65.0	1.4	7.5
10	10	18	1	Gerçek	60.0	335.0	34.40	5.6	65.0	1.2	8.5
11	11	35	1	Gerçek	57.0	350.0	34.40	5.6	65.0	1.2	7.0
12	12	9	1	Gerçek	60.0	350.0	34.40	5.6	65.0	1.4	16.0
13	13	24	1	Gerçek	57.0	335.0	55.10	5.6	65.0	1.2	6.3
14	14	16	1	Gerçek	60.0	335.0	55.10	5.6	65.0	1.4	20.2
15	15	23	1	Gerçek	57.0	350.0	55.10	5.6	65.0	1.4	17.7
16	16	30	1	Gerçek	60.0	350.0	55.10	5.6	65.0	1.2	17.0
17	17	20	1	Gerçek	57.0	335.0	34.40	5.4	70.0	1.4	6.2
18	18	5	1	Gerçek	60.0	335.0	34.40	5.4	70.0	1.2	8.8
19	19	31	1	Gerçek	57.0	350.0	34.40	5.4	70.0	1.2	13.2
20	20	12	1	Gerçek	60.0	350.0	34.40	5.4	70.0	1.4	21.0
21	21	8	1	Gerçek	57.0	335.0	55.10	5.4	70.0	1.2	4.6
22	22	25	1	Gerçek	60.0	335.0	55.10	5.4	70.0	1.4	19.0
23	23	3	1	Gerçek	57.0	350.0	55.10	5.4	70.0	1.4	17.4
24	24	26	1	Gerçek	60.0	350.0	55.10	5.4	70.0	1.2	17.5
25	25	7	1	Gerçek	57.0	335.0	34.40	5.6	70.0	1.2	5.6
26	26	4	1	Gerçek	60.0	335.0	34.40	5.6	70.0	1.4	16.8
27	27	2	1	Gerçek	57.0	350.0	34.40	5.6	70.0	1.4	13.9
28	28	28	1	Gerçek	60.0	350.0	34.40	5.6	70.0	1.2	19.2
29	29	32	1	Gerçek	57.0	335.0	55.10	5.6	70.0	1.4	7.7
30	30	10	1	Gerçek	60.0	335.0	55.10	5.6	70.0	1.2	17.7
31	31	34	1	Gerçek	57.0	350.0	55.10	5.6	70.0	1.2	11.6
32	32	1	1	Gerçek	60.0	350.0	55.10	5.6	70.0	1.4	22.4

Çizelge 6.24 2^{6-1} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Std	İd	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Faktör	Tepki
					1	2	3	4	5	6	
					A: S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f _{cc} MPa	D: k _k -	E: İA %	F: KM %		Çökme cm
33	0	28	1	Merkez	52.5	335	44.75	6.6	51	1.3	16.5
34	0	31	1	Merkez	52.5	335	44.75	6.6	51	1.3	16.4
35	0	21	1	Merkez	52.5	335	44.75	6.6	51	1.3	17.2
1	1	24	1	Gerçek	50.0	325	34.40	6.4	48	1.2	1.5
2	2	8	1	Gerçek	55.0	325	34.40	6.4	48	1.4	5.8
3	3	33	1	Gerçek	50.0	345	34.40	6.4	48	1.4	2.8
4	4	19	1	Gerçek	55.0	345	34.40	6.4	48	1.2	10.5
5	5	9	1	Gerçek	50.0	325	55.10	6.4	48	1.4	2.2
6	6	6	1	Gerçek	55.0	325	55.10	6.4	48	1.2	6.7
7	7	27	1	Gerçek	50.0	345	55.10	6.4	48	1.2	3.3
8	8	18	1	Gerçek	55.0	345	55.10	6.4	48	1.4	19.2
9	9	11	1	Gerçek	50.0	325	34.40	6.8	48	1.4	3.8
10	10	30	1	Gerçek	55.0	325	34.40	6.8	48	1.2	17.0
11	11	26	1	Gerçek	50.0	345	34.40	6.8	48	1.2	6.8
12	12	12	1	Gerçek	55.0	345	34.40	6.8	48	1.4	20.7
13	13	14	1	Gerçek	50.0	325	55.10	6.8	48	1.2	5.1
14	14	13	1	Gerçek	55.0	325	55.10	6.8	48	1.4	18.9
15	15	1	1	Gerçek	50.0	345	55.10	6.8	48	1.4	19.3
16	16	17	1	Gerçek	55.0	345	55.10	6.8	48	1.2	21.7
17	17	32	1	Gerçek	50.0	325	34.40	6.4	54	1.4	3.7
18	18	16	1	Gerçek	55.0	325	34.40	6.4	54	1.2	8.8
19	19	7	1	Gerçek	50.0	345	34.40	6.4	54	1.2	6.5
20	20	23	1	Gerçek	55.0	345	34.40	6.4	54	1.4	22.0
21	21	25	1	Gerçek	50.0	325	55.10	6.4	54	1.2	3.9
22	22	22	1	Gerçek	55.0	325	55.10	6.4	54	1.4	20.2
23	23	29	1	Gerçek	50.0	345	55.10	6.4	54	1.4	18.0
24	24	15	1	Gerçek	55.0	345	55.10	6.4	54	1.2	20.0
25	25	34	1	Gerçek	50.0	325	34.40	6.8	54	1.2	2.1
26	26	3	1	Gerçek	55.0	325	34.40	6.8	54	1.4	15.0
27	27	2	1	Gerçek	50.0	345	34.40	6.8	54	1.4	6.3
28	28	35	1	Gerçek	55.0	345	34.40	6.8	54	1.2	18.2
29	29	5	1	Gerçek	50.0	325	55.10	6.8	54	1.4	6.2
30	30	20	1	Gerçek	55.0	325	55.10	6.8	54	1.2	15.5
31	31	4	1	Gerçek	50.0	345	55.10	6.8	54	1.2	9.5
32	32	10	1	Gerçek	55.0	345	55.10	6.8	54	1.4	20.8

2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak oluşturulan $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için elde edilen sonuçların pompalanabilir beton için gerekli işlenebilirliği (100 mm-210 mm) 20

deneme noktasında sağladığı görülmektedir. Diğer deneme noktalarında ise elde edilen çökme değerlerinin ortalaması 75.1 mm bulundu. Benzer şekilde $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm’de 17 deneme noktasında uygun işlenebilirlik sağlanmaktadır. Geriye kalan 18 deneme noktasında elde edilen çökme değerlerinin ortalaması ise 53.1 mm bulundu.

2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımlarına göre elde edilen çökme değerleri üzerinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları ($\alpha = 0.10$) dikkate alınarak varyans analiz sonuçları Çizelge 6.25 ve Çizelge 6.26’da görülmektedir.

Çizelge 6.25 2^{6-1} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	1054.3	30	35.142	158.06	0.0007	Anlamlı
A-(S/Ç)	341.26	1	341.26	1534.9	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	217.88	1	217.88	980.01	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	66.990	1	66.990	301.32	0.0004	Anlamlı
D-(k_k)	47.775	1	47.775	214.89	0.0007	Anlamlı
E-(\dot{A})	18.150	1	18.150	81.638	0.0029	Anlamlı
F-(KM)	129.20	1	129.20	581.14	0.0002	Anlamlı
AB	31.403	1	31.403	141.25	0.0013	Anlamlı
AC	0.1128	1	0.1128	0.5074	0.5277	Anlamsız
AD	8.5078	1	8.5078	38.267	0.0085	Anlamlı
AE	12.375	1	12.375	55.663	0.0050	Anlamlı
AF	0.0528	1	0.0528	0.2375	0.6594	Anlamsız
BC	6.7528	1	6.7528	30.373	0.0118	Anlamlı
BD	6.5703	1	6.5703	29.553	0.0122	Anlamlı
BE	8.1003	1	8.1003	36.434	0.0091	Anlamlı
BF	5.0403	1	5.0403	22.671	0.0176	Anlamlı
CD	1.0878	1	1.0878	4.8929	0.1139	Anlamsız
CE	12.375	1	12.375	55.663	0.0050	Anlamlı
CF	0.0028	1	0.0028	0.0127	0.9176	Anlamsız
DE	89.445	1	89.445	402.32	0.0003	Anlamlı
DF	1.0153	1	1.0153	4.5668	0.1222	Anlamsız
EF	4.4253	1	4.4253	19.905	0.0210	Anlamlı
ABC	12.375	1	12.375	55.663	0.0050	Anlamlı
ABD	2.1528	1	2.1528	9.6831	0.0528	Anlamlı
ABF	8.7153	1	8.7153	39.201	0.0082	Anlamlı
ACD	5.3628	1	5.3628	24.121	0.0162	Anlamlı
ACE	6.9378	1	6.9378	31.206	0.0113	Anlamlı
ACF	1.9503	1	1.9503	8.7723	0.0595	Anlamlı

Çizelge 6.25 Devam

ADE	2.1528	1	2.1528	9.6831	0.0528	Anlamlı
ADF	0.8778	1	0.8778	3.9483	0.1411	Anlamsız
AEF	5.2003	1	5.2003	23.390	0.0169	Anlamlı
Eğrisellik	165.50	1	165.50	744.39	0.0001	Anlamlı
Artık	0.6670	3	0.2223			
Uyum yokluğu	0.3403	1	0.3403	2.0835	0.2857	Anlamsız
Salt hatâ	0.3267	2	0.1633			
Toplam	1220.4	34				

Çizelge 6.26 2^{6-1} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III]						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Model	1657.8	28	59.208	149.14	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	800.00	1	800.00	2015.1	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	248.65	1	248.65	626.31	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	108.78	1	108.78	274.01	< 0.0001	Anlamlı
D-(k_k)	83.851	1	83.851	211.21	< 0.0001	Anlamlı
E-(İA)	30.811	1	30.811	77.610	0.0003	Anlamlı
F-(KM)	71.401	1	71.401	179.85	< 0.0001	Anlamlı
AB	0.0450	1	0.0450	0.1134	0.7500	Anlamsız
AC	2.5313	1	2.5313	6.3759	0.0528	Anlamlı
AD	9.4613	1	9.4613	23.832	0.0045	Anlamlı
AE	2.3113	1	2.3113	5.8218	0.0607	Anlamlı
AF	0.0113	1	0.0113	0.0283	0.8729	Anlamsız
BC	9.0313	1	9.0313	22.749	0.0050	Anlamlı
BD	3.0013	1	3.0013	7.5598	0.0403	Anlamlı
BE	0.2113	1	0.2113	0.5321	0.4984	Anlamsız
BF	9.4613	1	9.4613	23.832	0.0045	Anlamlı
CD	0.7200	1	0.7200	1.8136	0.2359	Anlamsız
CF	28.880	1	28.880	72.746	0.0004	Anlamlı
DE	156.65	1	156.65	394.57	< 0.0001	Anlamlı
DF	9.6800	1	9.6800	24.383	0.0043	Anlamlı
EF	1.8050	1	1.8050	4.5466	0.0862	Anlamlı
ABC	20.801	1	20.801	52.396	0.0008	Anlamlı
ABD	13.261	1	13.261	33.404	0.0022	Anlamlı
ABE	1.5313	1	1.5313	3.8571	0.1067	Anlamsız
ABF	8.6113	1	8.6113	21.691	0.0055	Anlamlı
ACD	14.045	1	14.045	35.378	0.0019	Anlamlı
ACF	10.125	1	10.125	25.504	0.0039	Anlamlı
ADF	11.045	1	11.045	27.821	0.0033	Anlamlı

Çizelge 6.26 Devam

AEF	1.1250	1	1.1250	2.8338	0.1531	Anlamsız
Eğrisellik	79.612	1	79.612	200.534	< 0.0001	Anlamlı
Artık	1.9850	5	0.3970			
Uyum yokluğu	1.6050	3	0.5350	2.8158	0.2729	Anlamsız
Salt hatâ	0.3800	2	0.1900			
Toplam	1739.4	34				

2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımda A, B, C, D, E ve F ana etkileri, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF ve EF iki etkileşimli etkiler ve ABC, ABD, ABE, ABF, ACD, ACE, ACF, ADE, ADF, AEF üç etkileşimli etkiler dikkate alındı. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için gerçekleştirilen tersine eleme regresyon ($\alpha = 0.10$) sonucunda AC, AF, CF ve ABE etkilerinin etki düzeyleri anlamsız bulundu ve AC, AF, CF etkidüzensel model oluşturulabilmesi için tepki fonksiyonuna eklendi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için gerçekleştirilen tersine eleme regresyonu ($\alpha = 0.10$) sonucunda ise AF, AB, BE, ABE, CE, ADE ve CD etkilerinin etki düzeyleri anlamsız bulundu ve AB, AF, BE ve CD etkidüzensel model oluşturulabilmesi için tepki fonksiyonuna eklendi.

2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımdan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yaklaşık olarak belirlenen işlevsel bölgede “çökme ve basma dayanımı” tepki değişkenleri üzerinde etki değişkenlerinin değişim aralıklarına uygun 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım (Bölüm 6.4) ve buradan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesi ile elde edilen D-Eniyileme tasarımına ait sonuçlar Bölüm 6.5’te verildi.

6.4 Çökme ve Basma Dayanımı Tepki Yüzeylerinin Belirlenmesi

“Çökme ve basma dayanımı” tepki yüzeylerinin oluşturulması iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım kullanılarak etki değişkenlerinin tepki değişkenleri üzerindeki etki düzeyleri değişken sayısının azaltılması amacıyla araştırıldı. İkinci aşamada gerçek tepki değişkeni modellerinin elde edilmesi amacıyla etki düzeyi düşük terimlerin elenmesi ve eğriselliğin anlamlılığına göre ikinci dereceden terimlerin etki düzeylerinin de belirlenebilmesi için 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım yükseltgenerek D-Çözümleme tasarım gerçekleştirildi.

6.4.1 Faktör Eleme Tasarımı (2^{7-3} Kısmî Faktöriyel Tasarım)

“Çökme ve basma dayanımı” tepki değişkenleri için faktör eleme ve eğriselliğin belirlenmesi aşamasında kontrol edilebilir değişkenlere göre değişimlerinin incelenmesi için 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım kullanıldı. Tasarımda dikkate alınan etki değişkenleri ve değişim aralıkları Çizelge 6.27 ve Çizelge 6.28’de verildi. Etki değişkenlerinin değişim aralıkları, çökme tepki değişkeni üzerinde gerçekleştirilen 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımdan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak belirlendi. Bu tasarımda 3 merkez noktalı 2 tekrarlı deneme noktaları oluşturuldu. Her bir deneme noktasındaki basma dayanımının belirlenebilmesi için 3 adet $150 \times 150 \times 150$ mm küp numunesi olmak üzere her bir tasarım için toplamda 276 (138+138) adet küp numunesi üretildi.

Çizelge 6.27 2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Tasarım özeti			2^{7-3}						
Çalışma türü			Faktöriyel			Denemeler		46	
Başlangıç tasarımı			2 Düzeyli faktöriyel			Bloklar		2	
Merkez noktası			14						
Tasarım modeli			İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)						
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	55	60	-1	1	57.5	2.0851
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.5	6.2554
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	8.6325
D	k _k	-	Sayısal	5.6	5.8	-1	1	5.70	0.0834
E	İA	%	Sayısal	65	68	-1	1	66.50	1.2511
F	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0834
G	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzy =	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	46	Faktöriyel	1.2	23.2	12.1	7.3279	19.333
Dönüştürücü		Karekök		Model		İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)			
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
f _c	Basma dayanımı	MPa	46	Faktöriyel	22.8	44.2	34.2	6.5269	1.9382
Dönüştürücü		-		Model		İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)			

Çizelge 6.28 2^{7-3} tasarım özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Tasarım özeti			2^{7-3}						
Çalışma türü			Faktöriyel			Denemeler		46	
Başlangıç tasarımı			2 Düzeyli faktöriyel			Bloklar		2	
Merkez noktası			12						
Tasarım modeli			İndirgenmiş üç faktör etkileşimi (İ3FE)						
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	50	55	-1	1	52.39	2.1466
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.5	6.4480
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	45.2	8.8868
D	k _k	-	Sayısal	6.6	6.8	-1	1	6.7	0.0860
E	iA	%	Sayısal	48	54	-1	1	51.0	2.5792
F	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0859
G	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzyen =	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	46	Faktöriyel	3.8	21.7	13.9	6.3783	5.7105
Dönüştürücü		-		Model		İndirgenmiş iki faktör etkileşimi (İ2FE)			
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
f _c	Basma dayanımı	MPa	46	Faktöriyel	28.4	53.9	41.0	7.6432	1.8948
Dönüştürücü		Doğal logaritma		Model		İndirgenmiş ana etkiler			

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımda A, B, C, D, E, F, G ana terimler, AB, AC, AD, AE, AF, AG, BD iki etkileşimli terimler ve ABD üç etkileşimli terimin tepki değişkeni üzerindeki etki düzeyleri araştırıldı. 2^{7-3} tasarımında tasarım üreteçleri, $E = +ABC$, $F = +BCD$, $G = +ACD$ ve tanımlı bağıntı $I = ABCE = ABFG = ACDG = ADEF = BCDF = BDEG = CEF$ olarak seçildi. İncelenen terimlerin eşdeğer faktöriyel terimleri Çizelge 6.29'da verildi.

Çizelge 6.29 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımda eşdeğer terimler

Tahminî terimler	Eşdeğer terimler ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)	Eşdeğer terimler ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)
Kesişim	Kesişim	Kesişim
Blok	Blok	Blok+0.00811·ABF+0.8881·ACD+0.0081·BDE+0.0081·CEF
A	A+BCE+BFG+CDG+DEF	A+BCE+BFG+CDG+DEF
B	B+ACE+AFG+CDF+DEG	B+0.0112·ABF+0.0112·ACD+ACE+AFG+0.0112·BDE+CDF+0.0112·CEF+DEG
C	C+ABE+ADG+BDF+EFG	C+ABE+ADG+BDF+EFG
D	D+ACG+AEF+BCF+BEG	D-0.0112·ABF-0.0112·ACD+ACG+AEF+BCF-0.0112·BDE+BEG-0.0112·CEF

Çizelge 6.29 Devam

E	E+ABC+ADF+BDG+CFG	E+ABC-0.0112·ABF-0.0112·ACD+ADF-0.0112·BDE+BDG-0.0112·CEF+CFG
F	F+ABG+ADE+BCD+CEG	F+ABG+ADE+BCD+CEG
G	G+0.696·ABF+0.696·ACD+0.696·BDE+0.696·CEF	G+0.735·ABF+0.735·ACD+0.735·BDE+0.735·CEF
AB	AB+CE+FG	AB+CE+FG-0.0112·ABF-0.0112·ACD-0.0112·BDE-0.0112·CEF
AC	AC+BE+DG	AC+BE+DG
AD	AD+CG+EF	AD+CG+EF+0.0112·ABF+0.0112·ACD+0.0112·BDE+0.0112·CEF
AE	AE+BC+DF	AE+BC+DF+0.0112·ABF+0.0112·ACD+0.0112·BDE+0.0112·CEF
AF	AF+BG+DE	AF+BG+DE
AG	AG+BF+CD	AG+BF+CD-0.0112·ABF-0.0112·ACD-0.0112·BDE-0.0112·CEF
BD	BD+CF+EG	BD+CF+EG
ABD	ABD+ACF+AEG+BCG+BEF+CDE+DFG	ABD+ACF+AEG+BCG+BEF+CDE+DFG

Eleme deneyleri kapsamında kontrol edilebilir değişkenlerin Çizelge 6.27 ve Çizelge 6.28’de verilen değişim aralıkları dikkate alınarak oluşturulan 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarıma ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen deneme noktaları ve her bir deneme noktasında elde edilen çökme ve basma dayanımı değerleri Çizelge 6.30 ve Çizelge 6.31’de verildi.

Çizelge 6.30 2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör							Tepki	
					1	2	3	4	5	6	7	Çökme	Basma dayanımı
					A:S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f _{cc} MPa	D: k _k -	E: İA %	F:KM %	G: AT Tür			Ç	f_{c}
21	0	3	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	20.0	38.76
20	0	7	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	7.7	36.17
19	0	13	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	19.7	38.12
22	0	15	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	7.2	36.06
17	0	16	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	18.7	38.45
18	0	17	1	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	7.0	35.19
4	4	1	1	Gerçek	60.0	345.0	34.40	5.6	65.0	1.4	Bazalt	16.2	23.37
16	16	2	1	Gerçek	60.0	345.0	55.10	5.8	68.0	1.4	Bazalt	18.5	37.17
14	14	4	1	Gerçek	60.0	330.0	55.10	5.8	65.0	1.2	Bazalt	7.3	37.58

Çizelge 6.30 Devam

11	11	5	1	Gerçek	55.0	345.0	34.40	5.8	68.0	1.2	Bazalt	3.1	27.56
12	12	6	1	Gerçek	60.0	345.0	34.40	5.8	65.0	1.2	Kalker	20.9	22.86
1	1	8	1	Gerçek	55.0	330.0	34.40	5.6	65.0	1.2	Kalker	5.7	28.59
6	6	9	1	Gerçek	60.0	330.0	55.10	5.6	65.0	1.4	Kalker	21.8	39.27
3	3	10	1	Gerçek	55.0	345.0	34.40	5.6	68.0	1.4	Kalker	6.0	30.44
5	5	11	1	Gerçek	55.0	330.0	55.10	5.6	68.0	1.4	Bazalt	2.8	42.47
2	2	12	1	Gerçek	60.0	330.0	34.40	5.6	68.0	1.2	Bazalt	5.3	24.38
8	8	14	1	Gerçek	60.0	345.0	55.10	5.6	68.0	1.2	Kalker	23.2	39.51
7	7	18	1	Gerçek	55.0	345.0	55.10	5.6	65.0	1.2	Bazalt	4.5	39.05
9	9	19	1	Gerçek	55.0	330.0	34.40	5.8	65.0	1.4	Bazalt	2.5	28.49
10	10	20	1	Gerçek	60.0	330.0	34.40	5.8	68.0	1.4	Kalker	16.8	23.57
15	15	21	1	Gerçek	55.0	345.0	55.10	5.8	65.0	1.4	Kalker	21.3	42.19
13	13	22	1	Gerçek	55.0	330.0	55.10	5.8	68.0	1.2	Kalker	7.8	42.48
41	0	23	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	21.7	37.84
39	0	25	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	22.3	35.86
40	0	26	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	13.5	32.59
43	0	27	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	22.1	36.66
42	0	29	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	6.8	35.26
44	0	35	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	13.5	33.58
45	0	45	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Kalker	22.0	37.00
46	0	46	2	Merkez	57.5	337.5	44.75	5.7	66.5	1.3	Bazalt	6.7	32.91
34	12	24	2	Gerçek	60.0	345.0	34.40	5.8	65.0	1.2	Kalker	20.7	25.13
32	10	28	2	Gerçek	60.0	330.0	34.40	5.8	68.0	1.4	Kalker	19.7	24.36
36	14	30	2	Gerçek	60.0	330.0	55.10	5.8	65.0	1.2	Bazalt	5.5	39.29
24	2	31	2	Gerçek	60.0	330.0	34.40	5.6	68.0	1.2	Bazalt	5.0	22.8
25	3	32	2	Gerçek	55.0	345.0	34.40	5.6	68.0	1.4	Kalker	10.4	29.34
33	11	33	2	Gerçek	55.0	345.0	34.40	5.8	68.0	1.2	Bazalt	1.2	27.44
27	5	34	2	Gerçek	55.0	330.0	55.10	5.6	68.0	1.4	Bazalt	2.5	42.17
26	4	36	2	Gerçek	60.0	345.0	34.40	5.6	65.0	1.4	Bazalt	14.5	24.43
29	7	37	2	Gerçek	55.0	345.0	55.10	5.6	65.0	1.2	Bazalt	5.3	38.62
35	13	38	2	Gerçek	55.0	330.0	55.10	5.8	68.0	1.2	Kalker	5.8	43.25
28	6	39	2	Gerçek	60.0	330.0	55.10	5.6	65.0	1.4	Kalker	21.5	42.08
23	1	40	2	Gerçek	55.0	330.0	34.40	5.6	65.0	1.2	Kalker	6.2	28.94
37	15	41	2	Gerçek	55.0	345.0	55.10	5.8	65.0	1.4	Kalker	15.2	44.19
30	8	42	2	Gerçek	60.0	345.0	55.10	5.6	68.0	1.2	Kalker	20.6	41.81
38	16	43	2	Gerçek	60.0	345.0	55.10	5.8	68.0	1.4	Bazalt	8.3	37.68
31	9	44	2	Gerçek	55.0	330.0	34.40	5.8	65.0	1.4	Bazalt	2.7	26.38

Çizelge 6.31 2^{7-3} tasarım deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

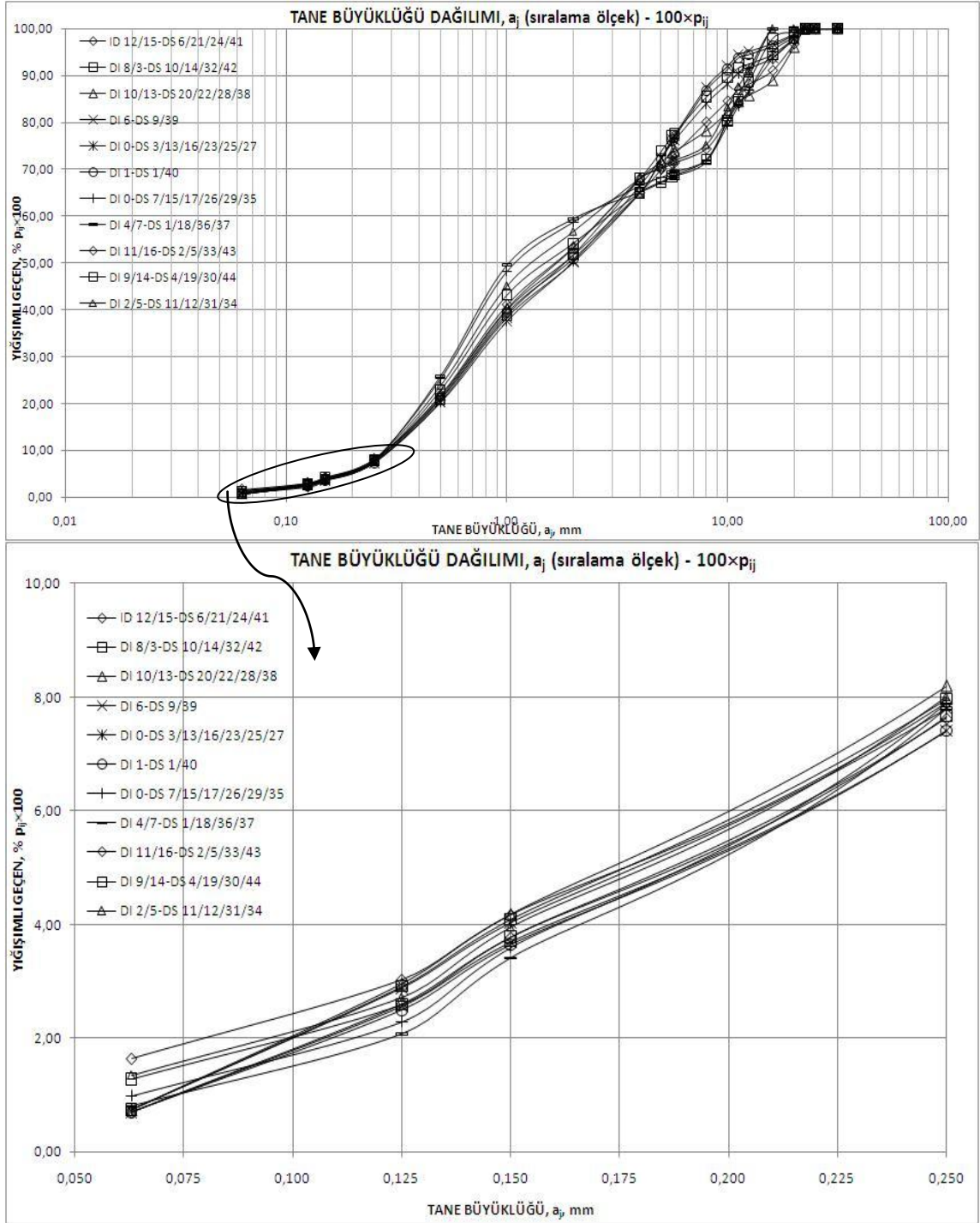
Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör							Tepki	
					1	2	3	4	5	6	7	Çökme	Basma dayanımı
					A:S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f _{cc} MPa	D: k _k -	E: İA %	F: KM %	G: AT Tür	Ç cm	f _c MPa
19	0	1	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	21.7	42.57
17	0	4	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	19.3	44.59
20	0	6	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	15.0	45.67
21	0	9	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	20.2	42.84
22	0	18	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	15.8	43.68
18	0	19	1	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	17.0	42.88
6	6	2	1	Gerçek	55.0	330.0	55.10	6.6	48	1.4	Kalker	20.8	44.07
14	14	3	1	Gerçek	55.0	330.0	55.10	6.8	48	1.2	Bazalt	8.1	44.37
13	13	5	1	Gerçek	50.0	330.0	55.10	6.8	54	1.2	Kalker	5.7	45.89
10	10	7	1	Gerçek	55.0	330.0	34.40	6.8	54	1.4	Kalker	15.8	29.33
15	15	8	1	Gerçek	50.0	345.0	55.10	6.8	48	1.4	Kalker	20.6	46.40
4	4	10	1	Gerçek	55.0	345.0	34.40	6.6	48	1.4	Bazalt	16.8	29.19
1	1	11	1	Gerçek	50.0	330.0	34.40	6.6	48	1.2	Kalker	5.2	34.22
9	9	12	1	Gerçek	50.0	330.0	34.40	6.8	48	1.4	Bazalt	4.1	33.46
11	11	13	1	Gerçek	50.0	345.0	34.40	6.8	54	1.2	Bazalt	6.8	33.31
7	7	14	1	Gerçek	50.0	345.0	55.10	6.6	48	1.2	Bazalt	4.3	53.11
3	3	15	1	Gerçek	50.0	345.0	34.40	6.6	54	1.4	Kalker	18.8	32.31
2	2	16	1	Gerçek	55.0	330.0	34.40	6.6	54	1.2	Bazalt	7.3	29.63
8	8	17	1	Gerçek	55.0	345.0	55.10	6.6	54	1.2	Kalker	20.5	43.23
5	5	20	1	Gerçek	50.0	330.0	55.10	6.6	54	1.4	Bazalt	3.9	53.87
16	16	21	1	Gerçek	55.0	345.0	55.10	6.8	54	1.4	Bazalt	20.2	47.37
12	12	22	1	Gerçek	55.0	345.0	34.40	6.8	48	1.2	Kalker	18.9	29.00
45	7	45	1	Gerçek	50.0	345.0	55.10	6.6	48	1.2	Bazalt	3.8	52.92
42	0	24	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	17.0	42.92
41	0	25	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	21.3	44.01
43	0	32	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	20.7	42.09
44	0	33	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	19.0	42.55
40	0	39	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Bazalt	18.0	41.75
39	0	41	2	Merkez	52.5	337.5	44.75	6.7	51	1.3	Kalker	20.3	42.62
30	8	23	2	Gerçek	55.0	345.0	55.10	6.6	54	1.2	Kalker	21.5	46.41
38	16	26	2	Gerçek	55.0	345.0	55.10	6.8	54	1.4	Bazalt	18.0	45.54
25	3	27	2	Gerçek	50.0	345.0	34.40	6.6	54	1.4	Kalker	17.0	32.33
27	5	28	2	Gerçek	50.0	330.0	55.10	6.6	54	1.4	Bazalt	4.8	51.57
28	6	29	2	Gerçek	55.0	330.0	55.10	6.6	48	1.4	Kalker	18.2	47.62
23	1	30	2	Gerçek	50.0	330.0	34.40	6.6	48	1.2	Kalker	6.4	33.10
36	14	31	2	Gerçek	55.0	330.0	55.10	6.8	48	1.2	Bazalt	13.2	43.65
31	9	34	2	Gerçek	50.0	330.0	34.40	6.8	48	1.4	Bazalt	3.8	34.53

Çizelge 6.31 Devam

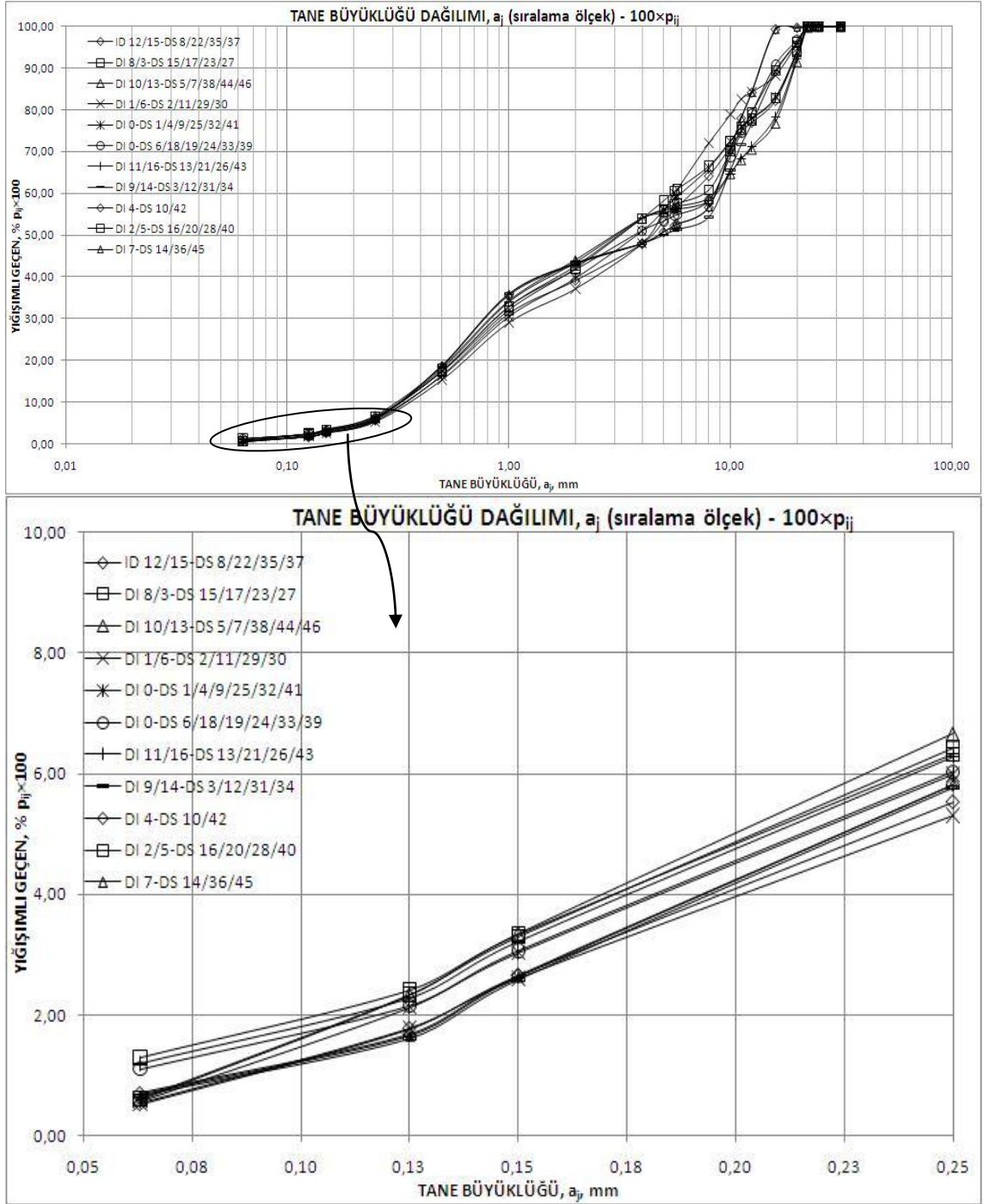
34	12	35	2	Gerçek	55.0	345.0	34.40	6.8	48	1.2	Kalker	21.0	29.06
29	7	36	2	Gerçek	50.0	345.0	55.10	6.6	48	1.2	Bazalt	6.2	48.18
37	15	37	2	Gerçek	50.0	345.0	55.10	6.8	48	1.4	Kalker	17.9	51.11
35	13	38	2	Gerçek	50.0	330.0	55.10	6.8	54	1.2	Kalker	11.2	48.60
24	2	40	2	Gerçek	55.0	330.0	34.40	6.6	54	1.2	Bazalt	5.8	29.75
26	4	42	2	Gerçek	55.0	345.0	34.40	6.6	48	1.4	Bazalt	15.0	32.16
33	11	43	2	Gerçek	50.0	345.0	34.40	6.8	54	1.2	Bazalt	5.8	33.09
32	10	44	2	Gerçek	55.0	330.0	34.40	6.8	54	1.4	Kalker	18.0	28.43
46	13	46	2	Gerçek	50.0	330.0	55.10	6.8	54	1.2	Kalker	10.9	50.22

Çizelge 6.30 incelendiğinde 46 deneme noktasından 23 (bazalt = 18, kalker = 5) deneme noktasında çökme değeri < 100 mm (ortalama çökme değeri 53.4 mm), 7 (kalker = 7) deneme noktasında çökme değeri > 210 mm (ortalama çökme değeri 220.9 mm) ölçüldü. Çizelge 6.31 incelendiğinde ise 46 deneme noktasından 15 (bazalt = 12, kalker = 3) deneme noktasında çökme değeri < 100 mm (ortalama çökme değeri 54.7 mm), 2 (kalker = 2) deneme noktasında çökme değeri > 210 mm (ortalama çökme değeri 216.0 mm) ölçüldü.

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarıma ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen deneme noktalarına (Çizelge 30 ve Çizelge 31) ait karışım agrega tane büyüklüğü dağılımları (0.063 - 0.125 - 0.250 - 0.500 - 1.0 - 2.0 - 4.0 - 5.6 - 8.0 - 11.2 - 16.0 - 22.4 - 31.5 elek takımına göre) $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verildi.



Şekil 6.2 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım deneme noktalarına ait karışım agrega tane büyüklüğü dağılımları ($D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$)



Şekil 6.3 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım deneme noktalarına ait karışım agrega tane büyüklüğü dağılımları ($D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$)

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımdan elde edilen deneme noktalarında gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen çökme ve basma dayanımı değerleri üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak çökme ve basma dayanımına ait varyans analiz sonuçları $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ için

Çizelge 6.32, Çizelge 6.33, $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Çizelge 6.34 ve Çizelge 6.35'te görülmektedir.

Çizelge 6.32 2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Karekök (Çökme), cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0077	1	0.0077			
Model	49.2146	7	7.0307	56.3930	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	16.3803	1	16.3803	131.3860	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	3.7633	1	3.7633	30.1850	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	0.9875	1	0.9875	7.9210	0.0080	Anlamlı
E-(İA)	1.0322	1	1.0322	8.2790	0.0068	Anlamlı
F-(KM)	2.0528	1	2.0528	16.4651	0.0003	Anlamlı
G-(AT)	15.4403	1	15.4403	123.8460	< 0.0001	Anlamlı
AC	0.4753	1	0.4753	3.8125	0.0589	Anlamlı
Eğrisellik	4.4871	2	2.2435	17.9952	< 0.0001	Anlamlı
Artık	4.3636	35	0.1247			
Uyum yokluğu	3.1823	25	0.1273	1.0776	0.4753	Anlamsız
Salt hatâ	1.1813	10	0.1181			
Toplam	58.0729	45				

Çizelge 6.33 2^{7-3} tasarımı basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Basma Dayanımı (MPa)						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0042	1	0.0042			
Model	1843.3178	10	184.3318	140.3351	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	99.0880	1	99.0880	75.4375	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	1663.6354	1	1663.6354	1266.5559	< 0.0001	Anlamlı
D-(k_k)	1.8288	1	1.8288	1.3923	0.2467	Anlamsız
E-(İA)	1.1138	1	1.1138	0.8479	0.3640	Anlamsız
F-(KM)	2.1580	1	2.1580	1.6429	0.2091	Anlamsız
G-(AT)	26.5174	1	26.5174	20.1882	< 0.0001	Anlamlı
AC	8.2520	1	8.2520	6.2824	0.0175	Anlamlı
AD	4.7818	1	4.7818	3.6405	0.0654	Anlamlı
AE	4.0827	1	4.0827	3.1082	0.0874	Anlamlı
AF	3.8990	1	3.8990	2.9684	0.0946	Anlamlı
Eğrisellik	74.2775	2	37.1387	28.2744	< 0.0001	Anlamlı
Artık	42.0324	32	1.3135			
Uyum yokluğu	34.9813	22	1.5901	2.2551	0.0918	Anlamsız
Salt hatâ	7.0510	10	0.7051			
Toplam	1959.6318	45				

Çizelge 6.34 2^{7-3} tasarımı çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III], Çökme (cm)						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	9.0470	1	9.0470			
Model	1414.4864	8	176.8108	78.8318	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	445.1574	1	445.1574	198.4753	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	291.3309	1	291.3309	129.8911	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	27.0722	1	27.0722	12.0703	0.0014	Anlamlı
D-(k_k)	12.3630	1	12.3630	5.5121	0.0248	Anlamlı
F-(KM)	141.5322	1	141.5322	63.1027	< 0.0001	Anlamlı
G-(AT)	443.3740	1	443.3740	197.6802	< 0.0001	Anlamlı
AC	7.4580	1	7.4580	3.3252	0.0770	Anlamlı
AG	7.9950	1	7.9950	3.5646	0.0676	Anlamlı
Eğrisellik	371.6034	2	185.8017	82.8405	< 0.0001	Anlamlı
Artık	76.2581	34	2.2429			
Uyum yokluğu	68.6148	24	2.8589	3.7404	0.0172	Anlamlı
Salt hatâ	7.6433	10	0.7643			
Toplam	1871.348	45				

Çizelge 6.35 2^{7-3} tasarımı basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III], Ln (Basma Dayanımı) (MPa)						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0000	1	0.0000			
Model	1.6052	4	0.4013	337.0490	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	0.1023	1	0.1023	85.9218	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	1.4701	1	1.4701	1234.7648	< 0.0001	Anlamlı
D-(k_k)	0.0050	1	0.0050	4.2172	0.0469	Anlamlı
G-(AT)	0.0090	1	0.0090	7.5445	0.0091	Anlamlı
Eğrisellik	0.1108	2	0.0554	46.5301	< 0.0001	Anlamlı
Artık	0.0452	38	0.0012			
Uyum yokluğu	0.0399	28	0.0014	2.6538	0.0535	Anlamsız
Salt hatâ	0.0054	10	0.0005			
Toplam	1.7612	45				

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme tepki değişkeni üzerinde A, B, C, E, F, G ana terimleri ve AC iki etkileşimli terimin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece A, B, C, E, F, G ana terimlerinin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir ($p(AC) = 0.0589 > 0.05$). $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma tepki değişkeni üzerinde A, C, G ana terimleri ve AC, AD, AE, AF iki

etkileşimli terimlerin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. Varyans analiz sonuçlarına D, E ve F ana terimleri etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece A, C, G ana terimlerinin ve AC iki etkileşimli terimin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. Her iki tepki değişkeni birlikte değerlendirildiğinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde seçilen değişim aralığında D ana etki teriminin anlamlı düzeyde etki oluşturmadığı görülmektedir. Eğriselliğin her iki tepki değişkeni üzerinde anlamlı olması gerçek tepki fonksiyonlarının ikinci derece fonksiyon olabileceğini göstermektedir.

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme tepki değişkeni üzerinde A, B, C, D, F, G ana terimleri ve AC, AG iki etkileşimli terimlerin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece A, B, C, D, F, G ana terimlerin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir ($p(AC) = 0.0770 > 0.05$, $p(AG) = 0.0676 > 0.05$). $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma tepki değişkeni üzerinde A, C, D, G ana terimlerin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde de A, C, D, G ana terimlerin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. Her iki tepki değişkeni birlikte değerlendirildiğinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde E ana etki teriminin anlamlı düzeyde etki oluşturmadığı görülmektedir. Eğriselliğin (ikili etkileşimlerin) her iki tepki değişkeni üzerinde anlamlı olması gerçek tepki fonksiyonlarının (tepki yüzeylerinin eksenlerden farklı doğrultulardaki düzlemlerle arakesitinin) ikinci derece olabileceğini göstermektedir.

6.5 Tepki Modellerinin Elde Edilmesi

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım sonucunda seçilen değişim aralıklarında (Çizelge 6.27 ve Çizelge 6.28) $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için “karışım agrega incelik modülü, k_k ” kontrol edilebilir etki değişkeninin (Çizelge 6.32, Çizelge 6.33) ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için “ince agrega miktarı, İA” kontrol edilebilir etki değişkeninin tepki değişkenleri üzerinde anlamlı etki yapmadığı görülmektedir (Çizelge 6.34, Çizelge 6.35). Her iki tasarımda da eğriselliğin anlamlı olması faktöriyel tasarımın yükseltgenerek ana etkilerin ikinci dereceden terimlerinin tepki değişkenleri üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi gerektirmektedir. Değişim bölgesinde ara değerlere “çimento Standard dayanım, f_{cc} ”

etki değişkeninin sahip olmaması nedeniyle tepki değişkenleri üzerindeki ikinci derece terimin etkisi belirlenememektedir.

6.5.1 Gerçek Tepki Modellerinin Oluşturulması

Gerçek tepki modelinin elde edilebilmesi için minimum deneme noktası sayısı oluşturulabilmesi amacıyla D–Optimal tasarım kullanıldı. D–Optimal tasarımın nokta değişimi seçiminde C^2 terimi dikkate alınmadı. Deneme sayısının azaltılması amacıyla $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de “karışım agrega incelik modülü, k_k ” ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 'de “ince agrega miktarı, \dot{A} ” kontrol edilebilir değişkeninin elenmesi uygun görülmektedir. D–Optimal tasarım A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, A^2 , B^2 , D^2 , E^2 , ABC ve A^2C terimlerinin etki düzeylerinin belirlenebileceği şekilde, 6 kontrol edilebilir değişkene göre 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesiyle elde edildi. D–Optimal tasarımlarda dikkate alınan etki değişkenleri ve bunlara ait harf kodlaması Çizelge 6.36'da görülmektedir. D-Eniyileme tasarım deneme noktaları 6 etki değişkenine göre 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesiyle Design Expert 7.1 bilgisayar programıyla oluşturuldu.

Çizelge 6.36 D-Eniyileme tasarım etki değişkenleri harf kodlaması

$D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$			$D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$		
Sıra no	Faktör	Adı	Sıra no	Faktör	Adı
1	A	Su/Çimento (S/Ç)	1	A	Su/Çimento (S/Ç)
2	B	Dozaj	2	B	Dozaj
3	C	Çimento standard dayanımı (f_{cc})	3	C	Çimento standard dayanımı (f_{cc})
4	D	İnce agrega (\dot{A}) ($P_{a \leq 4.00\ mm}$)	4	D	Karışım agrega incelik modülü (k_k)
5	E	Katkı Maddesi (KM)	5	E	Katkı Maddesi(KM)
6	F	Agrega Türü (AT)	6	F	Agrega Türü (AT)

D-Eniyileme tasarımına ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen ek deneme noktaları ve her bir ek deneme noktasında elde edilen çökme ve basma dayanımı değerleri Çizelge 6.37 ve Çizelge 6.38'de verildi.

Çizelge 6.37 D-Eniyileme tasarım ek deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör						Tepki	
					1	2	3	4	5	6	Çökme	Basma dayanımı
					A:S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f_{cc} MPa	D: İA %	E: KM %	F: AT Tür	Ç cm	f_c MPa
47	17	47	3	-	57.31	330.0	34.4	65.0	1.2	Kalker	7.8	26.56
48	18	48	3	-	60.00	337.5	34.4	65.0	1.2	Kalker	18.8	23.58
49	19	49	3	-	60.00	330.0	34.4	66.5	1.2	Kalker	17.5	23.44
50	20	50	3	-	58.14	335.0	34.4	68.0	1.4	Bazalt	6.6	20.47
51	21	51	3	-	60.00	345.0	55.1	68.0	1.3	Bazalt	20.0	31.85
52	22	52	3	-	55.00	345.0	55.1	66.5	1.4	Bazalt	16.0	35.92
53	23	53	3	-	56.50	335.0	55.1	68.0	1.2	Bazalt	11.0	35.13
54	24	54	3	-	55.00	340.0	55.1	65.0	1.3333	Bazalt	7.5	36.58
55	25	55	3	-	55.00	330.0	55.1	66.5	1.2	Kalker	6.8	39.97
56	26	56	3	-	55.00	345.0	34.4	68.0	1.3	Kalker	8.0	27.02
57	27	57	3	-	57.31	345.0	55.1	65.0	1.4	Kalker	20.0	39.79
58	28	58	3	-	60.00	345.0	34.4	65.0	1.3	Bazalt	18.8	19.86

Çizelge 6.38 D-Eniyileme tasarım ek deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör						Tepki	
					1	2	3	4	5	6	Çökme	Basma dayanımı
					A:S/Ç %	B:Dozaj kg/m ³	C: f_{cc} MPa	D: k_k -	E:KM %	F: AT Tür	Ç cm	f_c MPa
47	17	47	3	-	52.36	330.0	34.4	6.6	1.2	Kalker	9.6	29.03
48	18	48	3	-	55.00	337.5	34.4	6.6	1.2	Kalker	17.8	26.59
49	19	49	3	-	55.00	340.0	55.1	6.7333	1.4	Bazalt	15.4	44.64
50	20	50	3	-	55.00	330.0	55.1	6.8	1.3	Bazalt	7.2	44.48
51	21	51	3	-	51.55	335.0	34.4	6.8	1.4	Bazalt	2.6	29.35
52	22	52	3	-	55.00	345.0	34.4	6.8	1.3	Kalker	18.8	27.91
53	23	53	3	-	52.36	345.0	55.1	6.8	1.2	Bazalt	4.8	47.76
54	24	54	3	-	50.00	330.0	34.4	6.7	1.4	Kalker	5.5	30.22
55	25	55	3	-	50.00	345.0	55.1	6.7	1.2	Bazalt	3.9	50.94
56	26	56	3	-	52.36	345.0	55.1	6.6	1.4	Kalker	19.0	45.02

Çizelge 6.37'de, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de 12 deneme noktasından 5 (bazalt için 2, kalker için 3) deneme noktasında çökme değeri $< 100\ mm$ (ortalama çökme değeri 73.5 mm), Çizelge 6.38'de, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 'de ise 10 deneme noktasından 5 (bazalt için 4, kalker için 1) deneme noktasında çökme değeri $< 100\ mm$ (ortalama çökme değeri 48.0 mm) ölçüldüğü görülmektedir.

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesi ile A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, A^2 , B^2 , D^2 , E^2 , ABC ve A^2C terimleri dikkate alınarak oluşturulan D-Optimal tasarıma (Tasarım 1) ait Design-Expert bilgisayar programından elde edilen çökme ve basma dayanımına ait tasarım özetleri $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla Çizelge 6.39 ve Çizelge 6.40'da verildi.

Çizelge 6.39 Tasarım 1 özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Tasarım özeti			D-Eniyileme						
Çalışma türü			Tepki yüzeyi				Denemeler		58
Başlangıç tasarım			D-Eniyileme, nokta değişimi				Bloklar		3
Tasarım modeli			İndirgenmiş küp				Merkez noktası		-
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	55	60	-1	1	57.49	2.0822
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.72	6.2506
C	f_{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.0147
D	iA	%	Sayısal	65	68	-1	1	66.47	1.2609
E	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0831
F	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzy =	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	58	Polinom	1.2	23.2	12.4	6.9993	19.333
Dönüştürücü		Karekök		Model		İndirgenmiş küp			
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
f_c	Basma dayanımı	MPa	58	Polinom	19.9	44.2	33.302	6.8545	2.2251
Dönüştürücü		Karekök		Model		İndirgenmiş küp			

Çizelge 6.40 Tasarım 1 özeti ($D_{en\ büyük} = 22.4$ mm)

Tasarım özeti			D-Eniyileme						
Çalışma türü			Tepki yüzeyi				Denemeler		56
Başlangıç tasarım			D-Eniyileme, nokta değişimi				Bloklar		3
Tasarım modeli			İndirgenmiş küp				Merkez noktası		-
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	S/Ç	%	Sayısal	50	55	-1	1	52.48	2.1168
B	Dozaj	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.63	6.4334
C	f_{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	45.12	9.1668
D	k_k	%	Sayısal	6.6	6.8	-1	1	6.7	0.0856
E	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0865
F	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzy =	2

Çizelge 6.40 Devam

Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	56	Polinom	2.6	21.7	13.3	6.4985	8.3462
Dönüştürücü		Kuvvet		Model		İndirgenmiş kare			
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
f _c	Basma dayanımı	MPa	56	Polinom	26.6	53.9	40.3775	8.0465	2.026
Dönüştürücü		Doğal logaritma		Model		İndirgenmiş kare			

2⁷⁻³ kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesi ile oluşturulan D-Optimal tasarımdan elde edilen deneme noktalarında gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen çökme ve basma dayanımı değerleri (Tasarım 1) üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak varyans analiz sonuçları $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Çizelge 6.41 ve Çizelge 6.42, $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Çizelge 6.43 ve Çizelge 6.44'te görülmektedir.

Çizelge 6.41 Tasarım 1 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Karekök (Çökme), cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.6448	2	0.3224			
Model	59.8640	14	4.2760	32.4811	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	21.8691	1	21.8691	166.1208	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	3.6477	1	3.6477	27.7084	< 0.0001	Anlamlı
C-(f _{cc})	1.1648	1	1.1648	8.8478	0.0049	Anlamlı
D-(İA)	1.2618	1	1.2618	9.5850	0.0035	Anlamlı
E-(KM)	1.7386	1	1.7386	13.2063	0.0008	Anlamlı
F-(AT)	24.5136	1	24.5136	186.2088	< 0.0001	Anlamlı
AB	0.1089	1	0.1089	0.8276	0.3683	Anlamsız
AC	0.7134	1	0.7134	5.4193	0.0249	Anlamlı
BC	0.4033	1	0.4033	3.0632	0.0876	Anlamlı
A ²	0.0358	1	0.0358	0.2721	0.6047	Anlamsız
D ²	0.5914	1	0.5914	4.4925	0.0401	Anlamlı
E ²	0.5840	1	0.5840	4.4363	0.0413	Anlamlı
ABC	2.3253	1	2.3253	17.6637	0.0001	Anlamlı
A ² C	0.4792	1	0.4792	3.6399	0.0634	Anlamlı
Artık	5.3975	41	0.1316			
Uyum yokluğu	4.2162	31	0.1360	1.1513	0.4292	Anlamsız
Salt hatâ	1.1813	10	0.1181			
Toplam	65.9062	57				

Çizelge 6.42 Tasarım 1 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Karekök (Basma Dayanımı), MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	1.3530	2	0.6765			
Model	19.8634	14	1.4188	142.3456	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	1.0398	1	1.0398	104.3210	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	0.0032	1	0.0032	0.3183	0.5757	Anlamsız
C-(f_{cc})	15.9891	1	15.9891	1604.1384	< 0.0001	Anlamlı
D-(İA)	0.1132	1	0.1132	11.3557	0.0016	Anlamlı
E-(KM)	0.0111	1	0.0111	1.1092	0.2984	Anlamsız
F-(AT)	0.4330	1	0.4330	43.4445	< 0.0001	Anlamlı
AB	0.0000	1	0.0000	0.0024	0.9616	Anlamlı
AC	0.1399	1	0.1399	14.0352	0.0006	Anlamlı
AD	0.0153	1	0.0153	1.5324	0.2228	Anlamsız
AE	0.0293	1	0.0293	2.9426	0.0938	Anlamlı
BC	0.0023	1	0.0023	0.2284	0.6352	Anlamsız
A ²	0.1188	1	0.1188	11.9157	0.0013	Anlamlı
D ²	0.0573	1	0.0573	5.7502	0.0211	Anlamlı
ABC	0.1223	1	0.1223	12.2698	0.0011	Anlamlı
Artık	0.4087	41	0.0100			
Uyum yokluğu	0.3583	31	0.0116	2.2955	0.0827	Anlamsız
Salt hatâ	0.0504	10	0.0050			
Toplam	21.6250	57				

Çizelge 6.43 Tasarım 1 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], (Çökme) ^{1.45} , cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama Kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	2064.2326	2	1032.1163			
Model	41062.1455	7	5866.0208	86.0685	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	9770.3904	1	9770.3904	143.3549	< 0.0001	Anlamlı
B-(Dozaj)	7076.6135	1	7076.6135	103.8308	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	678.3595	1	678.3595	9.9532	0.0028	Anlamlı
E-(KM)	3009.2535	1	3009.2535	44.1529	< 0.0001	Anlamlı
F-(AT)	13240.2312	1	13240.2312	194.2658	< 0.0001	Anlamlı
B ²	1220.1047	1	1220.1047	17.9018	0.0001	Anlamlı
E ²	356.4467	1	356.4467	5.2299	0.0269	Anlamlı
Artık	3135.1412	46	68.1552			
Uyum yokluğu	2914.7489	36	80.9652	3.6737	0.0165	Anlamlı
Salt hatâ	220.3923	10	22.0392			
Toplam	46261.5193	55				

Çizelge 6.44 Tasarım 1 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

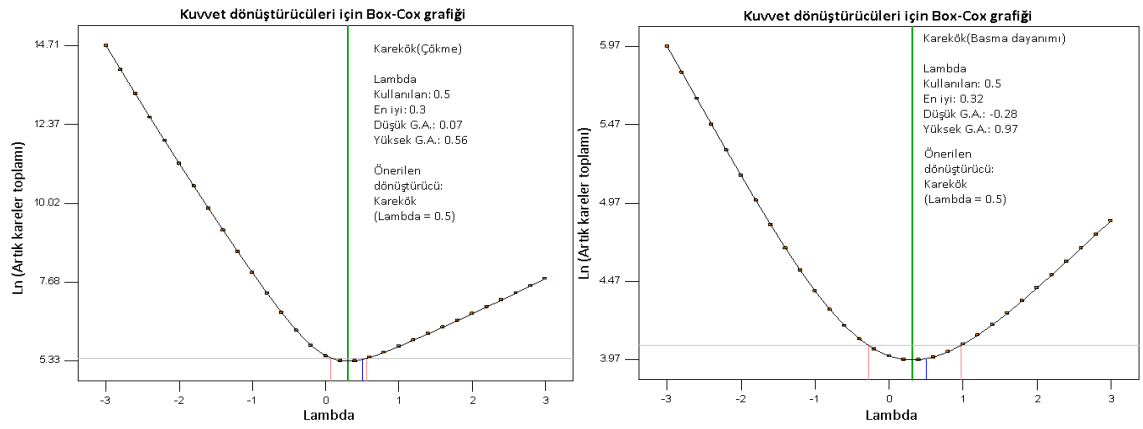
Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III], Ln (Basma Dayanımı), MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0794	2	0.0397			
Model	2.3203	7	0.3315	272.6157	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	0.1149	1	0.1149	94.5246	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	1.9736	1	1.9736	1623.1933	< 0.0001	Anlamlı
D-(k_k)	0.0050	1	0.0050	4.1464	0.0475	Anlamlı
E-(KM)	0.0008	1	0.0008	0.6375	0.4287	Anlamsız
F-(AT)	0.0130	1	0.0130	10.6529	0.0021	Anlamlı
D^2	0.0088	1	0.0088	7.2460	0.0099	Anlamlı
E^2	0.0141	1	0.0141	11.5580	0.0014	Anlamlı
Artık	0.0559	46	0.0012			
Uyum yokluğu	0.0506	36	0.0014	2.6173	0.0536	Anlamsız
Salt hatâ	0.0054	10	0.0005			
Toplam	2.4556	55				

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme (Çizelge 6.41) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, D, E, F ana etki terimleri, AC, BC iki etkileşimli terimler, D^2 , E^2 ikinci derece ana terimleri ve ABC, A^2C üç etkileşimli terimlerinin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise A, B, C, D, E, F ana terimleri, AC iki etkileşimli terimi, D^2 , E^2 ikinci derece ana terimleri ve ABC üç etkileşimli terimin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir ($p(BC) = 0.0876 > 0.05$, $p(A^2C) = 0.0634 > 0.05$). Çökme varyans analiz sonuçlarına AB, A^2 terimleri etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi. $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı (Çizelge 6.42) tepki değişkeni üzerinde A, C, D, F ana terimlerinin, AC, AE iki etkileşimli terimlerin, A^2 , D^2 ikinci derece ana terimlerinin ve ABC üç etkileşimli terimin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde bakıldığında ise sadece AE iki etkileşimli terimin anlamlı katkı oluşturmadığı söylenebilir ($p(AE) = 0.0938 > 0.05$). Basma dayanımı varyans analiz sonuçlarına B, E ana terimleri, AB, AD, BC iki etkileşimli terimler etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

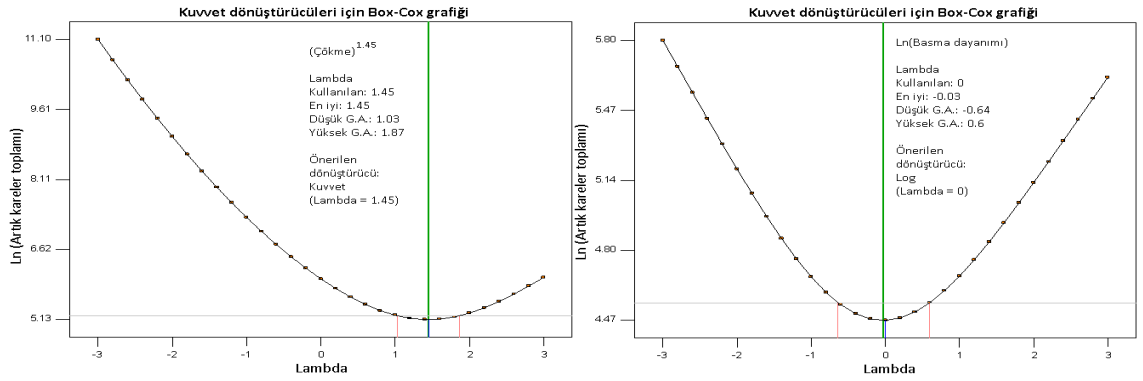
$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme (Çizelge 6.43) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, E, F ana terimleri ve B^2 , E^2 ikinci dereceden ana terimlerin anlamlı etki yaptığı, $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde de aynı terimlerin anlamlı katkı

yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı (Çizelge 6.44) tepki değişkeni üzerinde A, C, D, F ana terimlerin ve D^2 , E^2 ikinci dereceden ana terimlerin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde de aynı terimlerin anlamlı katkı yaptığı görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına E ana terimi etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

Tepki değişkenlerinin modellenmesinde kullanılan dönüştürücüler Box-Cox grafiklerinden elde edilen Lambda değerine göre belirlendi. Box-Cox grafiklerine ait grafikler $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verildi.



Şekil 6.4 Box-Cox grafikleri, Tasarım 1, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



Şekil 6.5 Box-Cox grafikleri, Tasarım 1, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

D-Eniyileme tasarım sonucu Tasarım 1 $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.1), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.2) ve (6.3)'te görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış

değerlere göre (6.4), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.5) ve (6.6)'da verildi.

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } \sqrt{C} &= 3.870246 + 0.748811 \cdot A + 0.324561 \cdot B + 0.584143 \cdot C \\ &+ 0.470276 \cdot D + 0.215926 \cdot E - 0.70406 \cdot F + 0.054211 \cdot AB \\ &- 0.1412 \cdot AC + 0.103025 \cdot BC + 0.088009 \cdot A^2 - 0.38345 \cdot D^2 \\ &- 0.36656 \cdot E^2 - 0.66661 \cdot ABC - 0.39258 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } \sqrt{C} &= 3120.638 - 85.1631 \cdot A - 9.02108 \cdot B - 86.8038 \cdot C \\ &+ 22.97939 \cdot D + 97.46411 \cdot E + 0.156608 \cdot AB \\ &+ 1.851786 \cdot AC + 0.19884 \cdot BC + 0.285666 \cdot A^2 \\ &- 0.17042 \cdot D^2 - 36.6557 \cdot E^2 - 0.00344 \cdot ABC - 0.00607 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } \sqrt{C} &= 3119.23 - 85.1631 \cdot A - 9.02108 \cdot B - 86.8038 \cdot C \\ &+ 22.97939 \cdot D + 97.46411 \cdot E + 0.156608 \cdot AB \\ &+ 1.851786 \cdot AC + 0.19884 \cdot BC + 0.285666 \cdot A^2 \\ &- 0.17042 \cdot D^2 - 36.6557 \cdot E^2 - 0.00344 \cdot ABC - 0.00607 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } \sqrt{f_c} &= 5.864022 - 0.16552 \cdot A - 0.00911 \cdot B + 0.621368 \cdot C - 0.14036 \cdot D + 0.017206 \cdot E \\ &- 0.09339 \cdot F + 0.000809 \cdot AB + 0.061765 \cdot AC - 0.06222 \cdot AD - 0.02973 \cdot AE \\ &+ 0.023241 \cdot BC - 0.15246 \cdot A^2 - 0.10573 \cdot D^2 + 0.15224 \cdot ABC \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } \sqrt{f_c} &= -1017.08 + 15.72386 \cdot A + 2.001499 \cdot B + 15.04576 \cdot C + 7.110392 \cdot D \\ &+ 7.00985 \cdot E - 0.03506 \cdot AB - 0.26238 \cdot AC - 0.01659 \cdot AD \\ &- 0.11892 \cdot AE - 0.04481 \cdot BC - 0.02439 \cdot A^2 - 0.04699 \cdot D^2 \\ &+ 0.000784 \cdot ABC \end{aligned} \quad (6.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } \sqrt{f_c} &= -1017.27 + 15.72386 \cdot A + 2.001499 \cdot B + 15.04576 \cdot C + 7.110392 \cdot D \\ &+ 7.00985 \cdot E - 0.03506 \cdot AB - 0.26238 \cdot AC - 0.01659 \cdot AD \\ &- 0.11892 \cdot AE - 0.04481 \cdot BC - 0.02439 \cdot A^2 - 0.04699 \cdot D^2 \\ &+ 0.000784 \cdot ABC \end{aligned} \quad (6.6)$$

D-Eniyileme tasarım sonucu Tasarım 1 $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}'de$ çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.7), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.8) ve (6.9)'da görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.10), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.11) ve (6.12)'de verildi.

$$\text{Kod değer; } \dot{C}^{1.45} = 63.2609165 + 15.7732938 \cdot A + 13.202615 \cdot B + 3.99433623 \cdot C \quad (6.7)$$

$$+ 8.50905887 \cdot E - 15.5530254 \cdot F - 17.4324102 \cdot B^2 - 9.50096214 \cdot E^2$$

$$\text{Gerçek değer, Kalker; } \dot{C}^{1.45} = -37880.7242 + 6.3093175 \cdot A + 210.949271 \cdot B + 0.38592621 \cdot C \quad (6.8)$$

$$+ 2555.34075 \cdot E - 0.30990951 \cdot B^2 - 950.096214 \cdot E^2$$

$$\text{Gerçek değer, Bazalt; } \dot{C}^{1.45} = -37911.8302 + 6.3093175 \cdot A + 210.949271 \cdot B + 0.38592621 \cdot C \quad (6.9)$$

$$+ 2555.34075 \cdot E - 0.30990951 \cdot B^2 - 950.096214 \cdot E^2$$

$$\text{Kod değer; } \ln(f_c) = 3.738102 - 0.05540991 \cdot A + 0.2143283 \cdot C - 0.01126989 \cdot D \quad (6.10)$$

$$+ 0.0043286 \cdot E + 0.015397 \cdot F - 0.04721296 \cdot D^2 - 0.06096789 \cdot E^2$$

$$\text{Gerçek değer, Kalker; } \ln(f_c) = -217.584101 - 0.02216396 \cdot A + 0.02070805 \cdot C + 63.1526643 \cdot D \quad (6.11)$$

$$+ 15.8949368 \cdot E - 4.72129576 \cdot D^2 - 6.09678877 \cdot E^2$$

$$\text{Gerçek değer, Bazalt; } \ln(f_c) = -217.553307 - 0.02216396 \cdot A + 0.02070805 \cdot C + 63.1526643 \cdot D \quad (6.12)$$

$$+ 15.8949368 \cdot E - 4.72129576 \cdot D^2 - 6.09678877 \cdot E^2$$

D-Eniyileme tasarım sonucu elde edilen deneme noktalarındaki çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait istatistik sonuçlar, $D_{\text{en büyük}} = 11.2$ mm için Çizelge 6.45'te ve $D_{\text{en büyük}} = 22.4$ mm için Çizelge 6.46'da görölmektedir.

Çizelge 6.45 Tasarım 1 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{\text{en büyük}} = 11.2$ mm)

Çökme	Artıkların Standard sapması	0.3628	R^2	0.9173
	Ortalama	3.3492	Ayarlanmış R^2	0.8891
	Değişim katsayısı %	10.8333	Tahmini R^2	0.8037
	Tahmini artık kareler toplamı	12.8132	Uygun kesinlik	19.0952
Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	0.0998	R^2	0.9798
	Ortalama	5.7384	Ayarlanmış R^2	0.9730
	Değişim katsayısı %	1.7398	Tahmini R^2	0.9618
	Tahmini artık kareler toplamı	0.7747	Uygun Kesinlik	39.9781
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.				

Çizelge 6.46 Tsarım 1 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{\text{en büyük}} = 22.4$ mm)

Çökme	Artıkların Standard sapması	8.2556	R^2	0.9291
	Ortalama	46.2495	Ayarlanmış R^2	0.9183
	Değişim katsayısı %	17.8502	Tahmini R^2	0.8941
	Tahmini artık kareler toplamı	4682.1167	Uygun kesinlik	24.7253

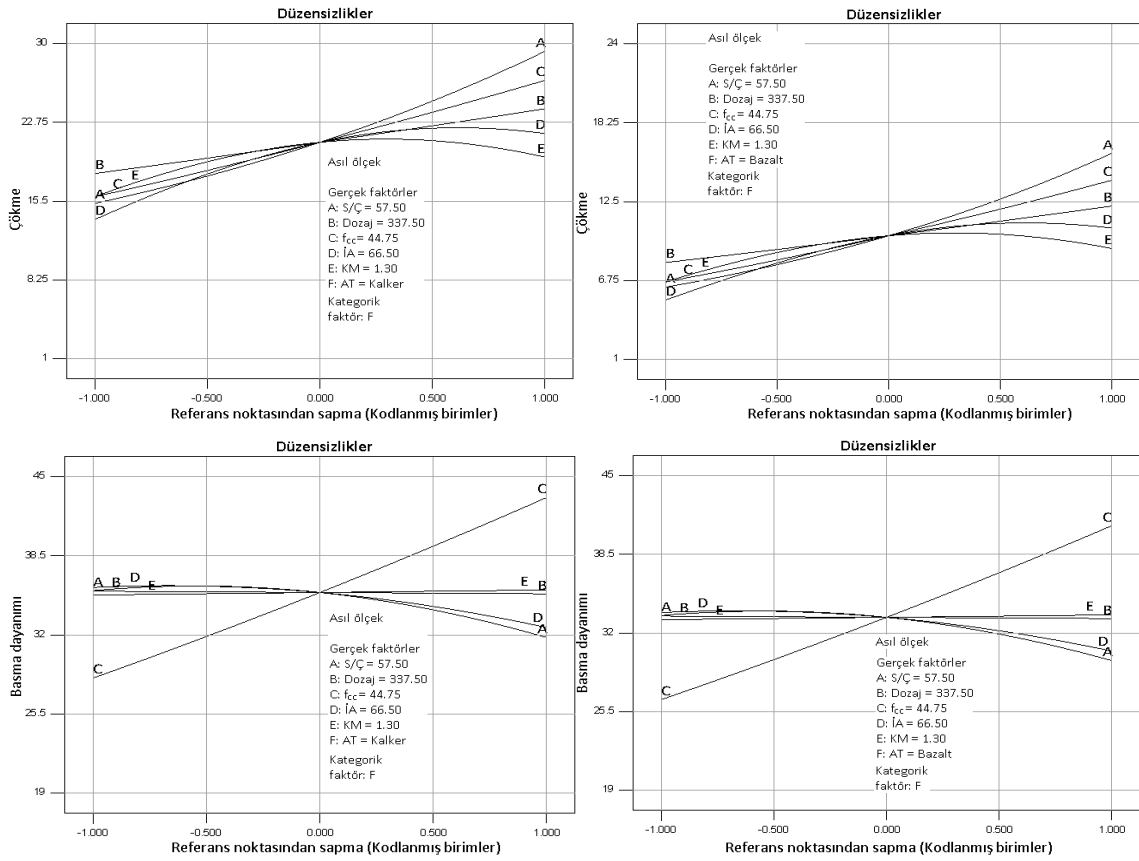
Çizelge 6.46 Devam

Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	0.0349	R^2	0.9765
	Ortalama	3.6771	Ayarlanmış R^2	0.9729
	Değişim katsayısı %	0.9483	Tahmini R^2	0.9651
	Tahmini artık kareler toplamı	0.0829	Uygun Kesinlik	44.4052

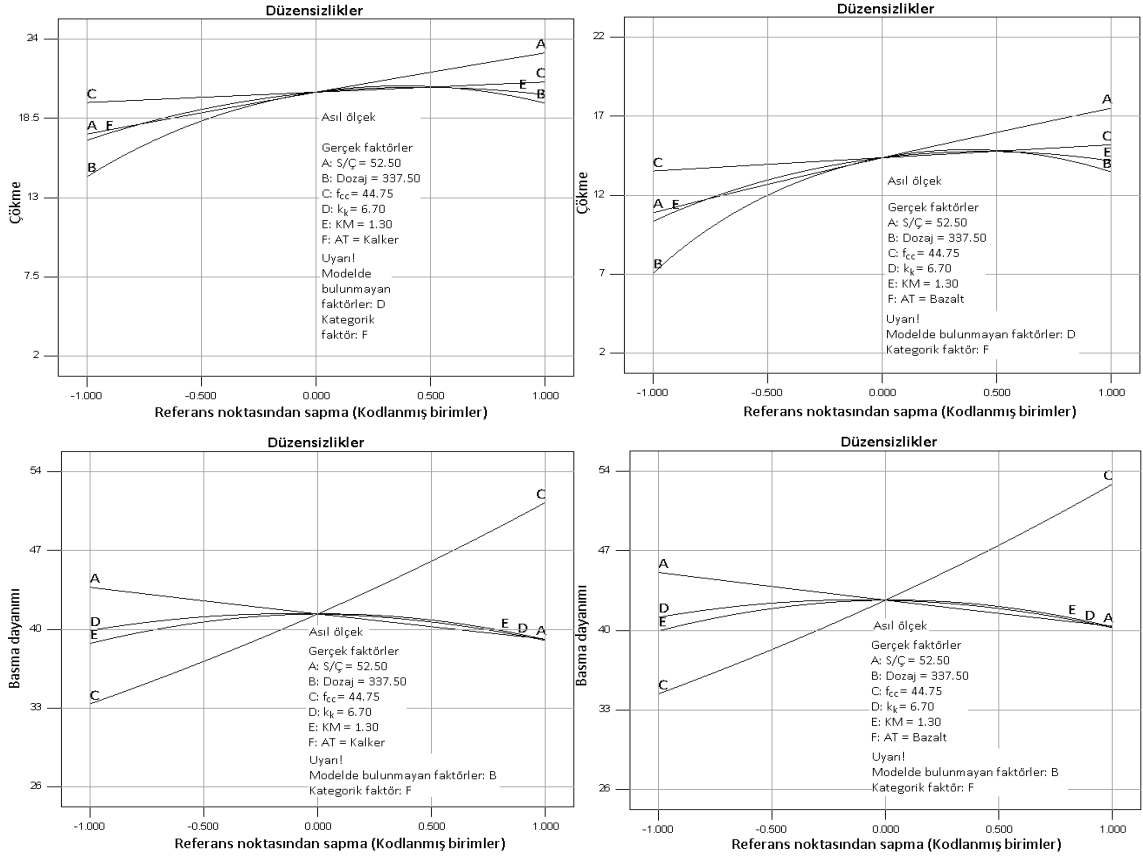
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.

Tasarım 1 tanımlama durum istatistiği değerleri, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için çökme ve basma dayanımlarına ait değerler sırasıyla EK A-1, EK A-2 ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için çökme ve basma dayanımlarına ait değerler sırasıyla EK A-3 ve EK A-4'te verildi.

Tasarım 1 çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait düzensizlik grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de verildi.

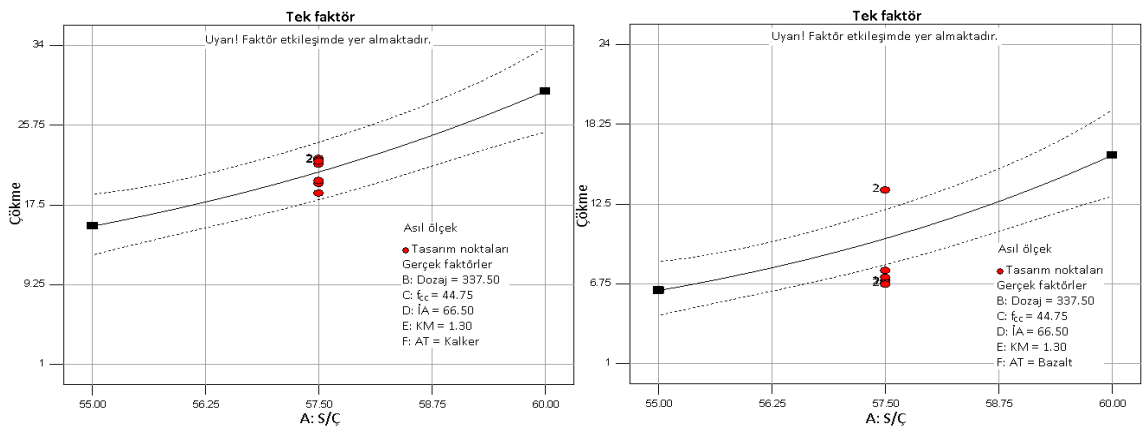


Şekil 6.6 Tasarım 1 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm

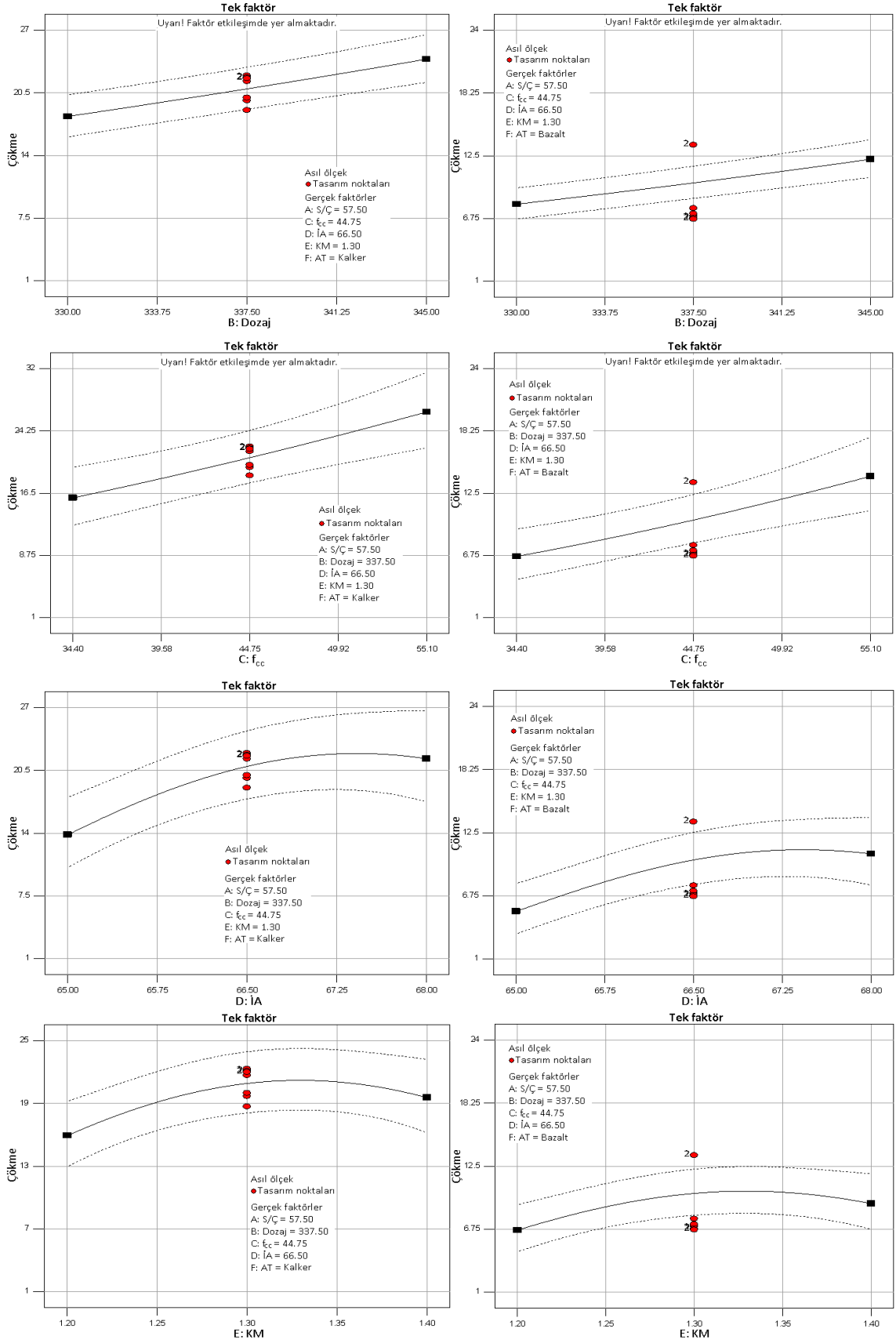


Şekil 6.7 Tasarım 1 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

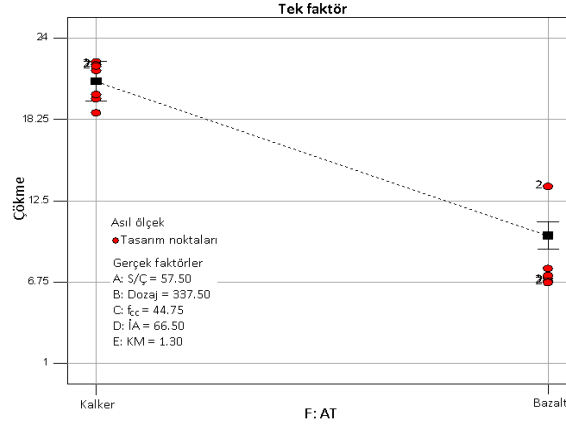
Tasarım 1 sonucu elde edilen çökme tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da, basma dayanımı tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verildi.



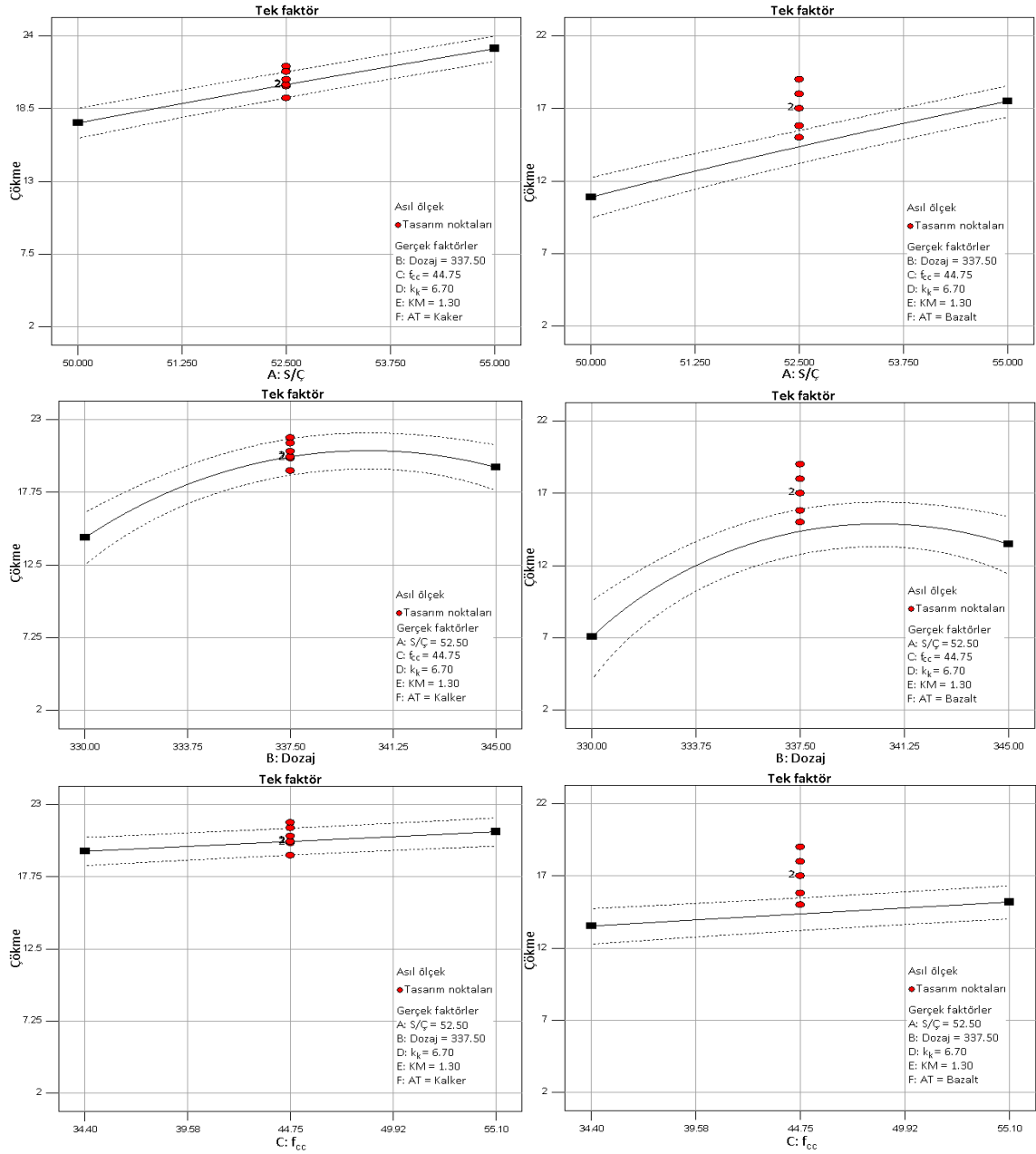
Şekil 6.8 Tasarım 1 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



Şekil 6.8 Devam

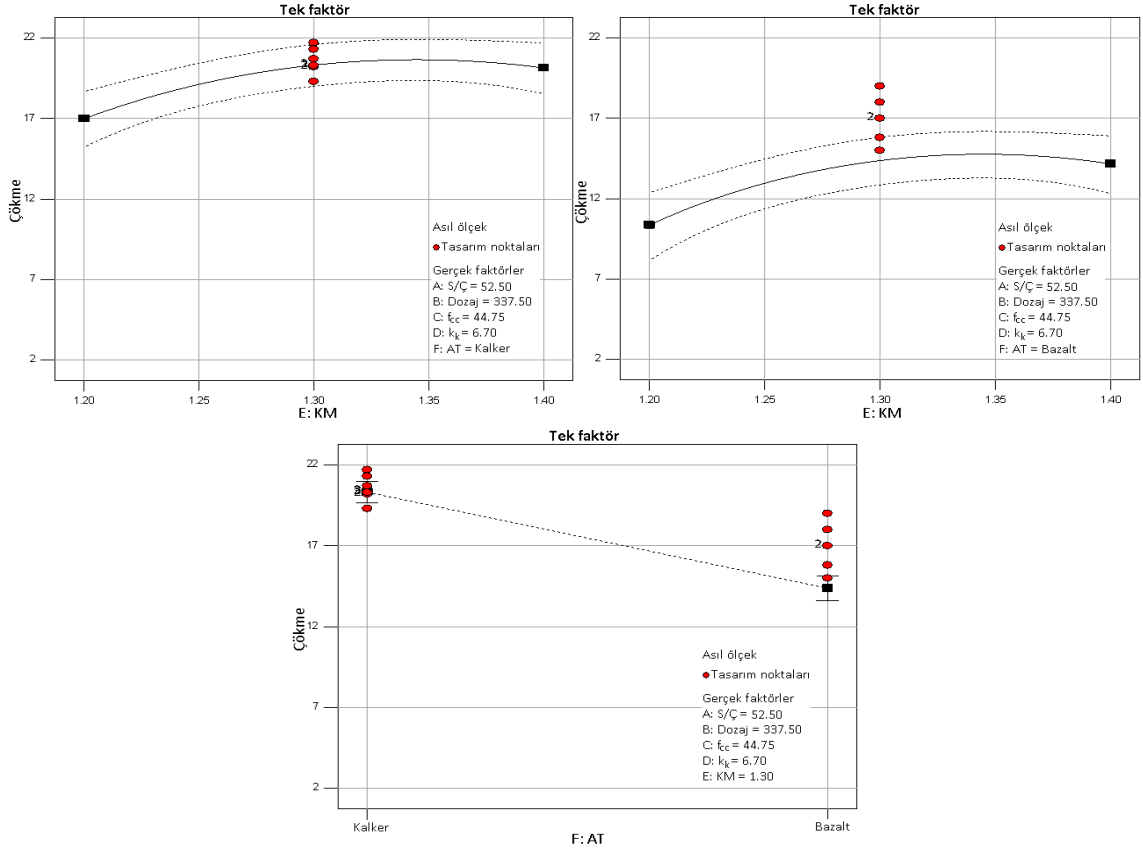


Şekil 6.8 Devam

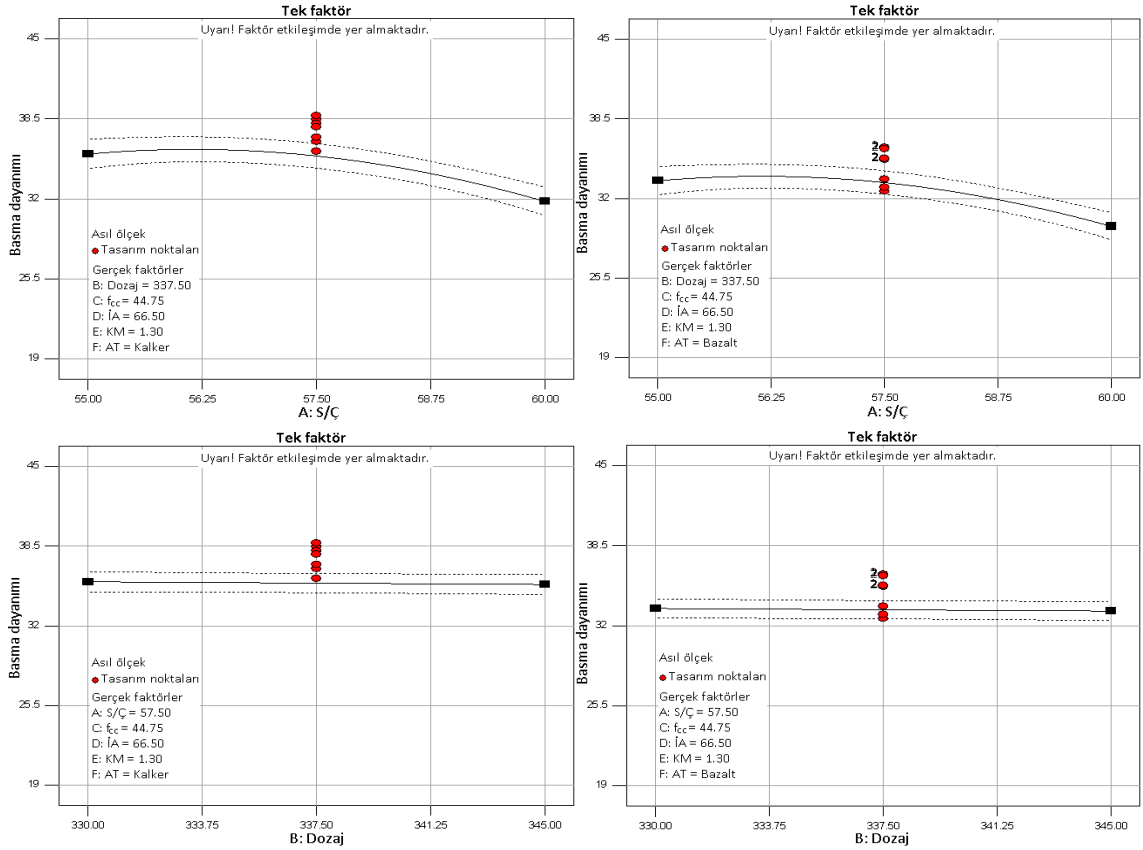


Şekil 6.9 Tasarım 1 çökmenin A, B, C, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri,

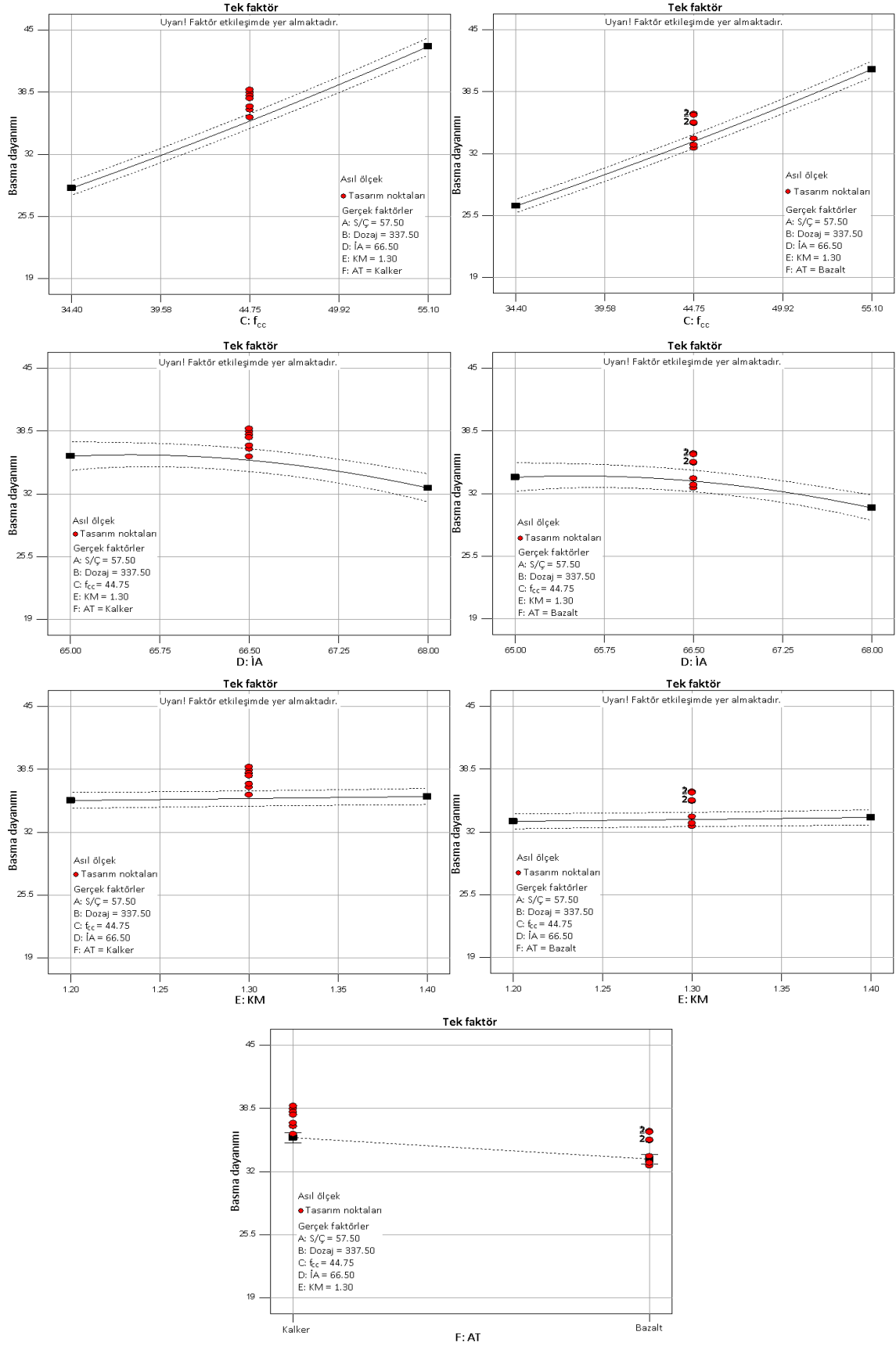
$D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$



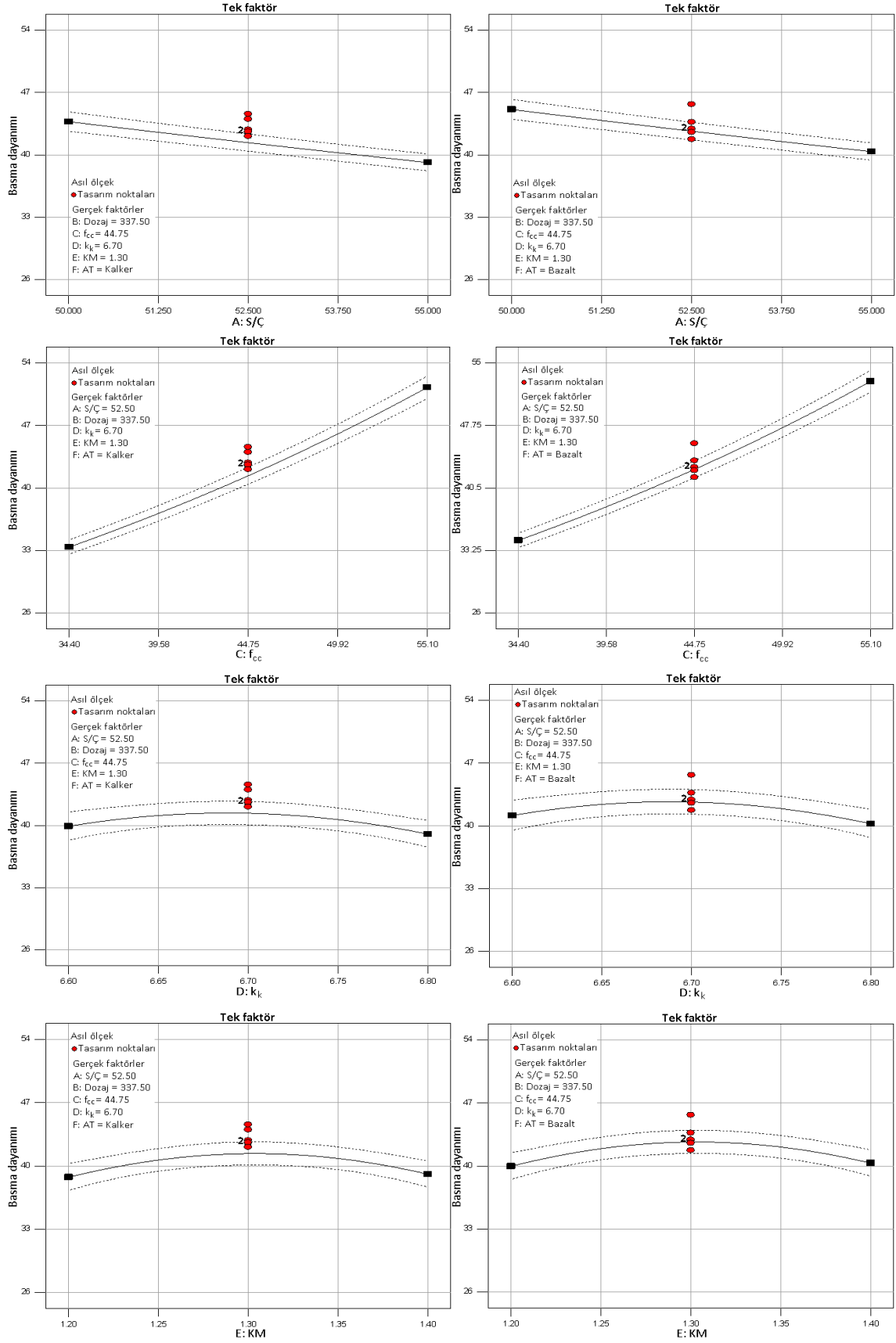
Şekil 6.9 Devam



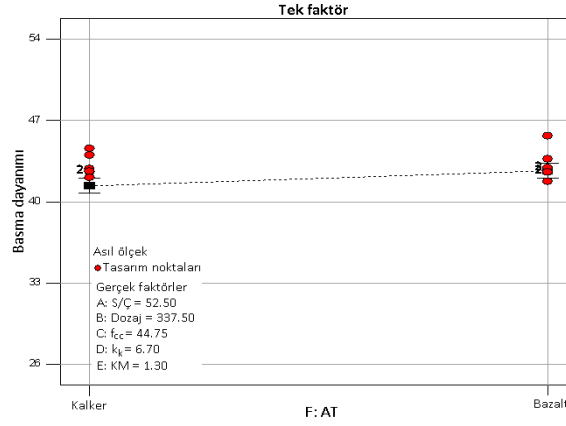
Şekil 6.10 Tasarım 1 basma dayanımının A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$



Şekil 6.10 Devam

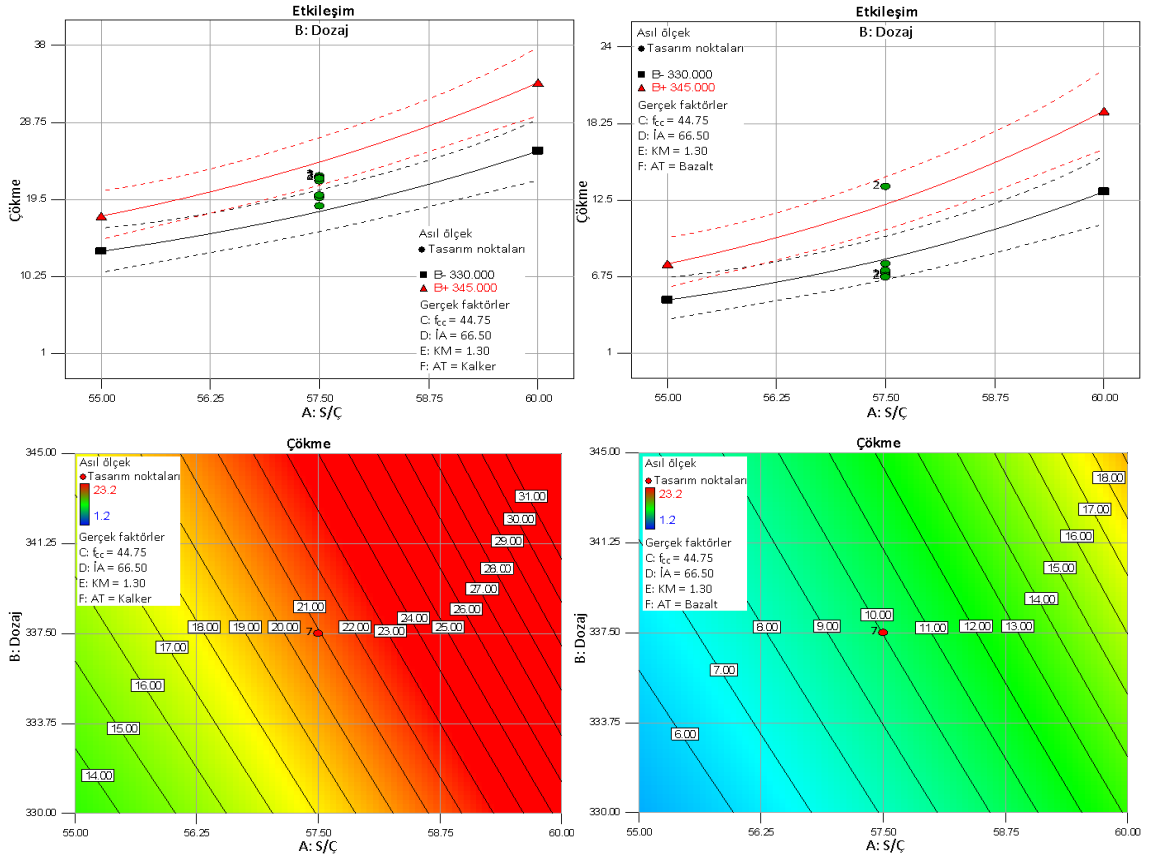


Şekil 6.11 Tasarım 1 basma dayanımının A, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, D_{en} büyük = 22.4 mm

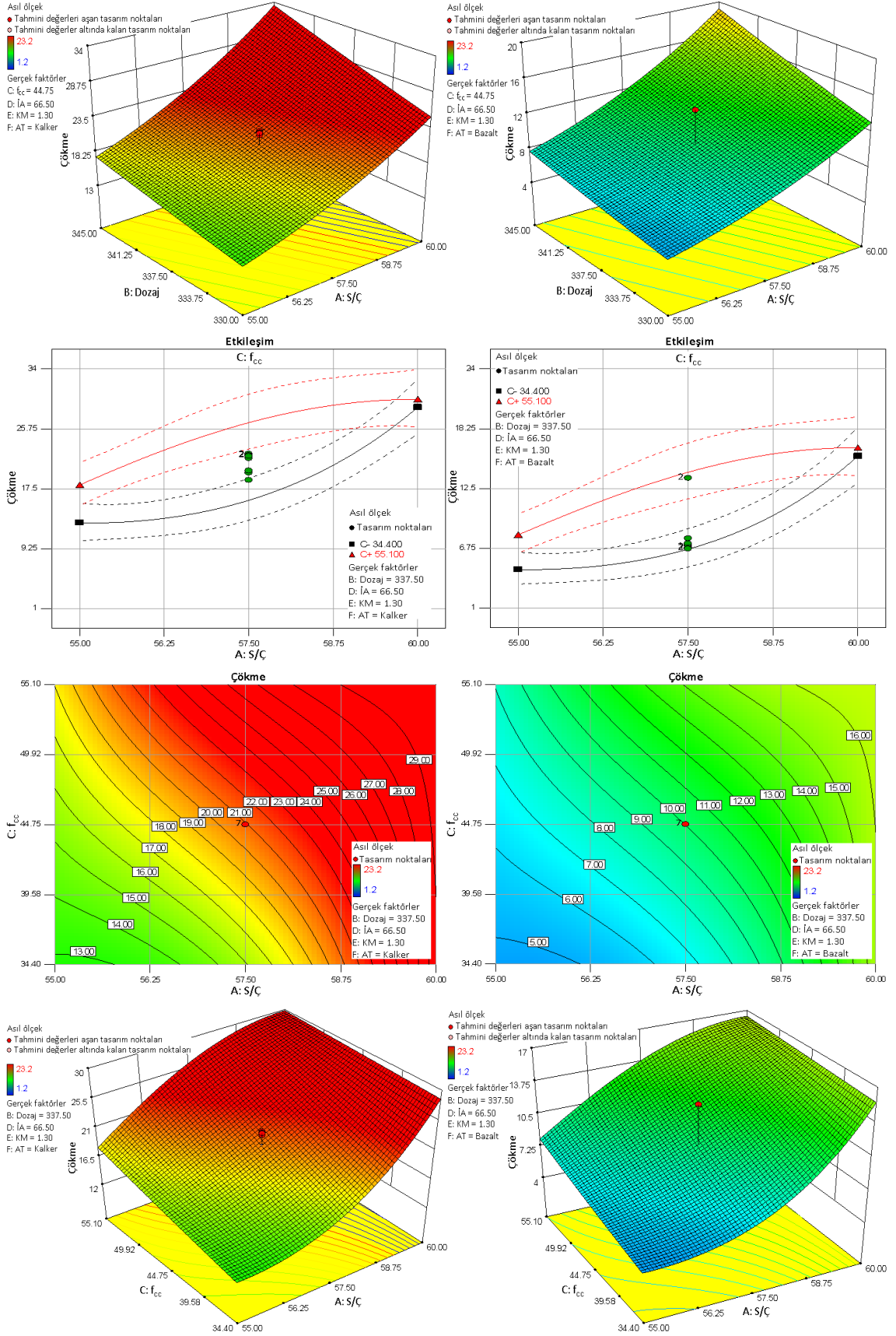


Şekil 6.11 Devam

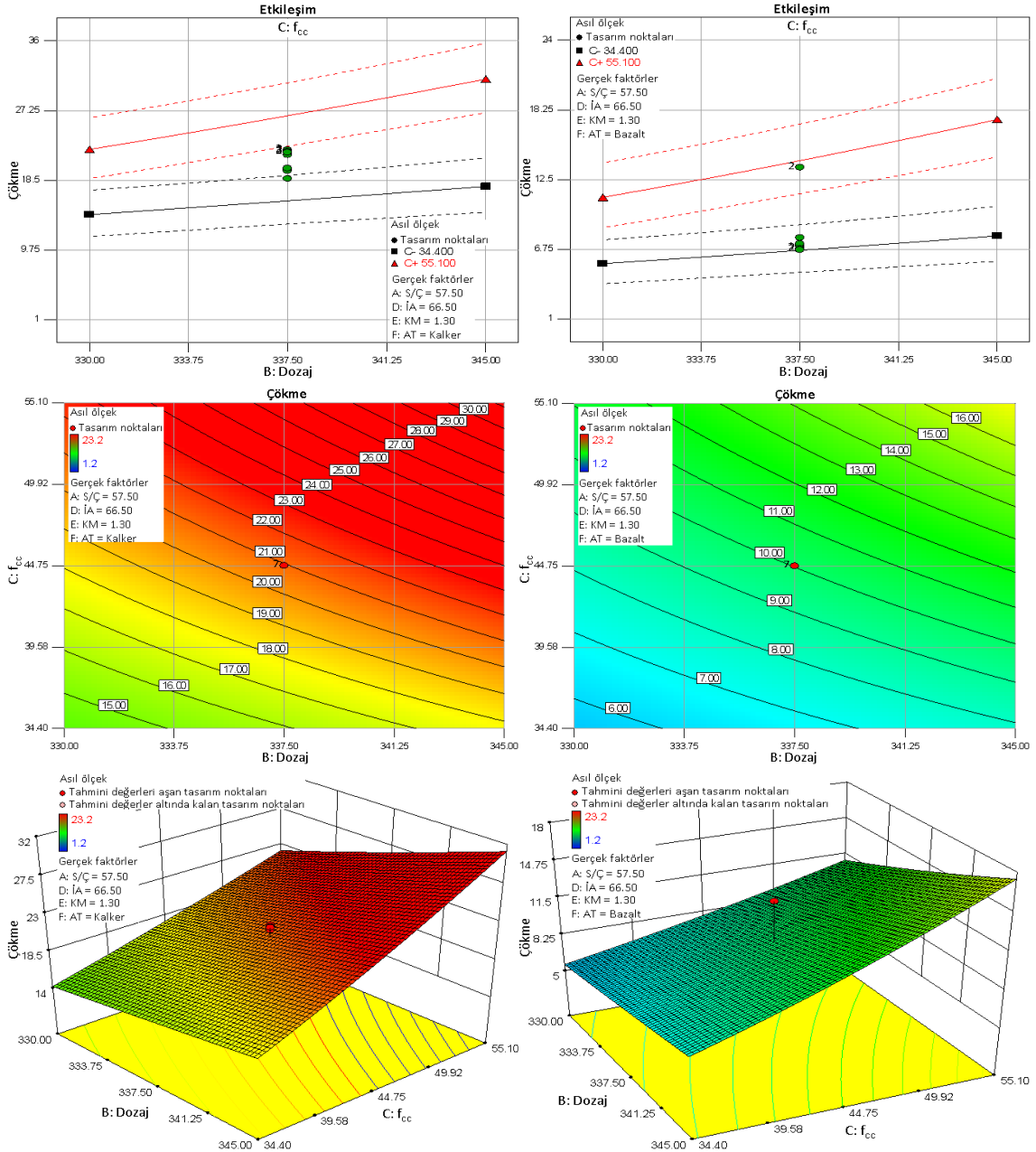
Tasarım 1 sonucu elde edilen çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerinin iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri D_{en} büyük = 11.2 mm için sırasıyla Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verildi. D_{en} büyük = 22.4 mm tasarımlarda iki faktör etkileşimli terimlerin tepki değişkenleri üzerinde anlamlı etkisi bulunmamaktadır.



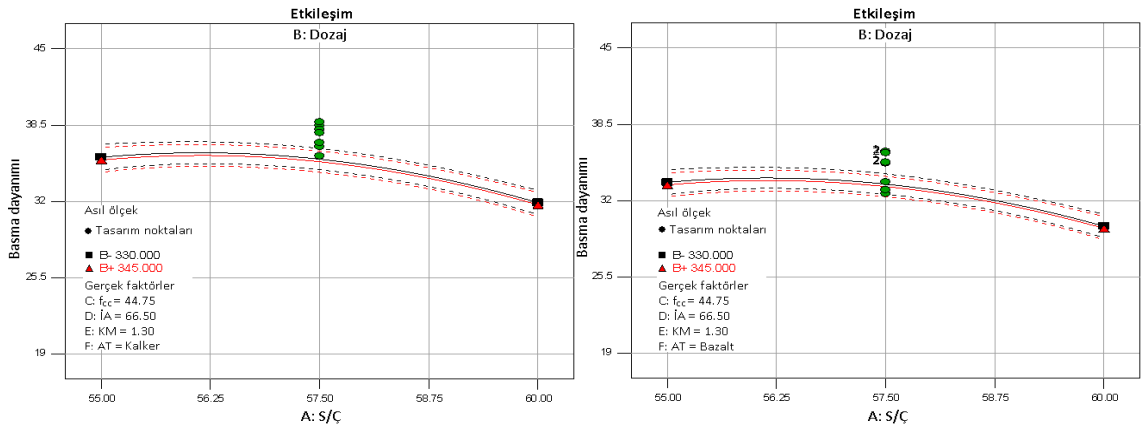
Şekil 6.12 Tasarım 1 çökmenin AB, AC ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, D_{en} büyük = 11.2 mm



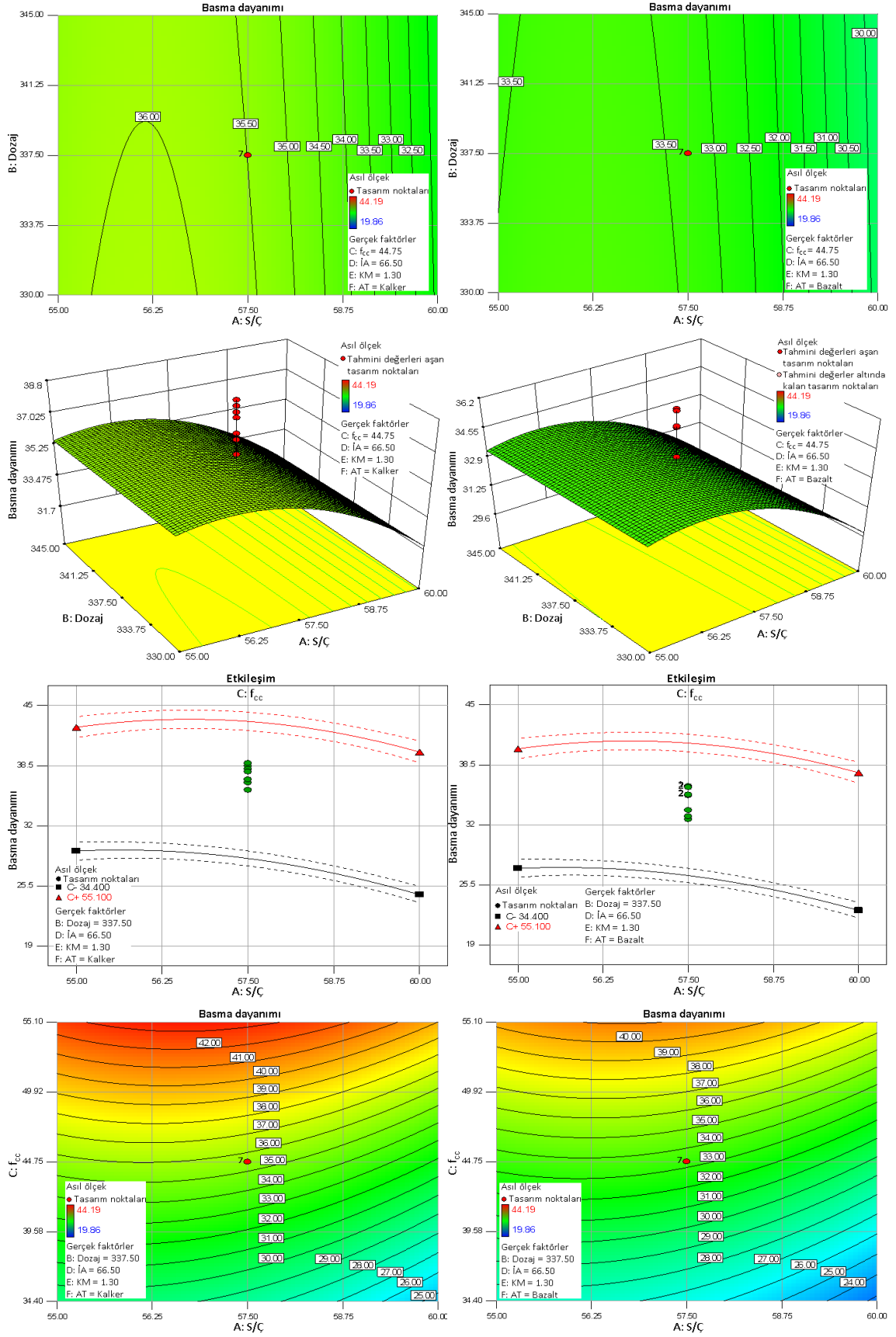
Şekil 6.12 Devam



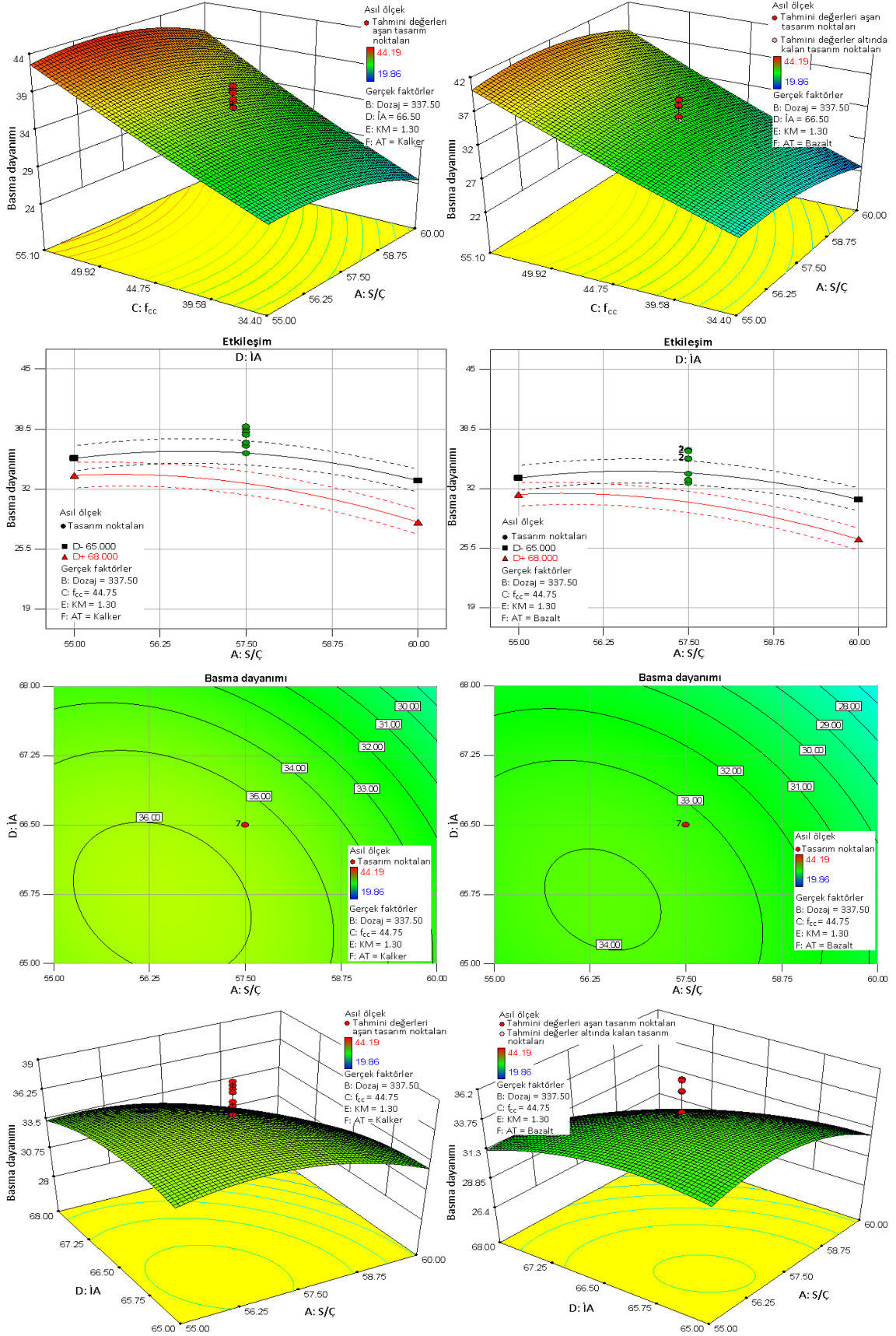
Şekil 6.12 Devam



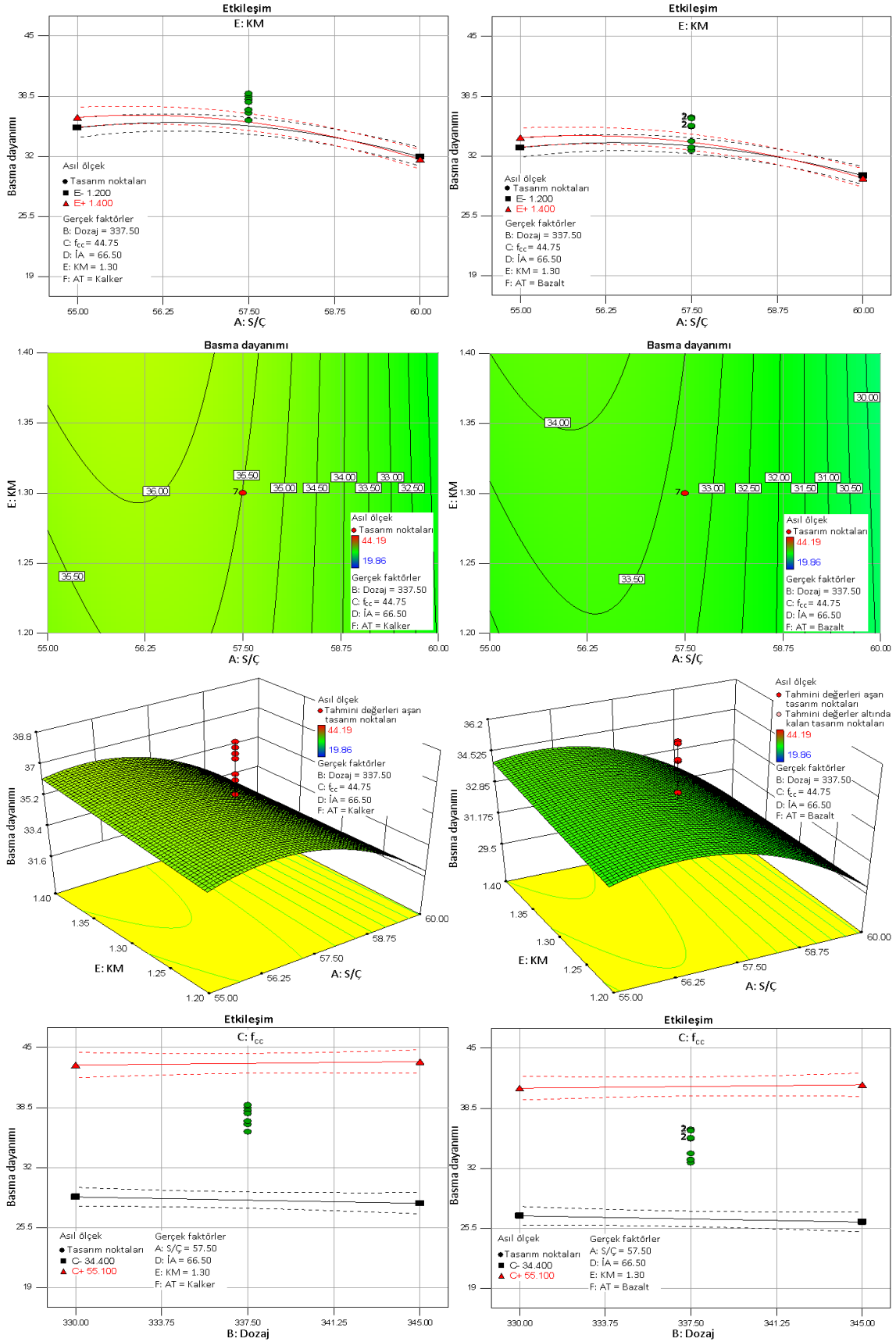
Şekil 6.13 Tasarım 1 basma dayanımının AB, AC, AD, AE ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



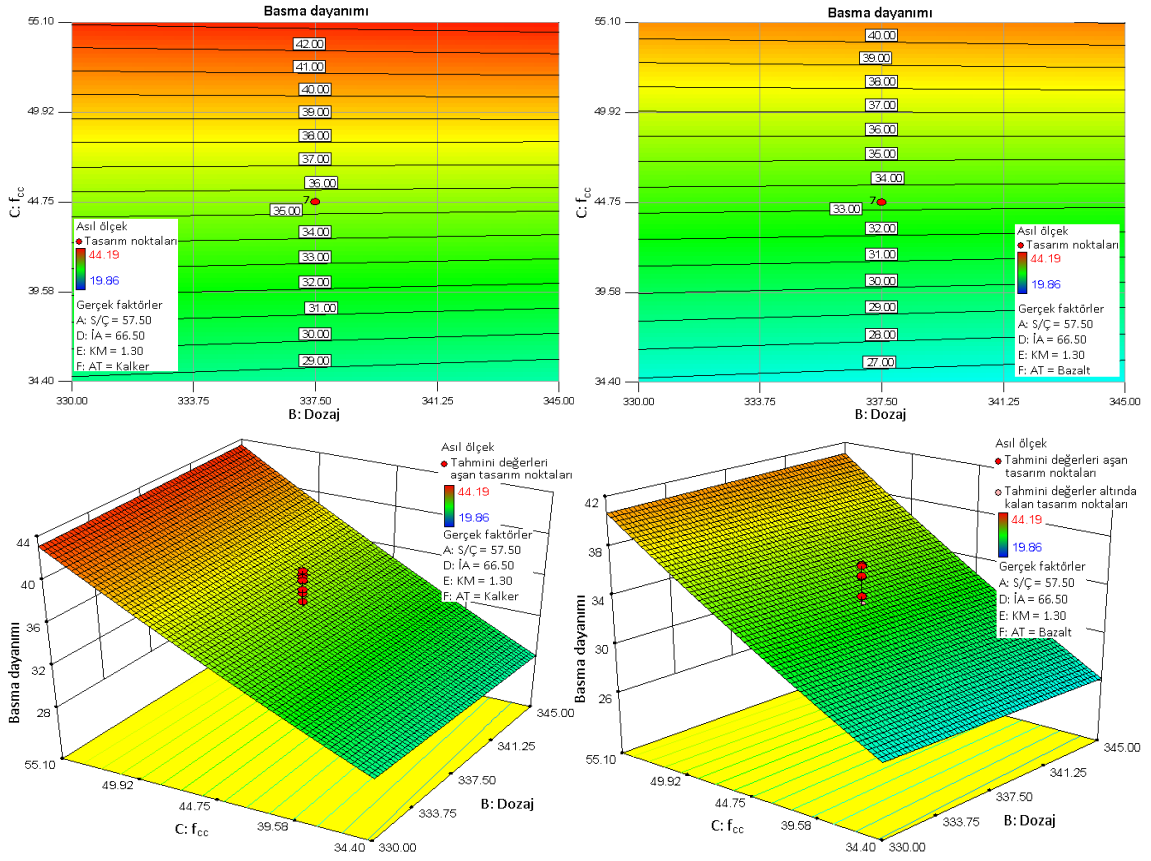
Şekil 6.13 Devam



Şekil 6.13 Devam



Şekil 6.13 Devam



Şekil 6.13 Devam

6.5.2 Farklı Tepki Fonksiyonlarının Oluşturulması

Gerçek tepki fonksiyonları (A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, A^2 , B^2 , D^2 , E^2 , ABC ve A^2C terimleri dikkate alınarak etki düzeyi 0.10 anlamlılık düzeyini sağlayan terimlerden elde edilen), 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesi ile oluşturulan D–Eniyileme tasarıma ait deneme noktaları kullanılarak, farklı terimlerin (eşdeğer oluşturmayacak tüm terimler, sadece doğrudan tepki değişkenlerini etkileyeceği bilinen terimler vb.) ve farklı etki değişkenleri kullanılması ile yeniden oluşturuldu.

Farklı tepki fonksiyonlarının oluşturulmasında dikkate alınan terimler ve bu tasarımlara ait kodlamalar Çizelge 6.47’de verildi.

Çizelge 6.47 Farklı tepki fonksiyonlarına ait tasarım kodlamaları

Den büyük	Dikkate alınan terimler	Tasarım kodları
11.2	A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, A^2 , B^2 , D^2 , E^2 , ABC,	Tasarım 1
22.4	A^2C	
11.2	A, B, C, D, E, F, AC, BE, A^2 , B^2 , D^2 , E^2	Tasarım 2*
22.4		

Çizelge 6.47 Devam

11.2	A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF, A ² , B ² , C ² , ABC, ABE, ACE, ACF	Tasarım 3
22.4	A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF, A ² , B ² , ABC, ABD, ABE	
11.2	A, B, C, D, E, F, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, A ² , B ² , D ² , E ² , ABC,	Tasarım 4**
22.4	A ² C	
*BE terimi basma dayanımı ve çökme değeri, AC terimi sadece basma dayanımı için dikkate alındı. ** Farklı etki değişkeni kullanımı.		

Tasarım 2 için etki değişkenlerinin değişim aralığı ve tepki değişkenlerine ait değerler $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Çizelge 6.39'da ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Çizelge 6.40'da görülmektedir. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm (Tasarım 2) için çökme ve basma dayanımı değerleri üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 6.48 ve Çizelge 6.49'da verildi.

$D_{en\ büyük} = 22.4$ mm (Tasarım 2) için çökme ve basma dayanımı değerleri üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak gerçekleştirilen varyans analizinden elde edilen sonuçlar, tepki değişkenleri üzerinde aynı terimlerin etkin olması nedeniyle Tasarım 1 sonuçlarıyla aynıdır.

Çizelge 6.48 Tasarım 2 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

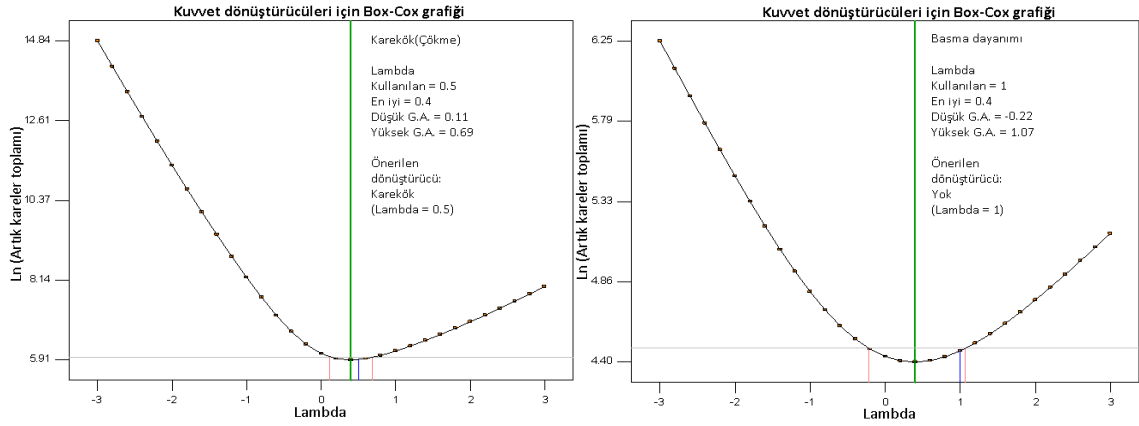
Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Karekök (Çökme), cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.6448	2	0.3224			
Model	55.9215	7	7.9888	41.0561	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	21.9043	1	21.9043	112.5710	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	6.1382	1	6.1382	31.5455	< 0.0001	Anlamlı
C-(f _{cc})	2.2682	1	2.2682	11.6566	0.0013	Anlamlı
D-(İA)	0.7750	1	0.7750	3.9826	0.0517	Anlamlı
E-(KM)	2.6741	1	2.6741	13.7430	0.0005	Anlamlı
F-(AT)	21.6970	1	21.6970	111.5055	< 0.0001	Anlamlı
D ²	4.3162	1	4.3162	22.1818	< 0.0001	Anlamlı
Artık	9.3399	48	0.1946			
Uyum yokluğu	8.1586	38	0.2147	1.8175	0.1571	Anlamsız
Salt hatâ	1.1813	10	0.1181			
Toplam	65.9062	57				

Çizelge 6.49 Tasarım 2 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III], Basma dayanımı, MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	163.5516	2	81.7758			
Model	2474.6790	7	353.5256	195.3228	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	114.7316	1	114.7316	63.3892	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	2072.9414	1	2072.9414	1145.2996	< 0.0001	Anlamlı
D-(İA)	0.1990	1	0.1990	0.1100	0.7416	Anlamsız
F-(AT)	99.2516	1	99.2516	54.8365	< 0.0001	Anlamlı
AC	7.6499	1	7.6499	4.2266	0.0453	Anlamlı
A^2	11.4406	1	11.4406	6.3209	0.0153	Anlamlı
D^2	7.2779	1	7.2779	4.0211	0.0506	Anlamlı
Artık	86.8779	48	1.8100			
Uyum yokluğu	79.8268	38	2.1007	2.9793	0.0344	Anlamlı
Salt hatâ	7.0510	10	0.7051			
Toplam	2725.1085	57				

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ (Tasarım 2) için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde çökme (Çizelge 6.52) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, D, E, F ana etki terimleri ve D^2 ikinci derece ana etki teriminin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece D ana teriminin anlamlı etki oluşturmadığı görülmektedir ($p(D) = 0.0517$). $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı (Çizelge 6.53) tepki değişkeni üzerinde A, C, F ana terimlerinin, AC iki etkileşimli terimin ve A^2 , D^2 ikinci derece ana etki terimlerinin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde bakıldığında ise sadece D^2 ikinci derece ana etki teriminin anlamlı katkı oluşturmadığı söylenebilir ($p(D^2) = 0.0506$). Basma dayanımı varyans analiz sonuçlarına D ana terimi etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

Tepki değişkenlerinde kullanılan dönüştürücülerin belirlenmesi için Lambda değerinin elde edilmesi amacıyla oluşturulan Box-Cox grafikleri Şekil 6.14'te (Tasarım 2, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$) verildi.



Şekil 6.14 Box-Cox grafikleri, Tasarım 2, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Tasarım 2 sonucu $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.13), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.14) ve (6.15)'de görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.16), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.17) ve (6.18)'de verildi.

$$\text{Kod değer; } \sqrt{C} = 3.809251 + 0.74375 \cdot A + 0.39675 \cdot B + 0.229902 \cdot C - 0.137958 \cdot D + 0.26264 \cdot E - 0.618538 \cdot F - 0.603996 \cdot D^2 \quad (6.13)$$

$$\text{Gerçek değer, Kalker; } \sqrt{C} = -1215.945 + 0.2975 \cdot A + 0.0529 \cdot B + 0.022213 \cdot C + 35.6109 \cdot D + 2.626397 \cdot E - 0.268443 \cdot D^2 \quad (6.14)$$

$$\text{Gerçek değer, Bazalt; } \sqrt{C} = -1217.182 + 0.2975 \cdot A + 0.0529 \cdot B + 0.022213 \cdot C + 35.6109 \cdot D + 2.626397 \cdot E - 0.268443 \cdot D^2 \quad (6.15)$$

$$\text{Kod değer; } f_c = 34.65306 - 1.701636 \cdot A + 6.944631 \cdot C - 0.070298 \cdot D - 1.31712 \cdot F + 0.45569 \cdot AC - 1.442952 \cdot A^2 - 1.163375 \cdot D^2 \quad (6.16)$$

$$\text{Gerçek değer, Kalker; } f_c = -2956.358 + 25.08156 \cdot A - 0.341665 \cdot C + 68.72155 \cdot D + 0.017611 \cdot AC - 0.230872 \cdot A^2 - 0.517056 \cdot D^2 \quad (6.17)$$

$$\text{Gerçek değer, Bazalt; } f_c = -2958.992 + 25.08156 \cdot A - 0.341665 \cdot C + 68.72155 \cdot D + 0.017611 \cdot AC - 0.230872 \cdot A^2 - 0.517056 \cdot D^2 \quad (6.18)$$

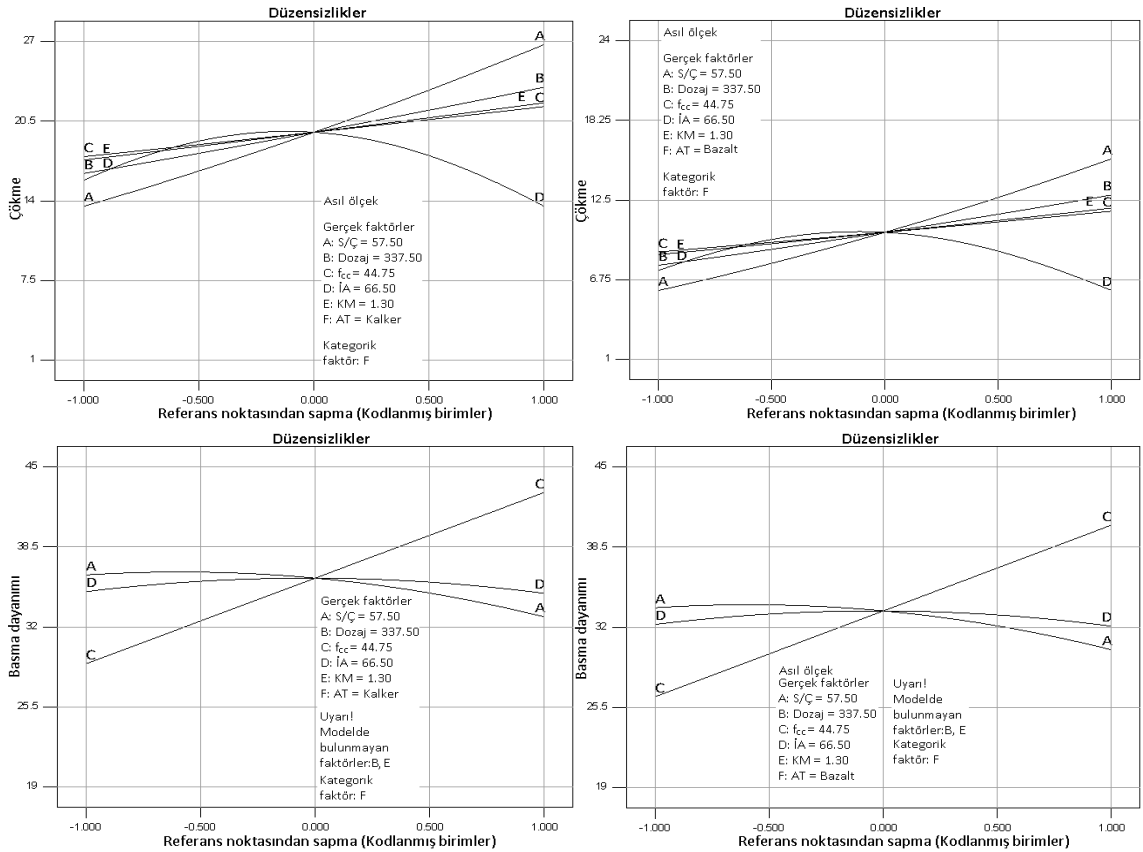
Tasarım 2 deneme noktalarındaki çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait istatistik sonuçlar, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için Çizelge 6.50'de görülmektedir.

Çizelge 6.50 Tasarım 2 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Çökme	Artıkların Standard sapması	0.4411	R^2	0.8569
	Ortalama	3.3492	Ayarlanmış R^2	0.8360
	Değişim katsayısı %	13.1708	Tahmini R^2	0.7897
	Tahmini artık kareler toplamı	13.7236	Uygun kesinlik	18.9457
Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	1.3453	R^2	0.9661
	Ortalama	33.3019	Ayarlanmış R^2	0.9611
	Değişim katsayısı %	4.0398	Tahmini R^2	0.9502
	Tahmini artık kareler toplamı	127.6539	Uygun Kesinlik	42.9370
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.				

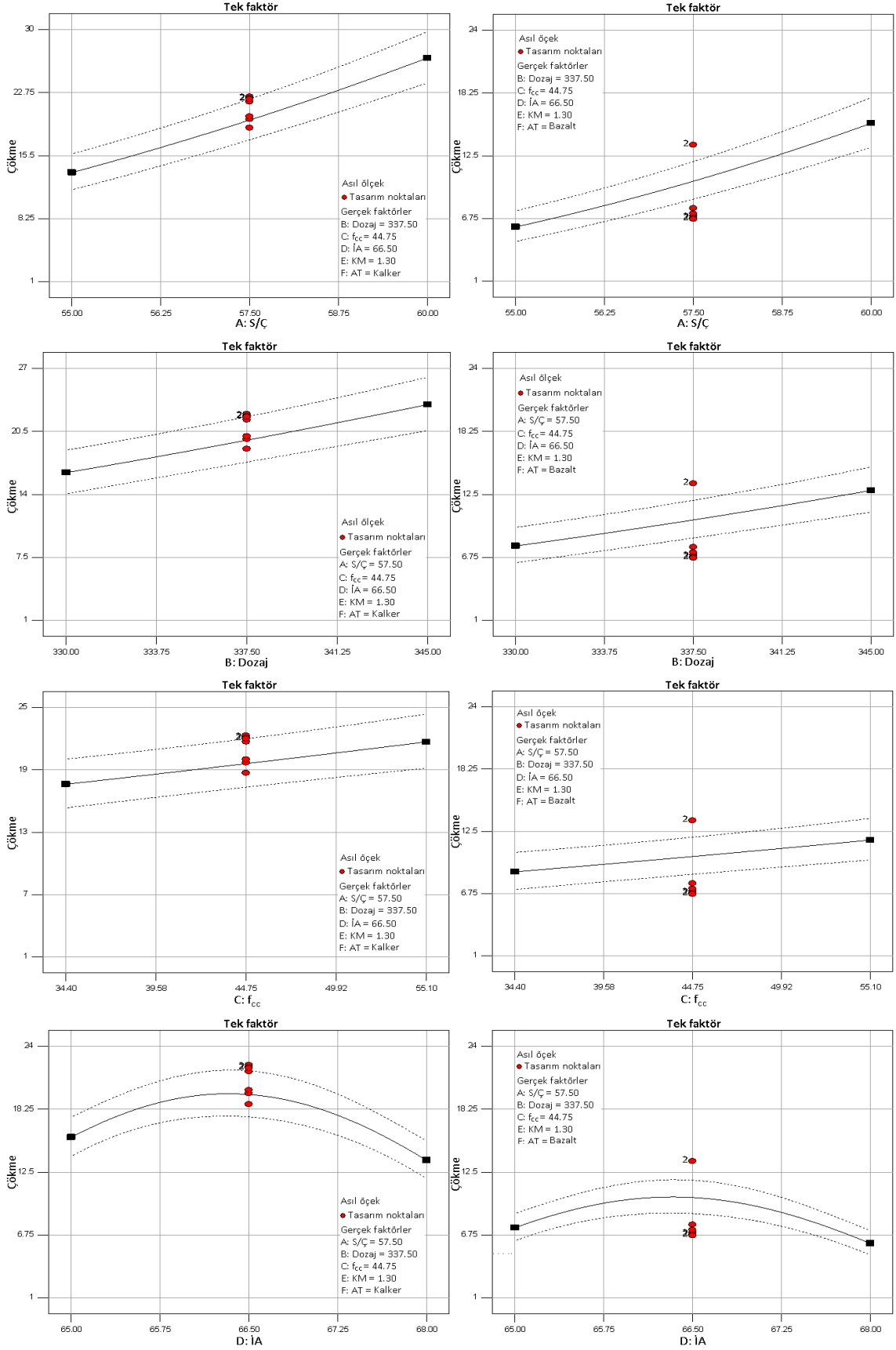
Tasarım 2 çökme ve basma dayanımlarına ait tanılamalar durum istatistiği sonuçları, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için sırasıyla EK A-5 ve EK A-6'da verildi.

Çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerinin Tasarım 2 sonucu elde edilen düzensizlik grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için Şekil 6.15'te verildi.

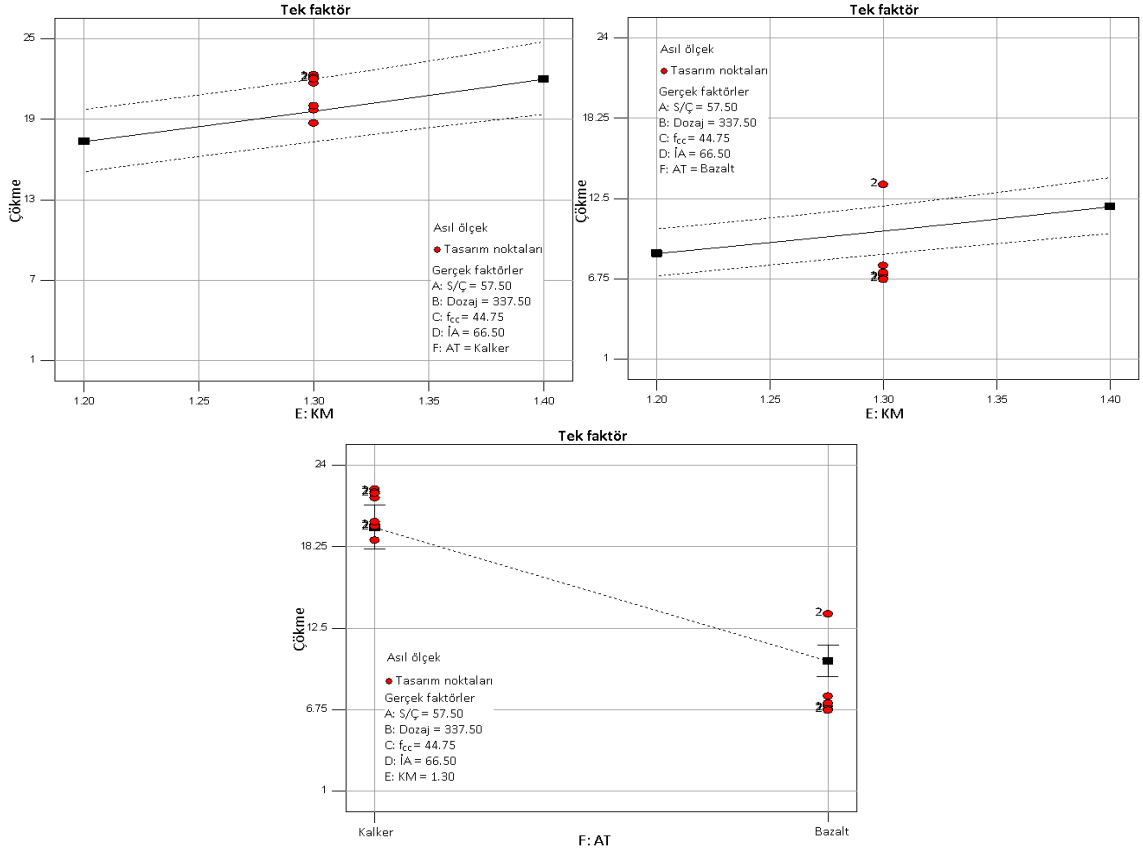


Şekil 6.15 Tasarım 2 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

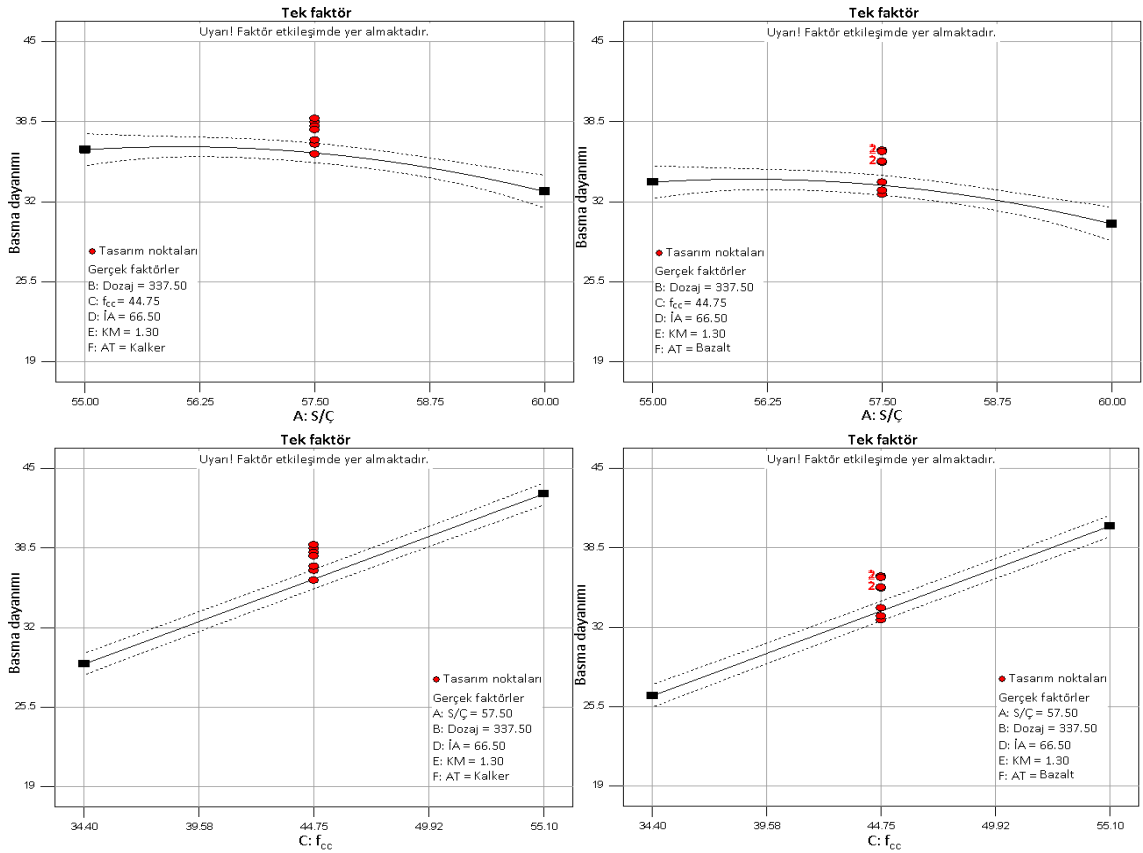
Tasarım 2 sonucu elde edilen çökme tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için Şekil 6.16, basma dayanımı tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri ise Şekil 6.17'de verildi.



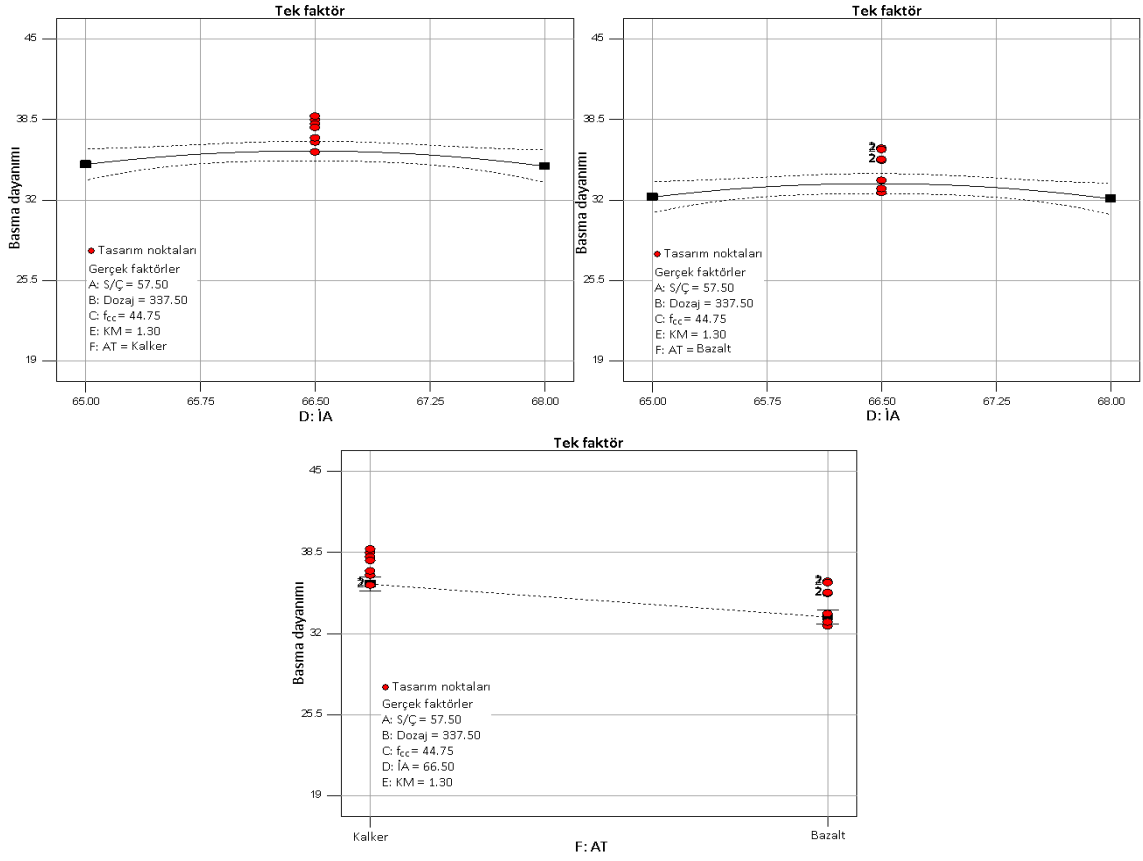
Şekil 6.16 Tasarım 2 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



Şekil 6.16 Devam

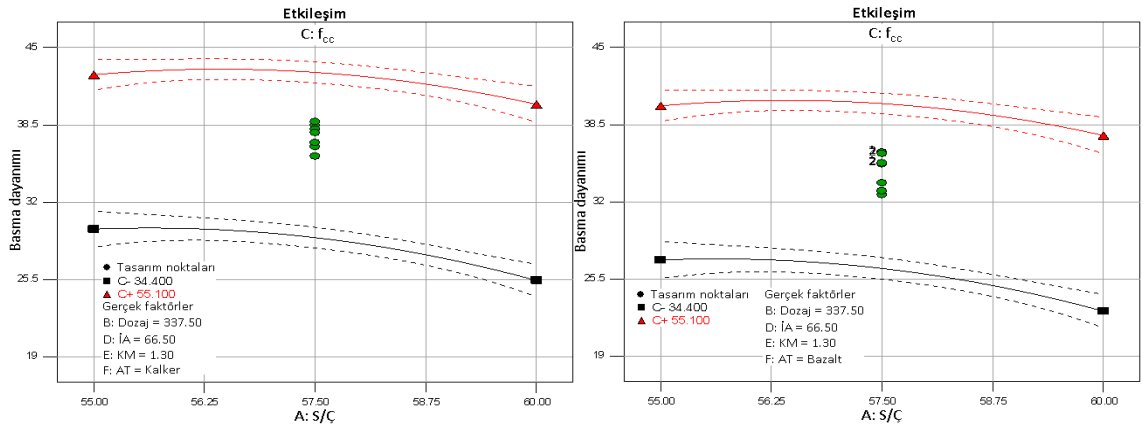


Şekil 6.17 Tasarım 2 basma dayanımının A, C, D ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

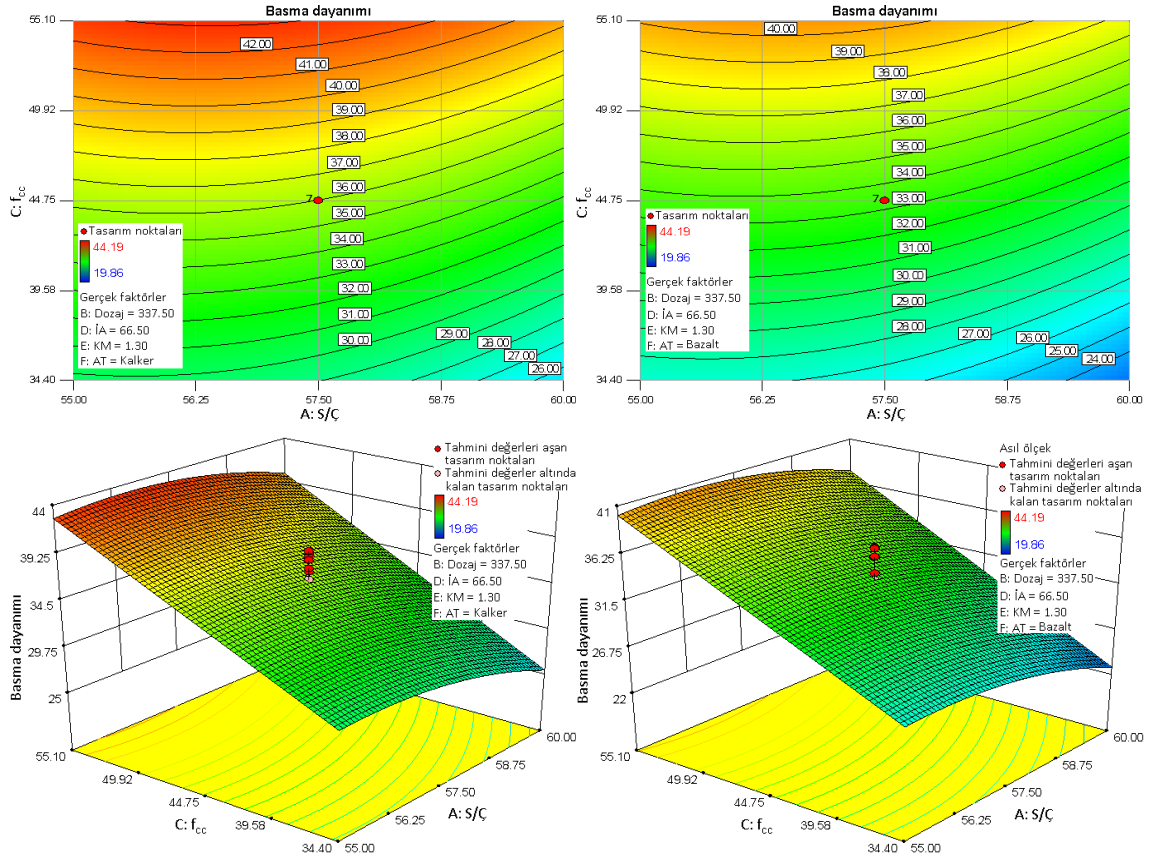


Şekil 6.17 Devam

Tasarım 2 sonucu elde edilen basma dayanımı tepki değişkeninin iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri D_{en} büyük = 11.2 mm için Şekil 6.18’de verildi. İki faktör etkileşimli terimlerin çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 6.18 Tasarım 2 basma dayanımının AC iki faktör etkileşimine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, D_{en} büyük = 11.2 mm



Şekil 6.18 Devam

2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarımın yükseltgenmesiyle elde edilen D–Optimal tasarımlara ait deneme noktaları kullanılarak faktör sayısının 7’den 6’ya indirilmesi nedeniyle eşdeğer terim oluşturmayacak şekilde belirlenen terimlerin etki düzeyleri ve bu terimlerden elde edilen modeller oluşturuldu (Tasarım 3).

Tasarım 3, etki değişkenleri harf kodlaması, deneme noktaları, etki değişkenlerinin değişim aralıkları ve dikkate alınan terimler sırasıyla Çizelge 6.36, Çizelge 6.30-6.31, Çizelge 6.37-6.40 ve Çizelge 6.47’de görülmektedir.

Tasarım 3 $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için çökme ve basma dayanımı değerleri üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 6.51, Çizelge 6.52, Çizelge 6.53 ve Çizelge 6.54’te verildi.

Çizelge 6.51 Tasarım 3 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Karekök (Çökme), cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.6448	2	0.3224			
Model	60.7286	15	4.0486	35.7261	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	20.8832	1	20.8832	184.2817	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	3.9390	1	3.9390	34.7590	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	1.0180	1	1.0180	8.9835	0.0047	Anlamlı
D-(İA)	1.9092	1	1.9092	16.8473	0.0002	Anlamlı
E-(KM)	2.0452	1	2.0452	18.0475	0.0001	Anlamlı
F-(AT)	25.8159	1	25.8159	227.8097	< 0.0001	Anlamlı
AB	1.1606	1	1.1606	10.2419	0.0027	Anlamlı
AC	0.4534	1	0.4534	4.0013	0.0523	Anlamlı
AF	0.9185	1	0.9185	8.1050	0.0069	Anlamlı
BC	0.2844	1	0.2844	2.5101	0.1210	Anlamsız
BE	0.6799	1	0.6799	5.9996	0.0188	Anlamlı
EF	0.9738	1	0.9738	8.5932	0.0056	Anlamlı
A ²	1.1021	1	1.1021	9.7258	0.0034	Anlamlı
C ²	3.2357	1	3.2357	28.5530	< 0.0001	Anlamlı
ABC	2.9731	1	2.9731	26.2361	< 0.0001	Anlamlı
Artık	4.5329	40	0.1133			
Uyum yokluğu	3.3516	30	0.1117	0.9457	0.5768	Anlamsız
Salt hatâ	1.1813	10	0.1181			
Toplam	65.9062	57				

Çizelge 6.52 Tasarım 3 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Basma dayanımı, MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	163.5516	2	81.7758			
Model	2505.2394	14	178.9457	130.2751	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	119.6187	1	119.6187	87.0842	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	1.4692	1	1.4692	1.0696	0.3071	Anlamsız
C-(f_{cc})	2077.2602	1	2077.2602	1512.2766	< 0.0001	Anlamlı
D-(İA)	0.0024	1	0.0024	0.0018	0.9668	Anlamsız
E-(KM)	1.5169	1	1.5169	1.1044	0.2995	Anlamsız
F-(AT)	90.9878	1	90.9878	66.2405	< 0.0001	Anlamlı
AB	0.1225	1	0.1225	0.0892	0.7667	Anlamsız
AE	0.4108	1	0.4108	0.2991	0.5874	Anlamsız
BD	8.6494	1	8.6494	6.2969	0.0161	Anlamlı
BE	1.3664	1	1.3664	0.9948	0.3244	Anlamsız
BF	0.2963	1	0.2963	0.2157	0.6448	Anlamsız
CF	6.0478	1	6.0478	4.4029	0.0421	Anlamlı

Çizelge 6.52 Devam

C ²	70.9481	1	70.9481	51.6512	< 0.0001	Anlamlı
ABE	13.8665	1	13.8665	10.0950	0.0028	Anlamlı
Artık	56.3175	41	1.3736			
Uyum yokluğu	49.2665	31	1.5892	2.2539	0.0873	Anlamsız
Salt hatâ	7.0510	10	0.7051			
Toplam	2725.1085	57				

Çizelge 6.53 Tasarım 3 çökme için varyans analizi (D_{en büyük} = 22.4 mm)

Varyans analizi [Kismî kareler toplamı - Tip III], Çökme, cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	108.9732	2	54.48659			
Model	2191.1498	24	91.2979	40.8700	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	438.5597	1	438.5597	196.3235	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	292.9084	1	292.9084	131.1219	< 0.0001	Anlamlı
C-(f _{cc})	28.1222	1	28.1222	12.5891	0.0013	Anlamlı
D-(k _k)	11.5893	1	11.5893	5.1880	0.0303	Anlamlı
E-(KM)	138.2913	1	138.2913	61.9068	< 0.0001	Anlamlı
F-(AT)	39.2408	1	39.2408	17.5664	0.0002	Anlamlı
AB	7.2501	1	7.2501	3.2455	0.0820	Anlamlı
AC	26.7523	1	26.7523	11.9758	0.0017	Anlamlı
AD	20.8679	1	20.8679	9.3416	0.0048	Anlamlı
AE	23.4220	1	23.4220	10.4850	0.0030	Anlamlı
AF	25.9083	1	25.9083	11.5980	0.0020	Anlamlı
BC	20.7708	1	20.7708	9.2981	0.0049	Anlamlı
BD	33.7395	1	33.7395	15.1037	0.0005	Anlamlı
BE	38.9286	1	38.9286	17.4266	0.0002	Anlamlı
BF	22.7594	1	22.7594	10.1884	0.0034	Anlamlı
CD	24.2034	1	24.2034	10.8348	0.0026	Anlamlı
CE	33.3670	1	33.3670	14.9369	0.0006	Anlamlı
CF	20.9613	1	20.9613	9.3834	0.0047	Anlamlı
DE	21.6888	1	21.6888	9.7091	0.0041	Anlamlı
DF	26.3256	1	26.3256	11.7848	0.0018	Anlamlı
EF	8.9611	1	8.9611	4.0115	0.0546	Anlamlı
A ²	17.2704	1	17.2704	7.7312	0.0094	Anlamlı
B ²	26.6918	1	26.6918	11.9487	0.0017	Anlamlı
ABE	28.7851	1	28.7851	12.8858	0.0012	Anlamlı
Artık	64.7820	29	2.2339			
Uyum yokluğu	57.1387	19	3.0073	3.9345	0.0155	Anlamlı
Salt hatâ	7.6433	10	0.7643			
Toplam	2364.9050	55				

Çizelge 6.54 Tasarım 3 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

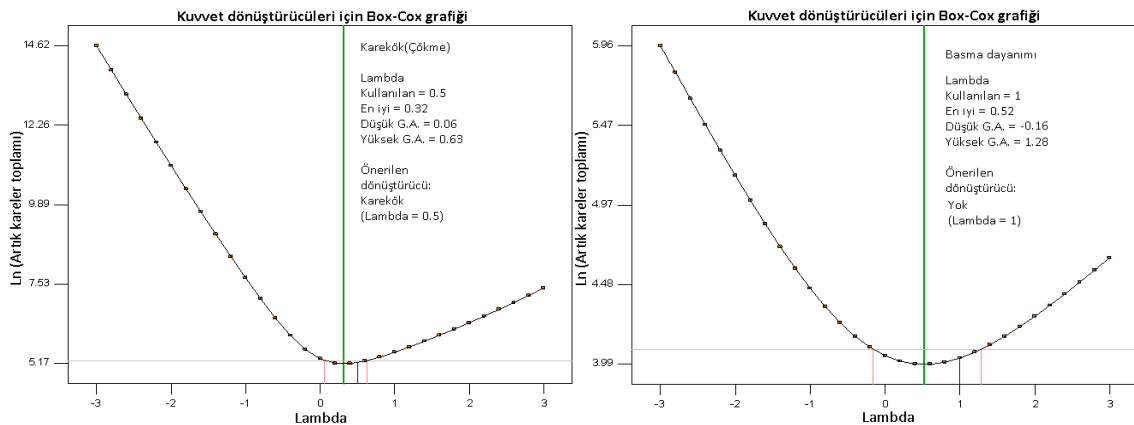
Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], 1/Karekök (Basma dayanımı), MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0006	2	0.0003			
Model	0.0155	19	0.0008	108.7966	< 0.0001	Anlamlı
A-(S/Ç)	0.0007	1	0.0007	95.6794	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	0.0000	1	0.0000	0.0280	0.8680	Anlamsız
C-(f_{cc})	0.0111	1	0.0111	1478.0427	< 0.0001	Anlamlı
D-(k_k)	0.0000	1	0.0000	5.4292	0.0259	Anlamlı
E-(KM)	0.0000	1	0.0000	1.5298	0.2246	Anlamsız
F-(AT)	0.0000	1	0.0000	0.0604	0.8073	Anlamsız
AB	0.0000	1	0.0000	1.6139	0.2126	Anlamsız
AC	0.0002	1	0.0002	22.0183	< 0.0001	Anlamlı
AD	0.0002	1	0.0002	26.3507	< 0.0001	Anlamlı
AE	0.0000	1	0.0000	0.9235	0.3433	Anlamsız
AF	0.0002	1	0.0002	23.1727	< 0.0001	Anlamlı
BC	0.0001	1	0.0001	20.0034	< 0.0001	Anlamlı
BE	0.0000	1	0.0000	0.3604	0.5522	Anlamsız
CD	0.0002	1	0.0002	29.4994	< 0.0001	Anlamlı
CF	0.0002	1	0.0002	25.3998	< 0.0001	Anlamlı
DE	0.0001	1	0.0001	19.2723	0.0001	Anlamlı
DF	0.0002	1	0.0002	20.0705	< 0.0001	Anlamlı
B^2	0.0008	1	0.0008	109.2482	< 0.0001	Anlamlı
ABE	0.0000	1	0.0000	3.2475	0.0804	Anlamlı
Artık	0.0003	34	0.0000			
Uyum yokluğu	0.0002	24	0.0000	3.0807	0.0339	Anlamlı
Salt hatâ	0.0000	10	0.0000			
Toplam	0.0163	55				

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ (Tasarım 3) için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde çökme (Çizelge 6.51) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, D, E, F ana etki terimleri, AB, AC, AF, BE, EF iki faktör etkileşim terimleri, A^2 , C^2 ikinci derece ana terimleri ve ABC üç faktör etkileşim teriminin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AC teriminin anlamlı etki oluşturmadığı görülmektedir ($p(AC) = 0.0523$). Çökme tepki değişkeni varyans analiz sonuçlarına BC terimi etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi. $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ (Tasarım 3) basma dayanımı (Çizelge 6.52) tepki değişkeni üzerinde A, C, F ana terimlerinin, BD, CF iki faktör etkileşimli terimlerin, C^2 ikinci derece ana

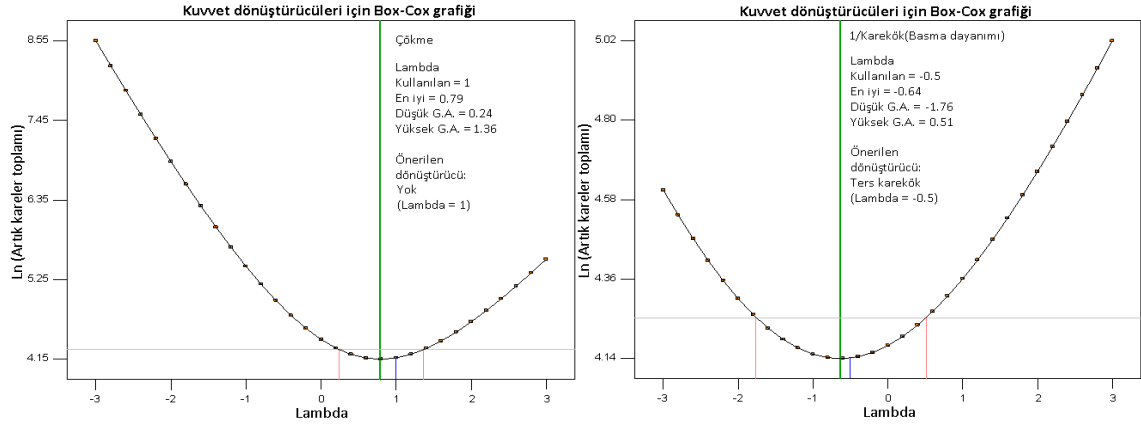
teriminin ve ABE üç faktör etkileşim teriminin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde bakıldığında ise $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde etkili olan tüm terimlerin anlamlı katkı oluşturduğu söylenebilir. Basma dayanımı varyans analiz sonuçlarına B, D, E ana terimleri ve AB, AE, BE, BF iki faktör etkileşimli terimlerin etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm (Tasarım 3) için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde çökme (Çizelge 6.53) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, D, E, F ana etki terimleri, AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF iki faktör etkileşim terimleri, A^2 , B^2 ikinci derece ana terimleri ve ABE üç faktör etkileşim teriminin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AB, EF terimlerinin anlamlı etki oluşturmadıkları görülmektedir ($p(AB) = 0.0820$, $p(EF) = 0.0546$). $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm (Tasarım 3) basma dayanımı (Çizelge 6.54) tepki değişkeni üzerinde A, C, D ana terimlerinin, AC, AD, AF, BC, CD, CF, DE, DF iki faktör etkileşimli terimlerin, B^2 ikinci derece ana teriminin ve ABE üç faktör etkileşim teriminin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde bakıldığında ise $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde etkili olan tüm terimlerin anlamlı katkı oluşturduğu söylenebilir. Basma dayanımı varyans analiz sonuçlarına B, E, F ana terimleri ve AB, AE, BE iki faktör etkileşimli terimlerin etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

Tasarım 3, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için tepki değişkenlerinde kullanılan dönüştürücülerin belirlenmesi amacıyla Lambda değerinin elde edilmesi için oluşturulan Box-Cox grafikleri sırasıyla Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de verildi.



Şekil 6.19 Box-Cox grafikleri, Tasarım 3, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm



Şekil 6.20 Box-Cox grafikleri, Tasarım 3, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Tasarım 3 sonucu $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.19), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller sırasıyla (6.20) ve (6.21)'de görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.22), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller sırasıyla (6.23) ve (6.24)'te verildi.

$$\begin{aligned}
 \text{Kod değer; } \sqrt{\bar{C}} &= 4.032679 + 0.734145 \cdot A + 0.328646 \cdot B + 0.165785 \cdot C \\
 &+ 0.610264 \cdot D + 0.234587 \cdot E - 0.722502 \cdot F + 0.395437 \cdot AB \\
 &- 0.113177 \cdot AC - 0.360437 \cdot AF + 0.088668 \cdot BC \\
 &+ 0.322717 \cdot BE - 0.354499 \cdot EF + 0.769758 \cdot A^2 - 1.43987 \cdot C^2 \\
 &- 0.781617 \cdot ABC
 \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gerçek değer, Kalker; } \sqrt{\bar{C}} &= 4411.444 - 81.47801 \cdot A - 12.143 \cdot B - 77.07667 \cdot C \\
 &+ 0.406842 \cdot D - 139.3318 \cdot E + 0.201328 \cdot AB \\
 &+ 1.35496 \cdot AC + 0.232732 \cdot BC + 0.430289 \cdot BE \\
 &+ 0.123161 \cdot A^2 - 0.013441 \cdot C^2 - 0.004028 \cdot ABC
 \end{aligned} \quad (6.20)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gerçek değer, Bazalt; } \sqrt{\bar{C}} &= 4435.796 - 81.76636 \cdot A - 12.143 \cdot B - 77.07667 \cdot C \\
 &+ 0.406842 \cdot D - 146.4218 \cdot E + 0.201328 \cdot AB \\
 &+ 1.35496 \cdot AC + 0.232732 \cdot BC + 0.430289 \cdot BE \\
 &+ 0.123161 \cdot A^2 - 0.013441 \cdot C^2 - 0.004028 \cdot ABC
 \end{aligned} \quad (6.21)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kod değer; } f_c &= 35.00055 - 1.775422 \cdot A - 0.194832 \cdot B + 7.078428 \cdot C + 0.007858 \cdot D \\
 &+ 0.200466 \cdot E - 1.813119 \cdot F + 0.057564 \cdot AB - 0.203861 \cdot AE \\
 &+ 0.487832 \cdot BD + 0.199657 \cdot BE - 0.166078 \cdot BF - 0.390386 \cdot CF \\
 &- 2.704906 \cdot C^2 + 0.904212 \cdot ABE
 \end{aligned} \quad (6.22)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } f_c = & -11084.4 + 210.8994 \cdot A + 32.63786 \cdot B + 2.981552 \cdot C - 14.62973 \cdot D \\ & + 9317.642 \cdot E - 0.62385 \cdot AB - 163.5736 \cdot AE + 0.043363 \cdot BD \\ & - 27.46296 \cdot BE - 0.025251 \cdot C^2 + 0.482246 \cdot ABE \end{aligned} \quad (6.23)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } f_c = & -11069.7 + 210.8994 \cdot A + 32.59357 \cdot B + 2.906115 \cdot C - 14.62973 \cdot D \\ & + 9317.642 \cdot E - 0.62385 \cdot AB - 163.5736 \cdot AE + 0.043363 \cdot BD \\ & - 27.46296 \cdot BE - 0.025251 \cdot C^2 + 0.482246 \cdot ABE \end{aligned} \quad (6.24)$$

Tasarım 3 sonucu $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.25), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller sırasıyla (6.26) ve (6.27)'de görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.28), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller sırasıyla (6.29) ve (6. 30)'da verildi.

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } \checkmark = & 31.38974 + 3.620652 \cdot A + 2.961015 \cdot B + 0.916848 \cdot C \\ & + 0.588985 \cdot D + 2.033152 \cdot E - 1.808333 \cdot F + 1.658608 \cdot AB \\ & + 50.58442 \cdot AC + 61.81349 \cdot AD - 25.29275 \cdot AE \\ & - 76.69939 \cdot AF + 16.57837 \cdot BC - 10.21347 \cdot BD + 11.4245 \cdot BE \\ & + 24.91585 \cdot BF + 65.74513 \cdot CD + 10.24038 \cdot CE - 61.94622 \cdot CF \\ & - 16.97361 \cdot DE - 50.13252 \cdot DF - 1.825873 \cdot EF + 24.58926 \cdot A^2 \\ & - 30.79116 \cdot B^2 - 1.805651 \cdot ABE \end{aligned} \quad (6.25)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } \checkmark = & 36467.59 - 2445.912 \cdot A + 358.0774 \cdot B - 607.1 \cdot C \\ & - 8513.589 \cdot D - 5924.809 \cdot E + 1.340377 \cdot AB \\ & + 1.954953 \cdot AC + 247.2539 \cdot AD + 223.8463 \cdot AE \\ & + 0.21357 \cdot BC - 13.61796 \cdot BD + 65.79091 \cdot BE \\ & + 63.52186 \cdot CD + 9.894083 \cdot CE - 1697.361 \cdot DE \\ & + 3.934281 \cdot A^2 - 0.547398 \cdot B^2 - 0.963014 \cdot ABE \end{aligned} \quad (6.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } \checkmark = & 44743.83 - 2507.272 \cdot A + 364.7216 \cdot B - 619.0703 \cdot C \\ & - 9516.239 \cdot D - 5961.326 \cdot E + 1.340377 \cdot AB \\ & + 1.954953 \cdot AC + 247.2539 \cdot AD + 223.8463 \cdot AE \\ & + 0.21357 \cdot BC - 13.61796 \cdot BD + 65.79091 \cdot BE \\ & + 63.52186 \cdot CD + 9.894083 \cdot CE - 1697.361 \cdot DE \\ & + 3.934281 \cdot A^2 - 0.547398 \cdot B^2 - 0.963014 \cdot ABE \end{aligned} \quad (6.27)$$

$$\begin{aligned}
\text{Kod değeri; } 1/\sqrt{f_c} &= 0.15184 + 0.004426 \cdot A + 0.0000756 \cdot B - 0.017072 \cdot C + 0.001077 \cdot D \\
&- 0.000584 \cdot E + 0.000169 \cdot F - 0.000588 \cdot AB - 0.013698 \cdot AC \\
&- 0.01369 \cdot AD - 0.000443 \cdot AE + 0.017722 \cdot AF - 0.005033 \cdot BC \\
&+ 0.000977 \cdot BE - 0.01839 \cdot CD + 0.013657 \cdot CF + 0.004897 \cdot DE \\
&+ 0.012877 \cdot DF + 0.009384 \cdot B^2 - 0.001489 \cdot ABE
\end{aligned} \tag{6.28}$$

$$\begin{aligned}
\text{Gerçek değer, Kalker; } 1/\sqrt{f_c} &= 15.99534 + 0.04984 \cdot A - 0.163925 \cdot B + 0.165752 \cdot C \\
&+ 2.915454 \cdot D - 17.69989 \cdot E + 0.001001 \cdot AB - 0.000529 \cdot AC \\
&- 0.054761 \cdot AD + 0.266161 \cdot AE - 0.0000648 \cdot BC + 0.042981 \cdot BE \\
&- 0.017768 \cdot CD + 0.489694 \cdot DE + 0.000167 \cdot B^2 - 0.000794 \cdot ABE
\end{aligned} \tag{6.29}$$

$$\begin{aligned}
\text{Gerçek değer, Bazalt; } 1/\sqrt{f_c} &= 13.40775 + 0.064018 \cdot A - 0.163925 \cdot B + 0.168391 \cdot C \\
&+ 3.172989 \cdot D - 17.69989 \cdot E + 0.001001 \cdot AB - 0.000529 \cdot AC \\
&- 0.054761 \cdot AD + 0.266161 \cdot AE - 0.0000648 \cdot BC + 0.042981 \cdot BE \\
&- 0.017768 \cdot CD + 0.489694 \cdot DE + 0.000167 \cdot B^2 - 0.000794 \cdot ABE
\end{aligned} \tag{6.30}$$

Tasarım 3 deneme noktalarındaki çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait istatistik sonuçlar, $D_{en \text{ büyük}} = 11.2 \text{ mm}$ ve $D_{en \text{ büyük}} = 22.4 \text{ mm}$ için Çizelge 6.55 ve Çizelge 6.56'da görülmektedir.

Çizelge 6.55 Tasarım 3 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{en \text{ büyük}} = 11.2 \text{ mm}$)

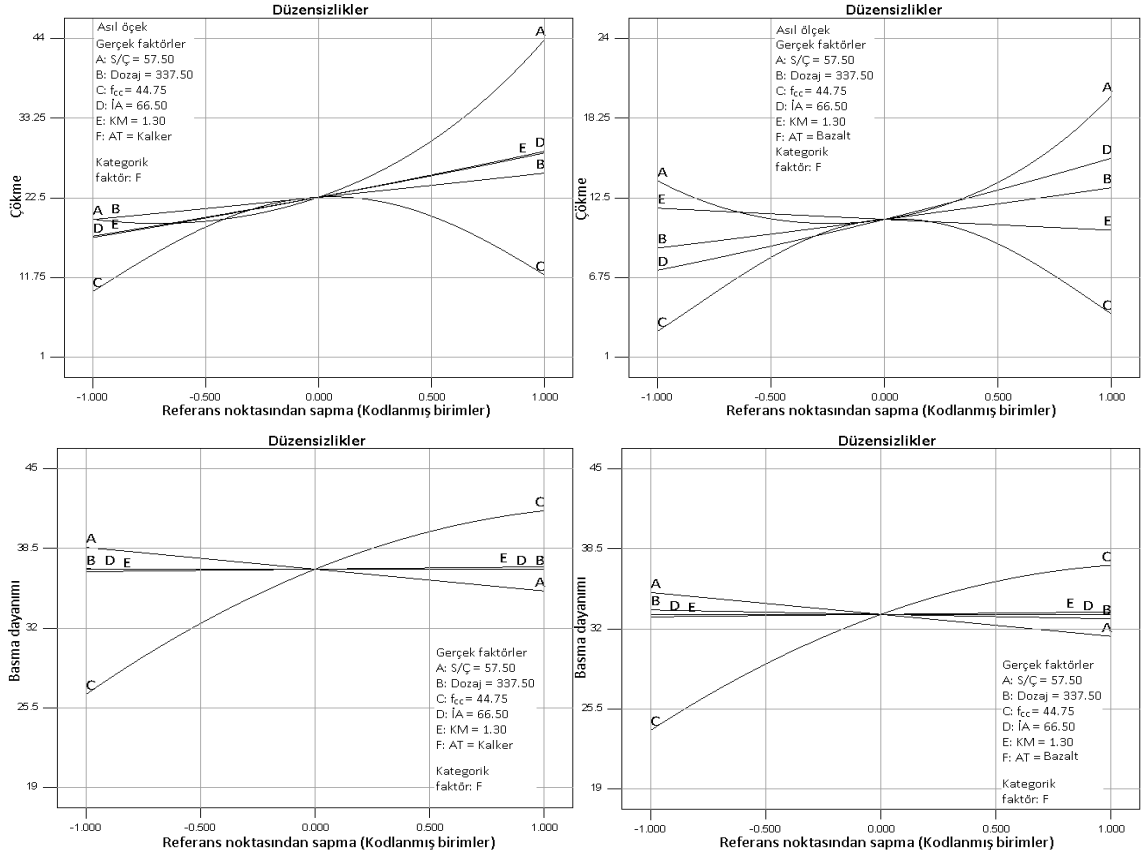
Çökme	Artıkların Standard sapması	0.3366	R^2	0.9305
	Ortalama	3.3492	Ayarlanmış R^2	0.9045
	Değişim katsayısı %	10.0512	Tahmini R^2	0.8665
	Tahmini artık kareler toplamı	8.7100	Uygun kesinlik	19.0838
Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	1.1720	R^2	0.9780
	Ortalama	33.3019	Ayarlanmış R^2	0.9705
	Değişim katsayısı %	3.5193	Tahmini R^2	0.9561
	Tahmini artık kareler toplamı	112.3309	Uygun Kesinlik	38.5749
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.				

Çizelge 6.56 Tasarım 3 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{en \text{ büyük}} = 22.4 \text{ mm}$)

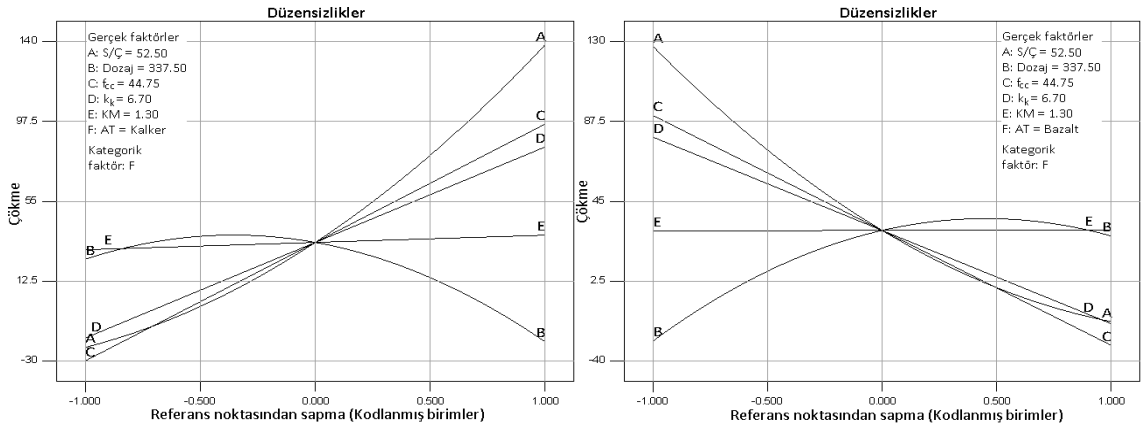
Çökme	Artıkların Standard sapması	1.4946	R^2	0.9713
	Ortalama	13.3250	Ayarlanmış R^2	0.9475
	Değişim katsayısı %	11.2166	Tahmini R^2	Tanımsız
	Tahmini artık kareler toplamı	Tanımsız	Uygun kesinlik	18.0368
Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	0.0027	R^2	0.9838
	Ortalama	0.1599	Ayarlanmış R^2	0.9748
	Değişim katsayısı %	1.7114	Tahmini R^2	0.9301
	Tahmini artık kareler toplamı	0.0011	Uygun Kesinlik	33.3038
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.				

Tasarım 3 çökme ve basma dayanımlarına ait tanılamalar durum istatistiği sonuçları, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla EK A-7, EK A-8, EK A-9 ve EK A-10'da verildi.

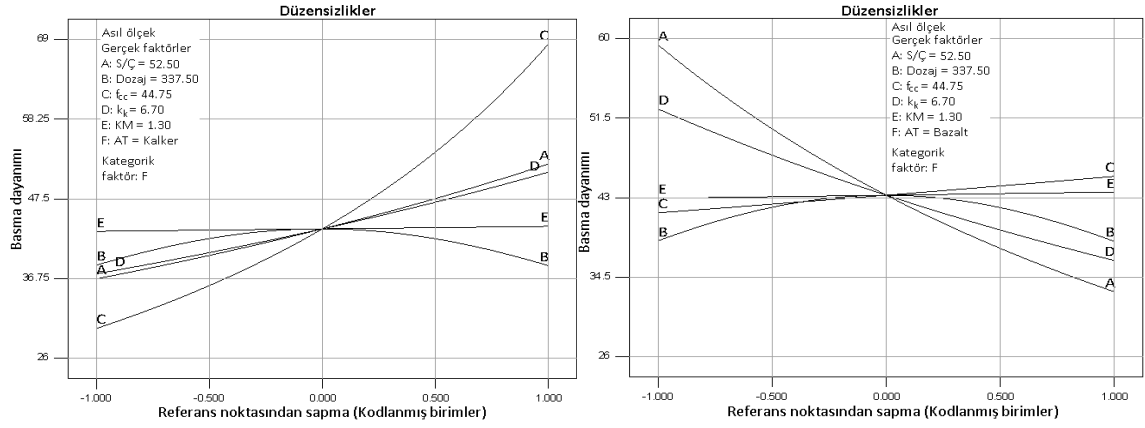
Tasarım 3 sonucu elde edilen çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait düzensizlik grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de verildi.



Şekil 6.21 Tasarım 3 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



Şekil 6.22 Tasarım 3 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$



Şekil 6.22 Devam

Beton basma dayanımının belirlenmesi amacıyla kullanılan Su/Çimento oranı (Graf formülü) etki değişkeni yerine $\frac{\phi}{(\phi+s+h)}$ oranının (Feret formülü) etki değişkeni olarak kullanılması ile elde edilen sonuçlar Tasarım 4 olarak kodlandı. Tasarım 4'te etki değişkenleri harf kodlamaları A faktörü dışında Çizelge 6.36'da görülmektedir. $\frac{\phi}{(\phi+s+h)}$ oranı A faktörü olarak kodlandı.

Tasarım 4 deneme noktaları $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Çizelge 6.57 ve Çizelge 6.58'de verildi.

Çizelge 6.57 Tasarım 4 deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Std	Id	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör						Tepki	
					1	2	3	4	5	6	Çökme	Basma dayanımı
					A: $\frac{\phi}{(\phi+s+h)}$	B: D	C: f_{cc}	D: İA	E: KM	F: AT			Ç	$f_c$
-	kg/m ³	MPa	%	%	Tür	cm	MPa					
1	1	1	1	??	0.318	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	20.0	38.76
2	1	2	1	??	0.304	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	7.7	36.17
3	1	3	1	??	0.316	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	19.7	38.12
4	1	4	1	??	0.304	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	7.2	36.06
5	1	5	1	??	0.323	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	18.7	38.45
6	1	6	1	??	0.300	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	7.0	35.19
7	1	7	1	??	0.341	330	34.4	65	1.2	Kalker	5.7	28.59
8	1	8	1	??	0.312	330	34.4	68	1.2	Bazalt	5.3	24.38
9	1	9	1	??	0.343	345	34.4	68	1.4	Kalker	6.0	30.44
10	1	10	1	??	0.316	345	34.4	65	1.4	Bazalt	16.2	23.37
11	1	11	1	??	0.310	330	55.1	68	1.4	Bazalt	2.8	42.47
12	1	12	1	??	0.317	330	55.1	65	1.4	Kalker	21.8	39.27
13	1	13	1	??	0.313	345	55.1	65	1.2	Bazalt	4.5	39.05

Çizelge 6.57 Devam

14	1	14	1	??	0.317	345	55.1	68	1.2	Kalker	23.2	39.51
15	1	15	1	??	0.327	330	34.4	65	1.4	Bazalt	2.5	28.49
16	1	16	1	??	0.314	330	34.4	68	1.4	Kalker	16.8	23.57
17	1	17	1	??	0.334	345	34.4	68	1.2	Bazalt	3.1	27.56
18	1	18	1	??	0.317	345	34.4	65	1.2	Kalker	20.9	22.86
19	1	19	1	??	0.327	330	55.1	68	1.2	Kalker	7.8	42.48
20	1	20	1	??	0.298	330	55.1	65	1.2	Bazalt	7.3	37.58
21	1	21	1	??	0.325	345	55.1	65	1.4	Kalker	21.3	42.19
22	1	22	1	??	0.300	345	55.1	68	1.4	Bazalt	18.5	37.17
23	1	23	2	??	0.318	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	21.7	37.84
24	1	24	2	??	0.328	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	22.3	35.86
25	1	25	2	??	0.304	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	13.5	32.59
26	1	26	2	??	0.323	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	22.1	36.66
27	1	27	2	??	0.306	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	6.8	35.26
28	1	28	2	??	0.304	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	13.5	33.58
29	1	29	2	??	0.318	337.5	44.75	66.5	1.3	Kalker	22.0	37.00
30	1	30	2	??	-	337.5	44.75	66.5	1.3	Bazalt	6.7	32.91
31	1	31	2	??	0.343	330	34.4	65	1.2	Kalker	6.2	28.94
32	1	32	2	??	0.312	330	34.4	68	1.2	Bazalt	5.0	22.80
33	1	33	2	??	0.344	345	34.4	68	1.4	Kalker	10.4	29.34
34	1	34	2	??	0.316	345	34.4	65	1.4	Bazalt	14.5	24.43
35	1	35	2	??	-	330	55.1	68	1.4	Bazalt	2.5	42.17
36	1	36	2	??	0.316	330	55.1	65	1.4	Kalker	21.5	42.08
37	1	37	2	??	0.314	345	55.1	65	1.2	Bazalt	5.3	38.62
38	1	38	2	??	0.316	345	55.1	68	1.2	Kalker	20.6	41.81
39	1	39	2	??	0.330	330	34.4	65	1.4	Bazalt	2.7	26.38
40	1	40	2	??	0.326	330	34.4	68	1.4	Kalker	19.7	24.36
41	1	41	2	??	0.333	345	34.4	68	1.2	Bazalt	1.2	27.44
42	1	42	2	??	0.331	345	34.4	65	1.2	Kalker	20.7	25.13
43	1	43	2	??	0.327	330	55.1	68	1.2	Kalker	5.8	43.25
44	1	44	2	??	-	330	55.1	65	1.2	Bazalt	5.5	39.29
45	1	45	2	??	0.328	345	55.1	65	1.4	Kalker	15.2	44.19
46	1	46	2	??	-	345	55.1	68	1.4	Bazalt	8.3	37.68
47	1	47	3	??	0.330	330	34.4	65	1.2	Kalker	7.8	26.56
48	1	48	3	??	0.332	337.5	34.4	65	1.2	Kalker	18.8	23.58
49	1	49	3	??	0.326	330	34.4	66.5	1.2	Kalker	17.5	23.44
50	1	50	3	??	0.316	335	34.4	68	1.4	Bazalt	6.6	20.47
51	1	51	3	??	0.313	345	55.1	68	1.3	Bazalt	20.0	31.85
52	1	52	3	??	0.310	345	55.1	66.5	1.4	Bazalt	16.0	35.92
53	1	53	3	??	0.300	335	55.1	68	1.2	Bazalt	11.0	35.13
54	1	54	3	??	0.314	340	55.1	65	1.3333	Bazalt	7.5	36.58
55	1	55	3	??	0.325	330	55.1	66.5	1.2	Kalker	6.8	39.97

Çizelge 6.57 Devam

56	1	56	3	??	0.338	345	34.4	68	1.3	Kalker	8.0	27.02
57	1	57	3	??	0.322	345	55.1	65	1.4	Kalker	20.0	39.79
58	1	58	3	??	0.319	345	34.4	65	1.3	Bazalt	18.8	19.86

Çizelge 6.58 Tasarım 4 deneme noktaları ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Std	ld	Deneme noktası	Blok	Tür	Faktör						Tepki	
					1	2	3	4	5	6	Çökme	Basma dayanımı
					A: $\zeta/(\zeta+s+h)$	B: D	C: f_{cc}	D: k_k	E: KM	F: AT	Ç	f_c
-	kg/m ³	MPa	%	%	Tür	cm	MPa					
1	1	1	1	??	0.348	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	21.7	42.57
2	1	2	1	??	0.346	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	19.3	44.59
3	1	3	1	??	0.343	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	15.0	45.67
4	1	4	1	??	0.340	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	20.2	42.84
5	1	5	1	??	0.341	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	15.8	43.68
6	1	6	1	??	0.342	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	17.0	42.88
7	1	7	1	??	0.370	330	34.4	6.6	1.2	Kalker	5.2	34.22
8	1	8	1	??	0.348	330	34.4	6.6	1.2	Bazalt	7.3	29.63
9	1	9	1	??	0.372	345	34.4	6.6	1.4	Kalker	18.8	32.31
10	1	10	1	??	0.355	345	34.4	6.6	1.4	Bazalt	16.8	29.19
11	1	11	1	??	0.343	330	55.1	6.6	1.4	Bazalt	3.9	53.87
12	1	12	1	??	0.341	330	55.1	6.6	1.4	Kalker	20.8	44.07
13	1	13	1	??	0.347	345	55.1	6.6	1.2	Bazalt	4.3	53.11
14	1	14	1	??	0.348	345	55.1	6.6	1.2	Bazalt	3.8	52.92
15	1	15	1	??	0.337	345	55.1	6.6	1.2	Kalker	20.5	43.23
16	1	16	1	??	0.358	330	34.4	6.8	1.4	Bazalt	4.1	33.46
17	1	17	1	??	0.347	330	34.4	6.8	1.4	Kalker	15.8	29.33
18	1	18	1	??	0.368	345	34.4	6.8	1.2	Bazalt	6.8	33.31
19	1	19	1	??	0.355	345	34.4	6.8	1.2	Kalker	18.9	29.00
20	1	20	1	??	0.350	330	55.1	6.8	1.2	Kalker	5.7	45.89
21	1	21	1	??	0.331	330	55.1	6.8	1.2	Bazalt	8.1	44.37
22	1	22	1	??	0.363	345	55.1	6.8	1.4	Kalker	20.6	46.40
23	1	23	1	??	0.333	345	55.1	6.8	1.4	Bazalt	20.2	47.37
24	1	24	2	??	0.343	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	17.0	42.92
25	1	25	2	??	0.349	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	21.3	44.01
26	1	26	2	??	0.350	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	20.7	42.09
27	1	27	2	??	0.345	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	19.0	42.55
28	1	28	2	??	0.345	337.5	44.75	6.7	1.3	Bazalt	18.0	41.75
29	1	29	2	??	0.349	337.5	44.75	6.7	1.3	Kalker	20.3	42.62
30	1	30	2	??	0.371	330	34.4	6.6	1.2	Kalker	6.4	33.10
31	1	31	2	??	-	330	34.4	6.6	1.2	Bazalt	5.8	29.75
32	1	32	2	??	0.370	345	34.4	6.6	1.4	Kalker	17.0	32.33

Çizelge 6.58 Devam

33	1	33	2	??	0.353	345	34.4	6.6	1.4	Bazalt	15.0	32.16
34	1	34	2	??	-	330	55.1	6.6	1.4	Bazalt	4.8	51.57
35	1	35	2	??	0.343	330	55.1	6.6	1.4	Kalker	18.2	47.62
36	1	36	2	??	-	345	55.1	6.6	1.2	Bazalt	6.2	48.18
37	1	37	2	??	0.341	345	55.1	6.6	1.2	Kalker	21.5	46.41
38	1	38	2	??	0.363	330	34.4	6.8	1.4	Bazalt	3.8	34.53
39	1	39	2	??	0.348	330	34.4	6.8	1.4	Kalker	18.0	28.43
40	1	40	2	??	0.366	345	34.4	6.8	1.2	Bazalt	5.8	33.09
41	1	41	2	??	0.355	345	34.4	6.8	1.2	Kalker	21.0	29.06
42	1	42	2	??	0.353	330	55.1	6.8	1.2	Kalker	11.2	48.60
43	1	43	2	??	0.351	330	55.1	6.8	1.2	Kalker	10.9	50.22
44	1	44	2	??	-	330	55.1	6.8	1.2	Bazalt	13.2	43.65
45	1	45	2	??	0.358	345	55.1	6.8	1.4	Kalker	17.9	51.11
46	1	46	2	??	-	345	55.1	6.8	1.4	Bazalt	18.0	45.54
47	1	47	3	??	0.356	330	34.4	6.6	1.2	Kalker	9.6	29.03
48	1	48	3	??	0.355	337.5	34.4	6.6	1.2	Kalker	17.8	26.59
49	1	49	3	??	0.324	340	55.1	6.7333	1.4	Bazalt	15.4	44.64
50	1	50	3	??	0.326	330	55.1	6.8	1.3	Bazalt	7.2	44.48
51	1	51	3	??	0.353	335	34.4	6.8	1.4	Bazalt	2.6	29.35
52	1	52	3	??	0.348	345	34.4	6.8	1.3	Kalker	18.8	27.91
53	1	53	3	??	0.337	345	55.1	6.8	1.2	Bazalt	4.8	47.76
54	1	54	3	??	0.361	330	34.4	6.7	1.4	Kalker	5.5	30.22
55	1	55	3	??	0.343	345	55.1	6.7	1.2	Bazalt	3.9	50.94
56	1	56	3	??	0.348	345	55.1	6.6	1.4	Kalker	19.0	45.02

Tasarım 4, A: $\zeta/(\zeta+s+h)$ etki değişkeninin değişim aralıkları $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla (0.298-0.344) ve (0.324-0.372) aralığındadır. Diğer etki değişkenlerine ait değişim aralıkları Çizelge 6.39 ve Çizelge 6.40'da ve tepki fonksiyonlarının elde edilmesinde dikkate alınan terimler Çizelge 6.47'de verildi. Tasarım 4 özetleri $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla Çizelge 6.59 ve Çizelge 6.60'ta verildi.

Çizelge 6.59 Tasarım 4 özeti ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm)

Çalışma türü			Tepki yüzeyi			Denemeler			58
Başlangıç tasarımı			Eski veri			Bloklar			3
Tasarım modeli			Karesel						
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma
A	$\zeta/(\zeta+s+h)$	-	Sayısal	0.298	0.344	-1	1	0.32	0.0116

Çizelge 6.59 Devam

B	D	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.72	6.2506
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	44.75	9.0147
D	iA	%	Sayısal	65	68	-1	1	66.47	1.2609
E	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0831
F	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzyey =	2
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
Ç	Çökme	cm	54	Polinom	1.2	23.2	12.84	6.9868	19.333
Dönüştürücü		Yok		Model	İndirgenmiş kare				
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran
f _c	Basma dayanımı	MPa	54	Polinom	19.9	44.2	32.95	6.9185	2.2251

Çizelge 6.60 Tasarım 4 özeti (D_{en büyük} = 22.4 mm)

Çalışma türü			Tepki yüzeyi				Denemeler			56
Başlangıç tasarım			Eski veri				Bloklar			3
Tasarım modeli			Karesel							
Faktör	Adı	Birim	Tür	Düşük gerçek	Yüksek gerçek	Düşük kod	Yüksek kod	Ortalama	Standard sapma	
A	ç/(ç+s+h)	-	Sayısal	0.324	0.372	-1	1	0.35	0.0109	
B	D	kg/m ³	Sayısal	330	345	-1	1	337.63	6.4334	
C	f _{cc}	MPa	Sayısal	34.4	55.1	-1	1	45.12	9.1668	
D	k _k	-	Sayısal	6.6	6.8	-1	1	6.70	0.0856	
E	KM	%	Sayısal	1.2	1.4	-1	1	1.30	0.0865	
F	AT	Tür	Kategorik			Kalker	Bazalt	Düzyey =	2	
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran	
Ç	Çökme	cm	51	Polinom	2.6	21.7	13.69	6.5021	8.3462	
Dönüştürücü		Kuvvet		Model	İndirgenmiş kare					
Tepki	Adı	Birim	Gözlem	Analiz	En az	En çok	Ortalama	Standard sapma	Oran	
f _c	Basma dayanımı	MPa	51	Polinom	26.6	53.9	40.05	8.0242	2.0259	
Dönüştürücü		Ters karekök		Model	İndirgenmiş üp					

Tasarım 4 uygulamasında çökme ve basma dayanımı değerleri üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen tersine eleme regresyon sonuçları dikkate alınarak varyans analiz sonuçları D_{en büyük} = 11.2 mm için Çizelge 6.61 ve Çizelge 6.62, D_{en büyük} = 22.4 mm için Çizelge 6.63 ve Çizelge 6.64'de görülmektedir.

Çizelge 6.61 Tasarım 4 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Çökme, cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	12.5578	2	6.2789			
Model	2139.0864	9	237.6763	20.6083	< 0.0001	Anlamlı
A-(ç/(ç+s+h))	681.9208	1	681.9208	59.1276	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	392.9636	1	392.9636	34.0728	< 0.0001	Anlamlı
C-(f_{cc})	121.5071	1	121.5071	10.5356	0.0023	Anlamlı
D-(İA)	5.4300	1	5.4300	0.4708	0.4964	Anlamsız
E-(KM)	100.5938	1	100.5938	8.7222	0.0051	Anlamlı
F-(AT)	1333.2266	1	1333.2266	115.6006	< 0.0001	Anlamlı
AC	92.8549	1	92.8549	8.0512	0.0070	Anlamlı
AD	40.5874	1	40.5874	3.5192	0.0676	Anlamlı
A ²	178.8113	1	178.8113	15.5043	0.0003	Anlamlı
Artık	484.3879	42	11.5330			
Uyum yokluğu	484.2179	39	12.4158	219.1031	0.0004	Anlamlı
Salt hatâ	0.1700	3	0.0567			
Toplam	2636.0320	53				

Çizelge 6.62 Tasarım 4 basma dayanımı için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Basma dayanımı, MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	137.7769	2	68.8885			
Model	2334.3787	6	389.0631	155.5476	< 0.0001	Anlamlı
A-(ç/(ç+s+h))	187.2182	1	187.2182	74.8500	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	3.5644	1	3.5644	1.4251	0.2388	Anlamsız
C-(f_{cc})	2076.1703	1	2076.1703	830.0540	< 0.0001	Anlamlı
D-(İA)	0.0012	1	0.0012	0.0005	0.9824	Anlamsız
B ²	20.3291	1	20.3291	8.1276	0.0066	Anlamlı
D ²	31.0404	1	31.0404	12.4100	0.0010	Anlamlı
Artık	112.5561	45	2.5012			
Uyum yokluğu	111.7072	42	2.6597	9.3993	0.0441	Anlamlı
Salt hatâ	0.8489	3	0.2830			
Toplam	2584.7117	53				

Çizelge 6.63 Tasarım 4 çökme için varyans analizi ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], Çökme ^{1.56} , cm						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	6894.3595	2	3447.1797			
Model	68877.4496	8	8609.6812	36.4433	< 0.0001	Anlamlı
A-(ç/(ç+s+h))	12852.0092	1	12852.0092	54.4003	< 0.0001	Anlamlı
B-(D)	19479.5532	1	19479.5532	82.4536	< 0.0001	Anlamlı

Çizelge 6.63 Devam

C-(f _{cc})	2817.7055	1	2817.7055	11.9269	0.0013	Anlamlı
D-(k _k)	228.0899	1	228.0899	0.9655	0.3317	Anlamsız
E-(KM)	6851.1420	1	6851.1420	28.9997	< 0.0001	Anlamlı
F-(AT)	34208.5599	1	34208.5599	144.7989	< 0.0001	Anlamlı
BD	803.4401	1	803.4401	3.4008	0.0726	Anlamlı
B ²	4458.0050	1	4458.0050	18.8700	< 0.0001	Anlamlı
Artık	9449.9501	40	236.2488			
Uyum yokluğu	9381.5760	38	246.8836	7.2215	0.1289	Anlamsız
Salt hatâ	68.3742	2	34.1871			
Toplam	85221.7592	50				

Çizelge 6.64 Tasarım 4 basma dayanımı için varyans analizi (D_{en büyük} = 22.4 mm)

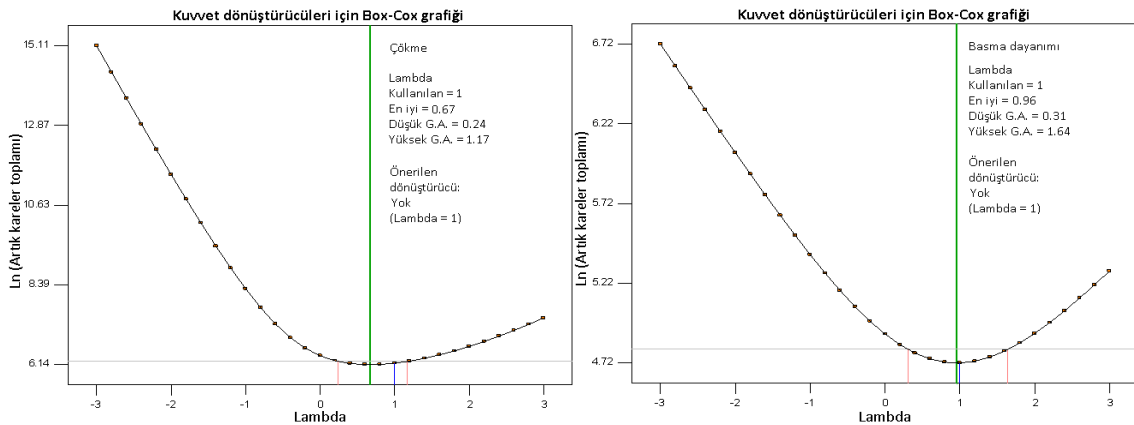
Varyans analizi [Kısmî kareler toplamı - Tip III], 1/Karekök(Basma dayanımı), MPa						
Asıl	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	Anlamlılık
Blok	0.0005	2	0.0003			
Model	0.0140	12	0.0012	127.3779	< 0.0001	Anlamlı
A-(ç/(ç+s+h))	0.0001	1	0.0001	6.0168	0.0191	Anlamlı
B-(D)	0.0000	1	0.0000	1.1921	0.2822	Anlamsız
C-(f _{cc})	0.0060	1	0.0060	656.8497	< 0.0001	Anlamlı
D-(k _k)	0.0000	1	0.0000	0.6869	0.4127	Anlamsız
E-(KM)	0.0000	1	0.0000	1.0240	0.3183	Anlamsız
F-(AT)	0.0003	1	0.0003	29.8242	< 0.0001	Anlamlı
AC	0.0000	1	0.0000	1.5235	0.2251	Anlamsız
BC	0.0000	1	0.0000	5.2105	0.0285	Anlamlı
A ²	0.0000	1	0.0000	1.2611	0.2689	Anlamsız
D ²	0.0001	1	0.0001	10.9222	0.0022	Anlamlı
E ²	0.0001	1	0.0001	13.5744	0.0007	Anlamlı
A ² C	0.0000	1	0.0000	3.0121	0.0912	Anlamlı
Artık	0.0003	36	0.0000			
Uyum yokluğu	0.0003	34	0.0000	4.7485	0.1888	Anlamsız
Salt hatâ	0.0000	2	0.0000			
Toplam	0.0149	50				

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda D_{en büyük} = 11.2 mm (Tasarım 4) için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme (Çizelge 6.61) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, E, F ana etki terimleri, AC, AD iki etkileşimli terimler ve A² ikinci derece ana teriminin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AD iki etkileşimli terimin anlamlı etki oluşturmadığı görülmektedir (p(AD) = 0.0676 > 0.05). Çökme varyans analiz sonuçlarına

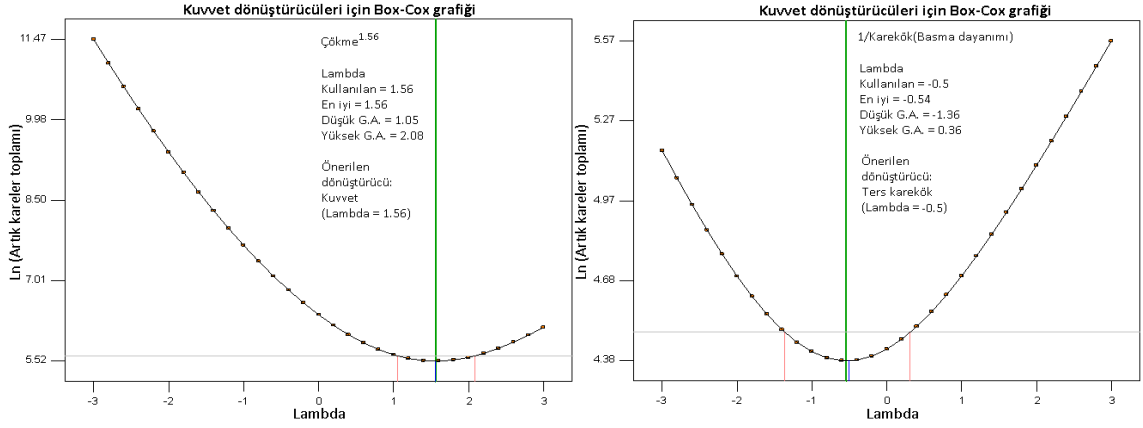
D ana terimi etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi. $\alpha = 0.10$ ve $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı (Çizelge 6.62) tepki değişkeni üzerinde A, C ana terimleri ve B^2 , D^2 ikinci derece ana terimlerinin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. Basma dayanımı varyans analiz sonuçlarına B, D ana terimleri etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

$\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde tersine eleme regresyon sonucunda $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm (Tasarım 4) için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde Çökme (Çizelge 6.63) tepki değişkeni üzerinde A, B, C, E, F ana terimleri, BD iki etkileşimli terimi ve B^2 ikinci dereceden ana teriminin anlamlı etki yaptığı, $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece BD iki etkileşimli terimin anlamlı katkı yapmadığı görülmektedir. $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı (Çizelge 6.64) tepki değişkeni üzerinde A, C, F ana terimlerin, BC iki etkileşimli terimin, D^2 , E^2 ikinci dereceden ana terimlerin ve A^2C teriminin anlamlı etki yaptığı görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece A^2C teriminin anlamlı katkı yapmadığı görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına B, D, E, AC ve A^2 terimleri etkidüzensel bir model oluşturulabilmesi için eklendi.

Tasarım 4 uygulamasında tepki değişkenlerinin modellenen dönüştürücüleri Box-Cox grafiklerinden elde edilen Lambda değerine göre belirlendi. Box-Cox grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için sırasıyla Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te verildi.



Şekil 6.23 Box-Cox grafikleri, Tasarım 4, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm



Şekil 6.24 Box-Cox grafikleri, Tasarım 4, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Tasarım 4 $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ 'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.31), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.32) ve (6.33)'de görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış ve gerçek değerlere ait modeller (6.34) ve (6.35)'de verildi.

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } \bar{C} &= 12.65464 - 12.360612 \cdot A + 3.4969885 \cdot B - 2.2318338 \cdot C \\ &- 0.3883748 \cdot D + 1.6837155 \cdot E - 6.9770833 \cdot F - 5.7929381 \cdot AC \\ &- 2.1657248 \cdot AD - 9.7409113 \cdot A^2 \end{aligned} \quad (6.31)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } \bar{C} &= -3547.2051 + 16547.758 \cdot A + 0.4662651 \cdot B + 7.5958872 \cdot C \\ &+ 19.89174 \cdot D + 16.837155 \cdot E - 24.334964 \cdot AC \\ &- 62.77463 \cdot AD - 18413.821 \cdot A^2 \end{aligned} \quad (6.32)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } \bar{C} &= -3561.1593 + 16547.758 \cdot A + 0.4662651 \cdot B + 7.5958872 \cdot C \\ &+ 19.89174 \cdot D + 16.837155 \cdot E - 24.334964 \cdot AC \\ &- 62.77463 \cdot AD - 18413.821 \cdot A^2 \end{aligned} \quad (6.33)$$

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } f_c &= 36.309929 + 4.6021853 \cdot A - 0.3134715 \cdot B + 8.2178774 \cdot C + 0.0056993 \cdot D \\ &- 2.0131264 \cdot B^2 - 2.4121521 \cdot D^2 \end{aligned} \quad (6.34)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer; } f_c &= -8867.1304 + 200.09501 \cdot A + 24.115721 \cdot B + 0.7939978 \cdot C + 142.58879 \cdot D \\ &- 0.0357889 \cdot B^2 - 1.0720676 \cdot D^2 \end{aligned} \quad (6.35)$$

Tasarım 4 $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ 'de çökme tepki değişkeni için oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.36), kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.37) ve (6.38)'de görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni için ise oluşturulan model, kodlanmış değerlere göre (6.39),

kalker ve bazalt kategorik etki değişkenlerine göre gerçek değerlere ait modeller ise sırasıyla (6.40) ve (6.41)'de verildi.

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } \zeta^{1.56} &= 77.55673328 - 55.92765826 \cdot A + 23.97013602 \cdot B \\ &- 12.03144065 \cdot C - 2.578570718 \cdot D + 13.81137545 \cdot E \\ &- 28.5449926 \cdot F + 5.001579906 \cdot BD - 23.15305333 \cdot B^2 \end{aligned} \quad (6.36)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } \zeta^{1.56} &= -31921.53658 - 2330.319094 \cdot A + 236.3518776 \cdot B \\ &- 1.162458034 \cdot C - 2276.496665 \cdot D + 138.1137545 \cdot E \\ &+ 6.668773208 \cdot BD - 0.411609837 \cdot B^2 \end{aligned} \quad (6.37)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } \zeta^{1.56} &= -31978.62657 - 2330.319094 \cdot A + 236.3518776 \cdot B \\ &- 1.162458034 \cdot C - 2276.496665 \cdot D + 138.1137545 \cdot E \\ &+ 6.668773208 \cdot BD - 0.411609837 \cdot B^2 \end{aligned} \quad (6.38)$$

$$\begin{aligned} \text{Kod değer; } l/\sqrt{f_c} &= 0.152951429 - 0.00854496 \cdot A + 0.000570446 \cdot B - 0.022344996 \cdot C \\ &- 0.000491633 \cdot D - 0.000536252 \cdot E - 0.00265711 \cdot F \\ &+ 0.004591259 \cdot AC - 0.001296473 \cdot BC + 0.00433987 \cdot A^2 \\ &+ 0.005186857 \cdot D^2 + 0.007100451 \cdot E^2 + 0.0064924 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.39)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Kalker; } l/\sqrt{f_c} &= 19.92026259 + 27.49195191 \cdot A + 0.000823463 \cdot B \\ &+ 0.128932381 \cdot C - 6.955304905 \cdot D - 1.851479668 \cdot E \\ &- 0.73948607 \cdot AC - 0.000016702 \cdot BC - 41.19988625 \cdot A^2 \\ &+ 0.518685714 \cdot D^2 + 0.710045058 \cdot E^2 + 1.0890 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.40)$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek değer, Bazalt; } l/\sqrt{f_c} &= 19.91494837 + 27.49195191 \cdot A + 0.000823463 \cdot B \\ &+ 0.128932381 \cdot C - 6.955304905 \cdot D - 1.851479668 \cdot E \\ &- 0.73948607 \cdot AC - 0.000016702 \cdot BC - 41.19988625 \cdot A^2 \\ &+ 0.518685714 \cdot D^2 + 0.710045058 \cdot E^2 + 1.0890 \cdot A^2C \end{aligned} \quad (6.41)$$

Tasarım 4 çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait istatistik sonuçlar, $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ için Çizelge 6.65'te ve $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ için Çizelge 6.66'da görülmektedir.

Çizelge 6.65 Tasarım 4 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$)

Çökme	Artıkların Standard sapması	3.3960	R^2	0.8154
	Ortalama	12.8426	Ayarlanmış R^2	0.7758
	Değişim katsayısı %	26.4435	Tahmini R^2	0.6920
	Tahmini artık kareler toplamı	807.9988	Uygun kesinlik	14.6893

Çizelge 6.65 Devam

Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	1.5815	R^2	0.9540
	Ortalama	32.9530	Ayarlanmış R^2	0.9479
	Değişim katsayısı %	4.7994	Tahmini R^2	0.9341
	Tahmini artık kareler toplamı	161.2042	Uygun Kesinlik	36.2035

Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.

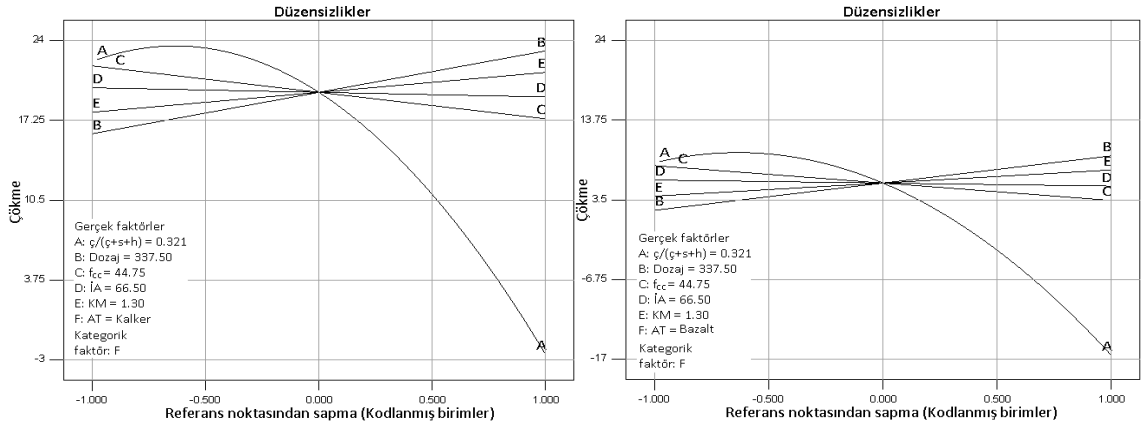
Çizelge 6.66 Tasarım 4 çökme ve basma dayanımına ait istatistik sonuçlar
($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Çökme	Artıkların Standard sapması	15.3704	R^2	0.8794
	Ortalama	65.4198	Ayarlanmış R^2	0.8552
	Değişim katsayısı %	23.4950	Tahmini R^2	0.7942
	Tahmini artık kareler toplamı	16116.9633	Uygun kesinlik	18.1559
Basma Dayanımı	Artıkların Standard sapması	0.0030	R^2	0.9770
	Ortalama	0.1606	Ayarlanmış R^2	0.9693
	Değişim katsayısı %	1.8861	Tahmini R^2	0.9472
	Tahmini artık kareler toplamı	0.0008	Uygun Kesinlik	31.8146

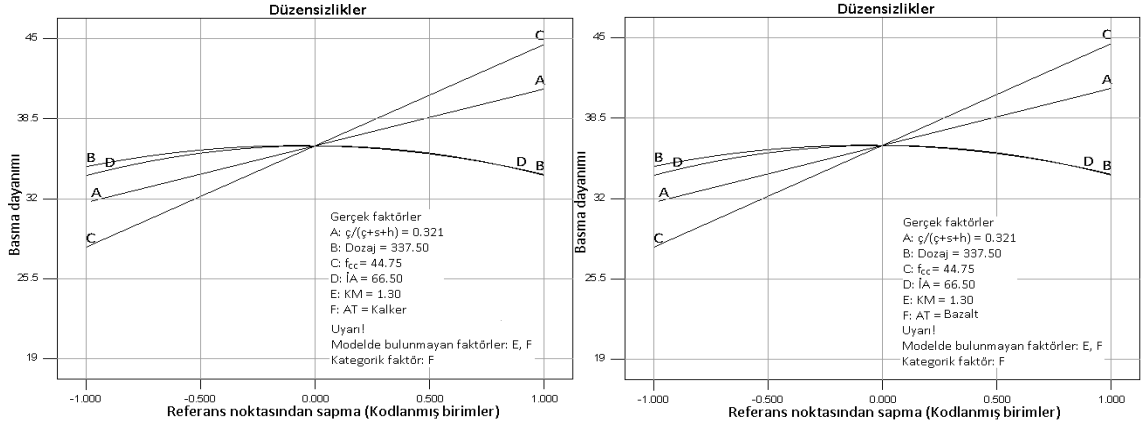
Not: Elde edilen değerler uygulanan tepki dönüştürücülerine göre belirlenmiştir.

Tasarım 4 tanımlar durum istatistiği değerleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için çökme ve basma dayanımlarına ait değerler sırasıyla EK A-11, EK A-12 ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için çökme ve basma dayanımlarına ait değerler sırasıyla EK A-13 ve EK A-14'de verildi.

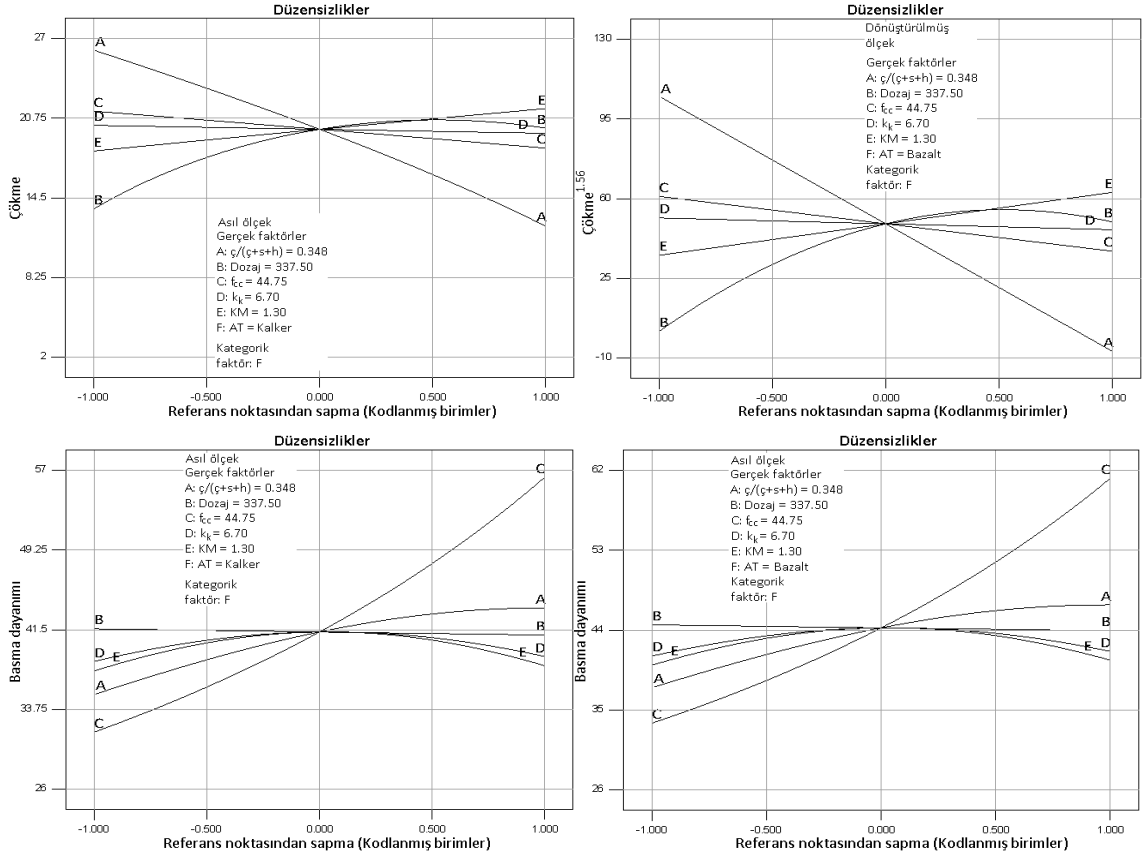
Tasarım 4 çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerine ait düzensizlik grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da verildi.



Şekil 6.25 Tasarım 4 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

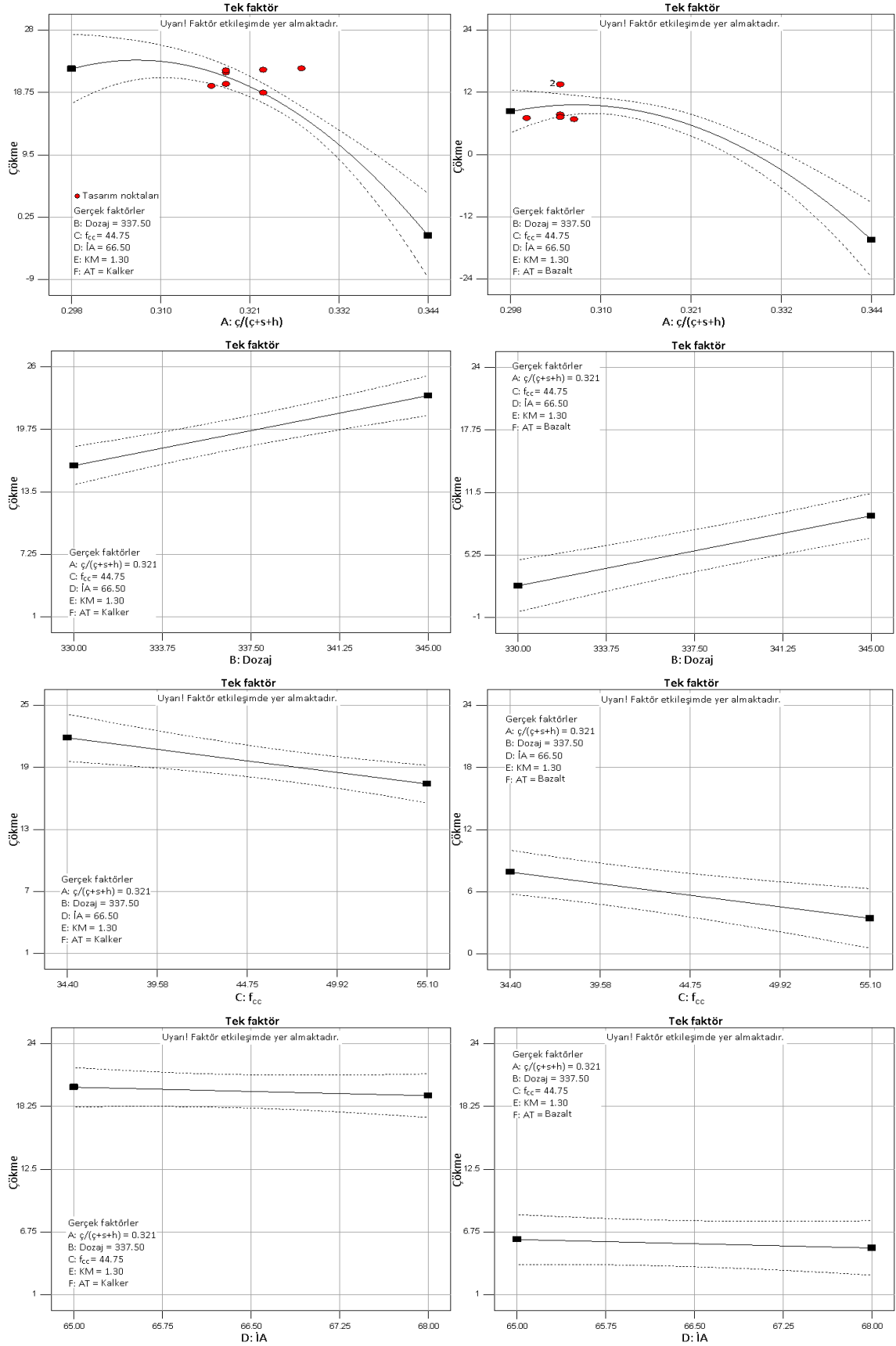


Şekil 6.25 Devam

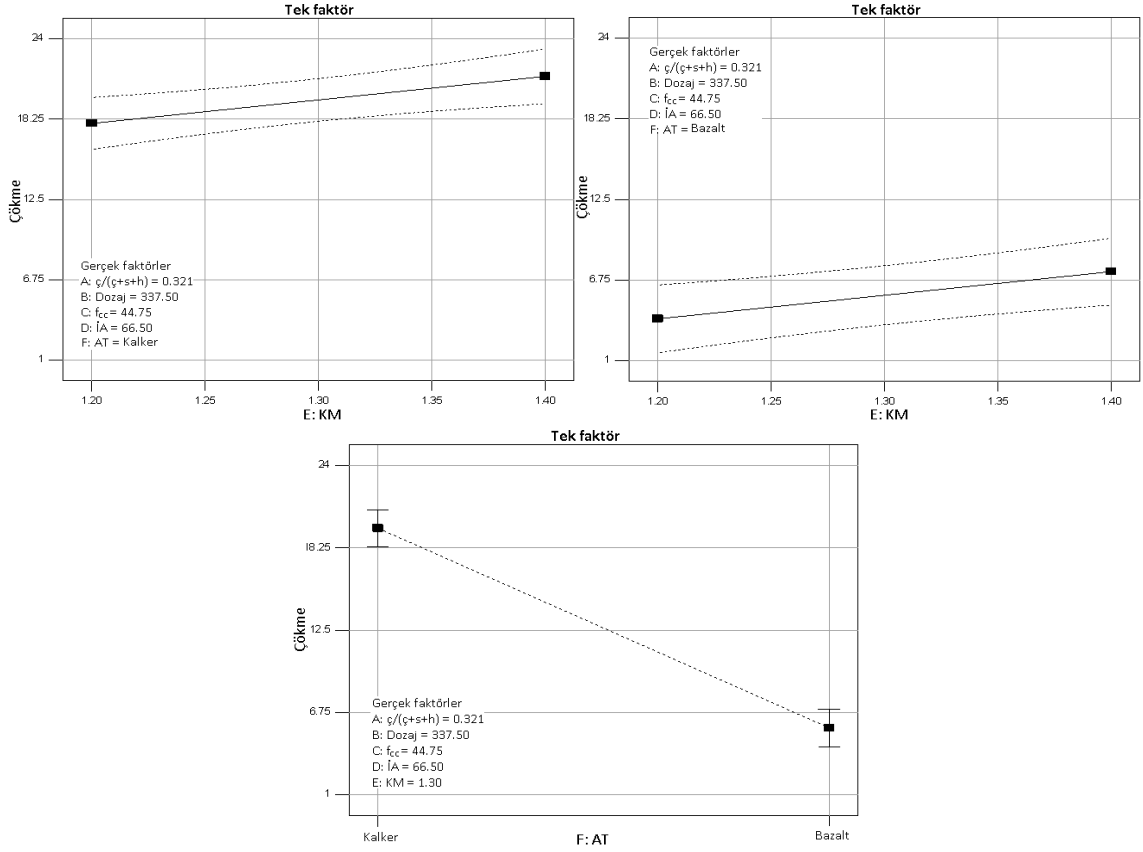


Şekil 6.26 Tasarım 4 düzensizlik grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

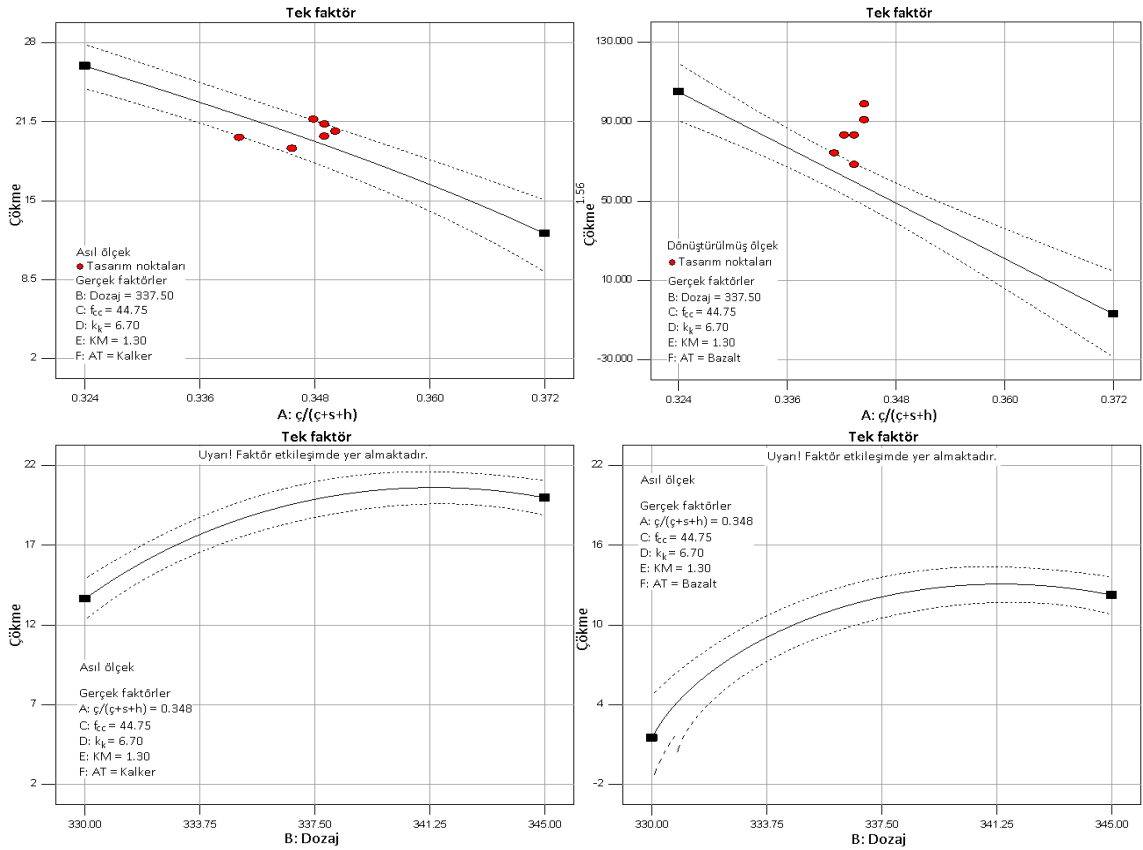
Tasarım 4 sonucu elde edilen çökme tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için sırasıyla Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de, basma dayanımı tepki değişkeninin etki değişkenlerine göre değişim grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da verildi.



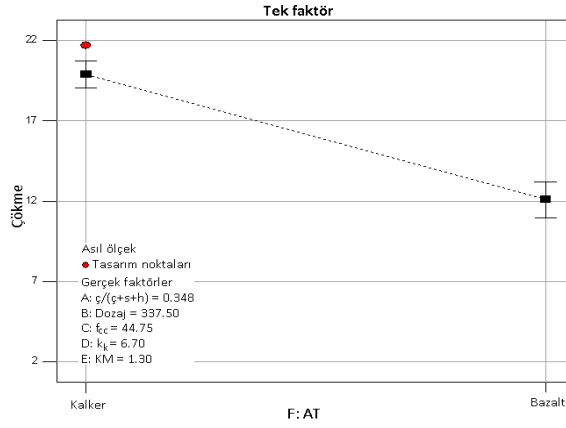
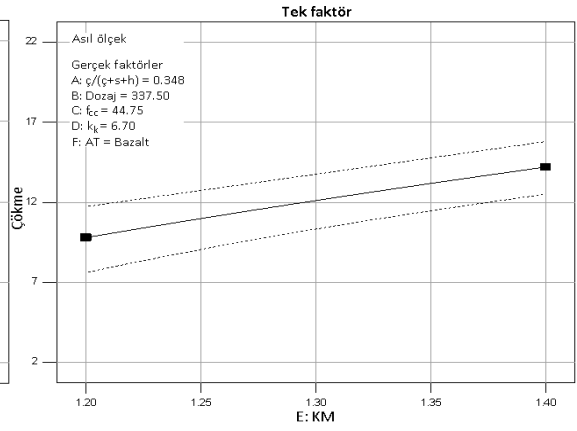
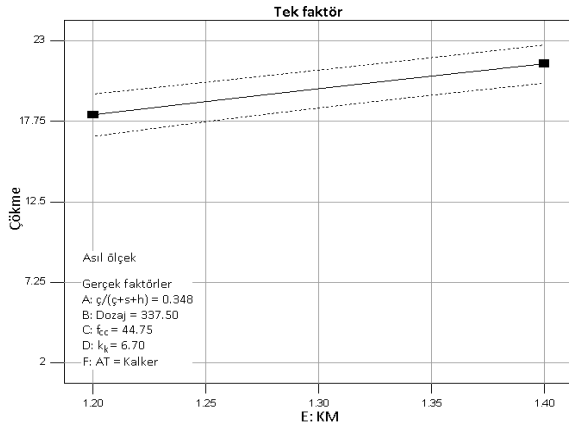
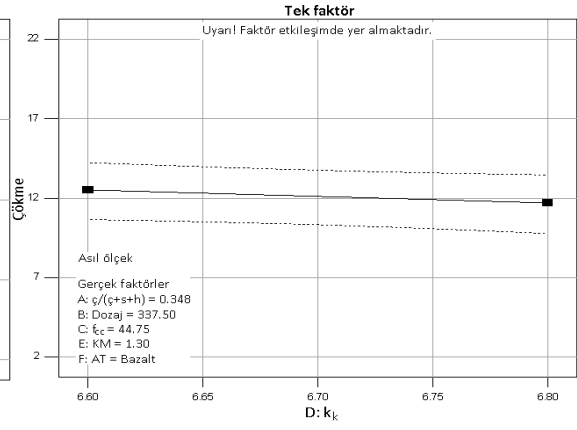
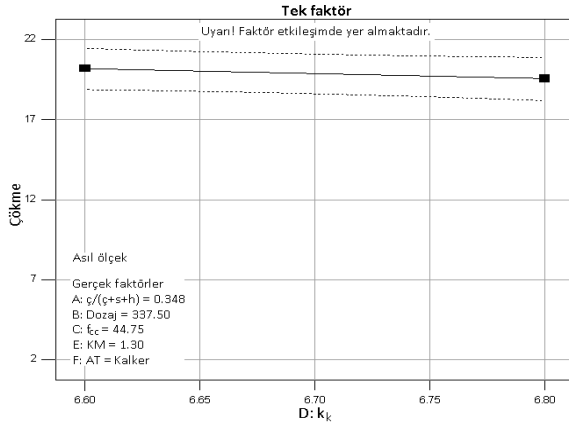
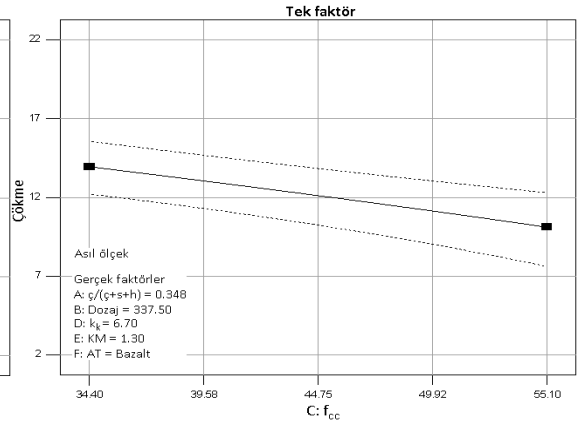
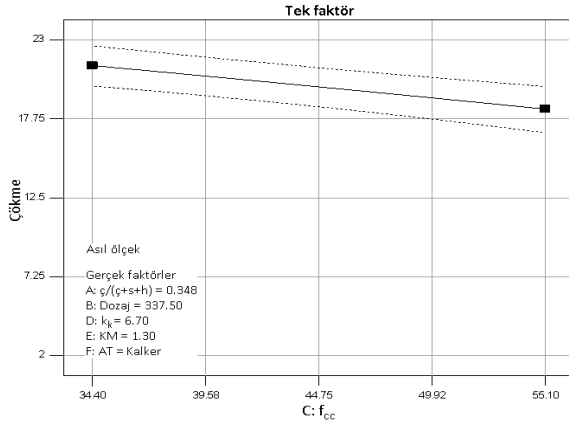
Şekil 6.27 Tasarım 4 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri,
D_{en büyük} = 11.2 mm



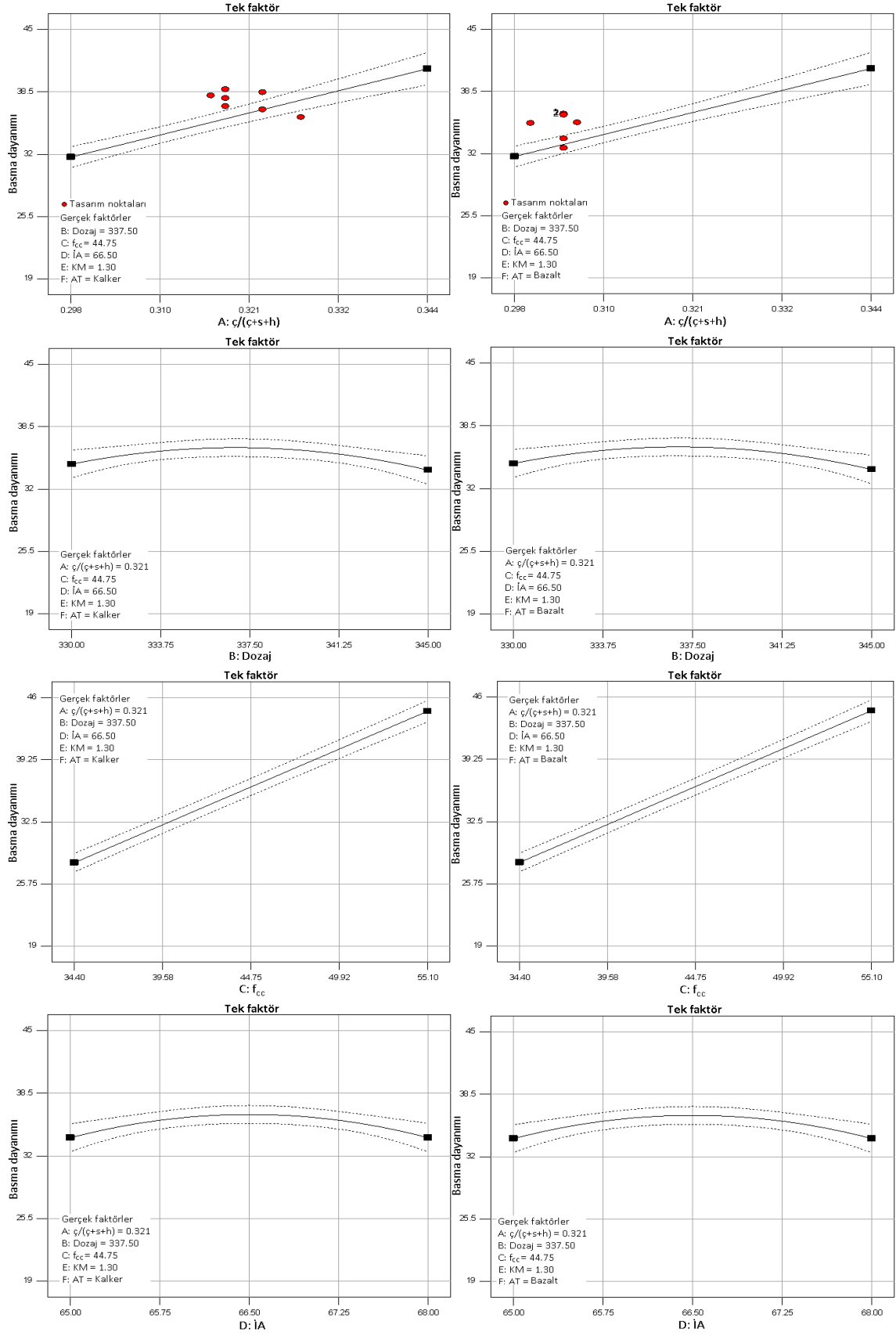
Şekil 6.27 Devam



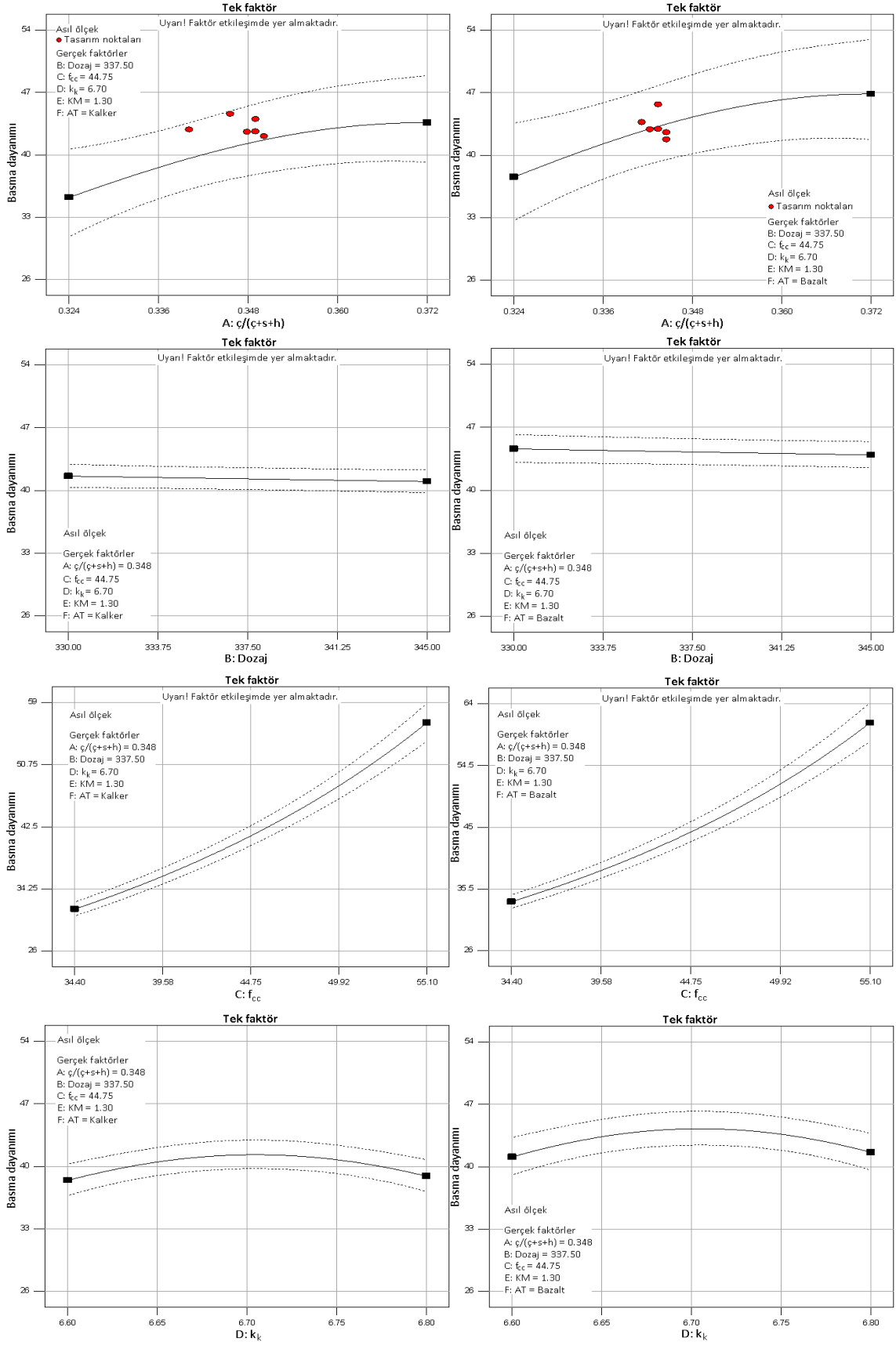
Şekil 6.28 Tasarım 4 çökmenin A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri,
Den büyük = 22.4 mm



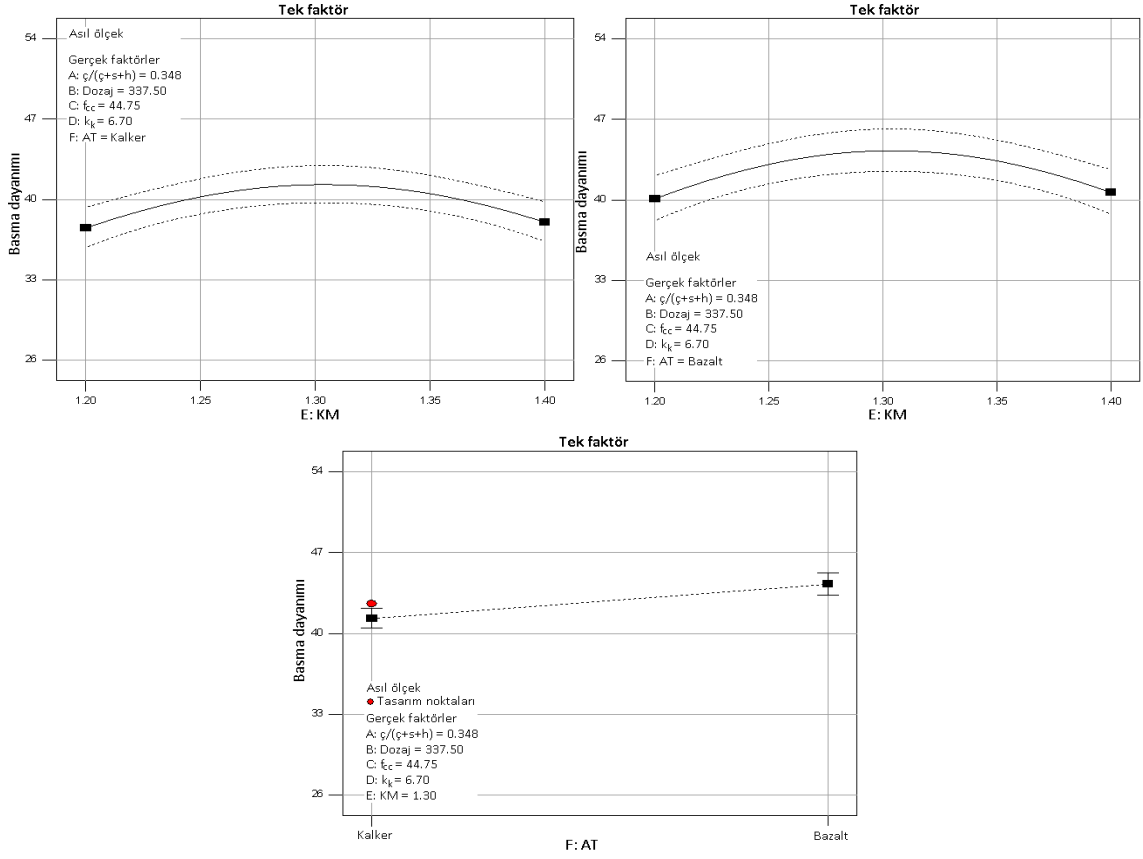
Şekil 6.28 Devam



Şekil 6.29 Tasarım 4 basma dayanımının A, B, C ve D etki değişkenlerine göre değişimleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$

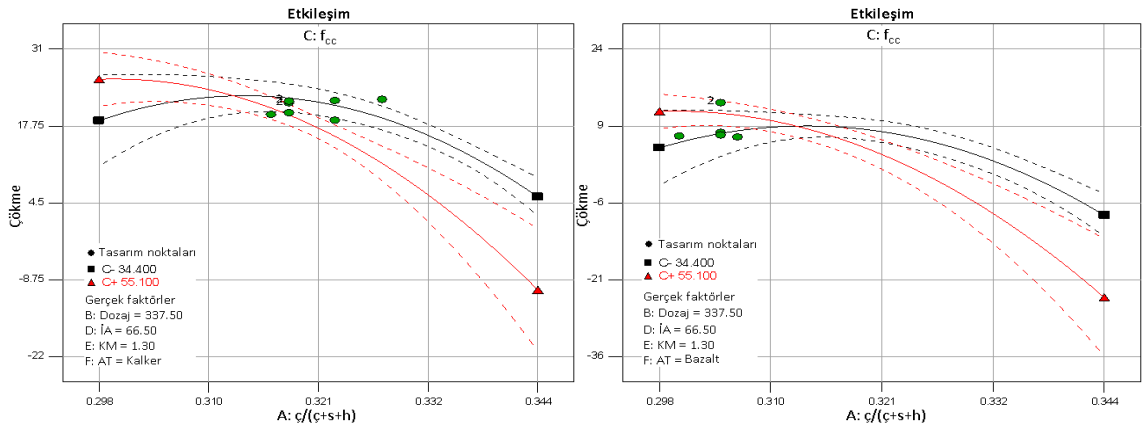


Şekil 6.30 Tasarım 4 basma dayanımının A, B, C, D, E ve F etki değişkenlerine göre değişimleri, D_{en} büyük = 22.4 mm

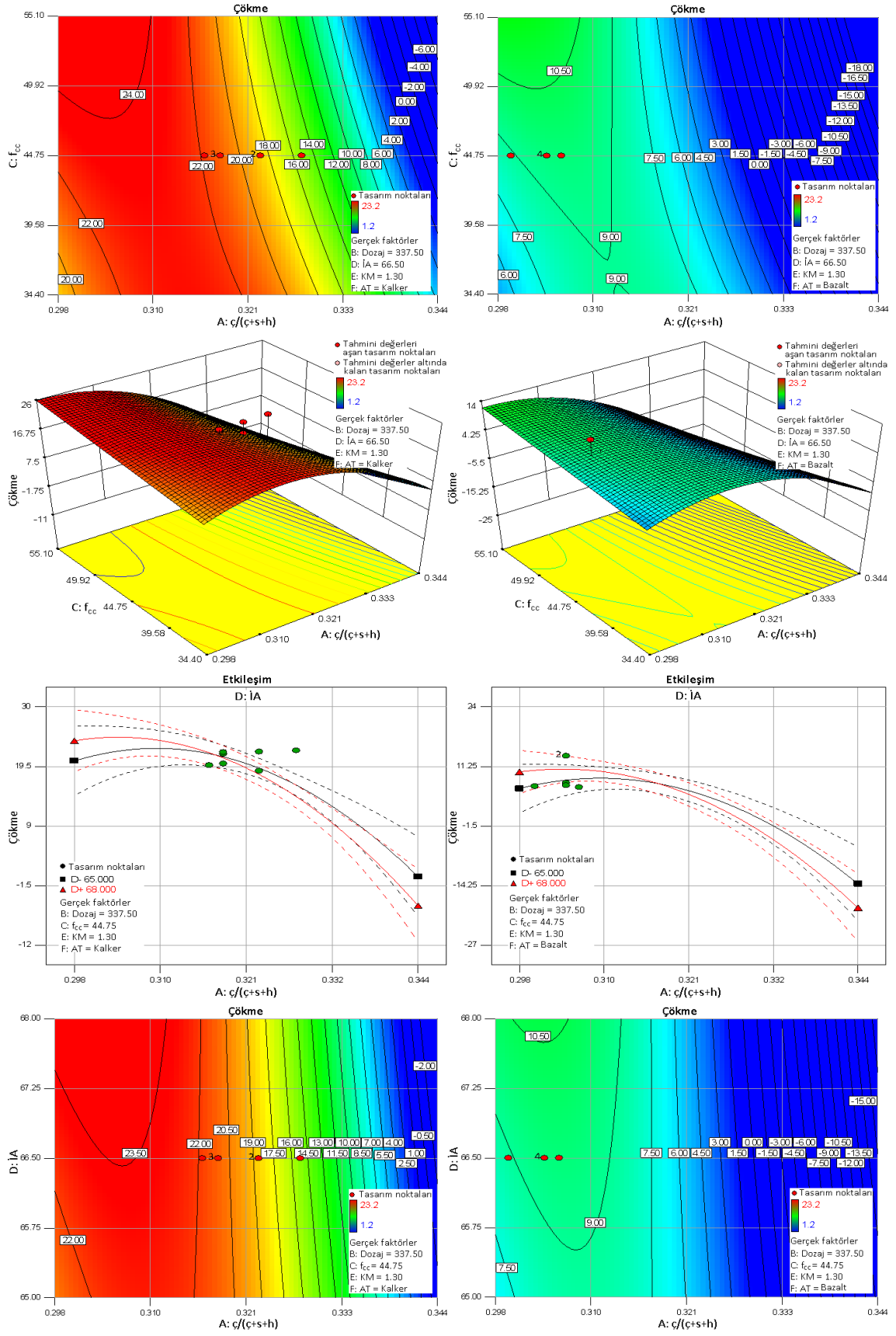


Şekil 6.30 Devam

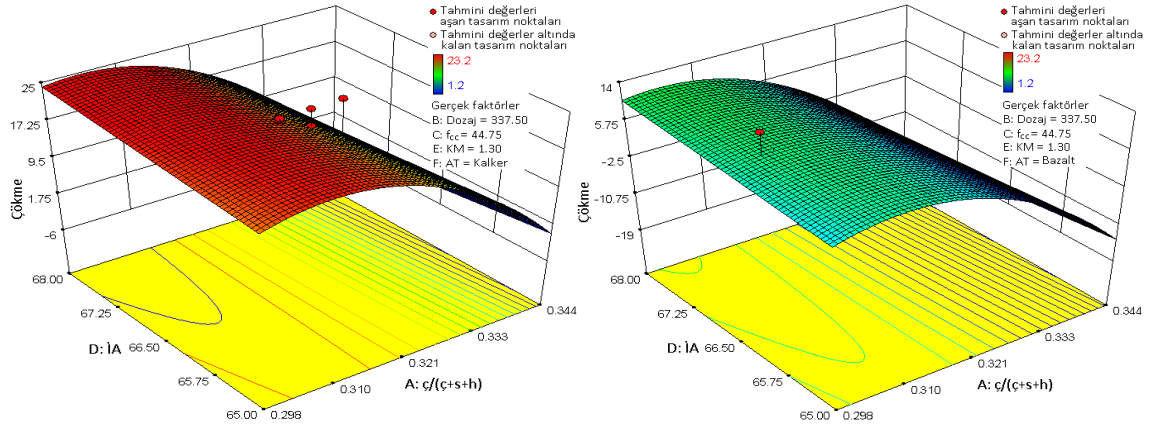
Tasarım 4 sonucu elde edilen çökme tepki değişkeninin iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ için Şekil 6.31’de verildi. Basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde iki faktör etkileşimli terimlerin anlamlı etkisi bulunmamaktadır. $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için çökme ve basma dayanımı tepki değişkenlerinin iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri sırasıyla Şekil 6.32 ve Şekil 6.33’te görülmektedir.



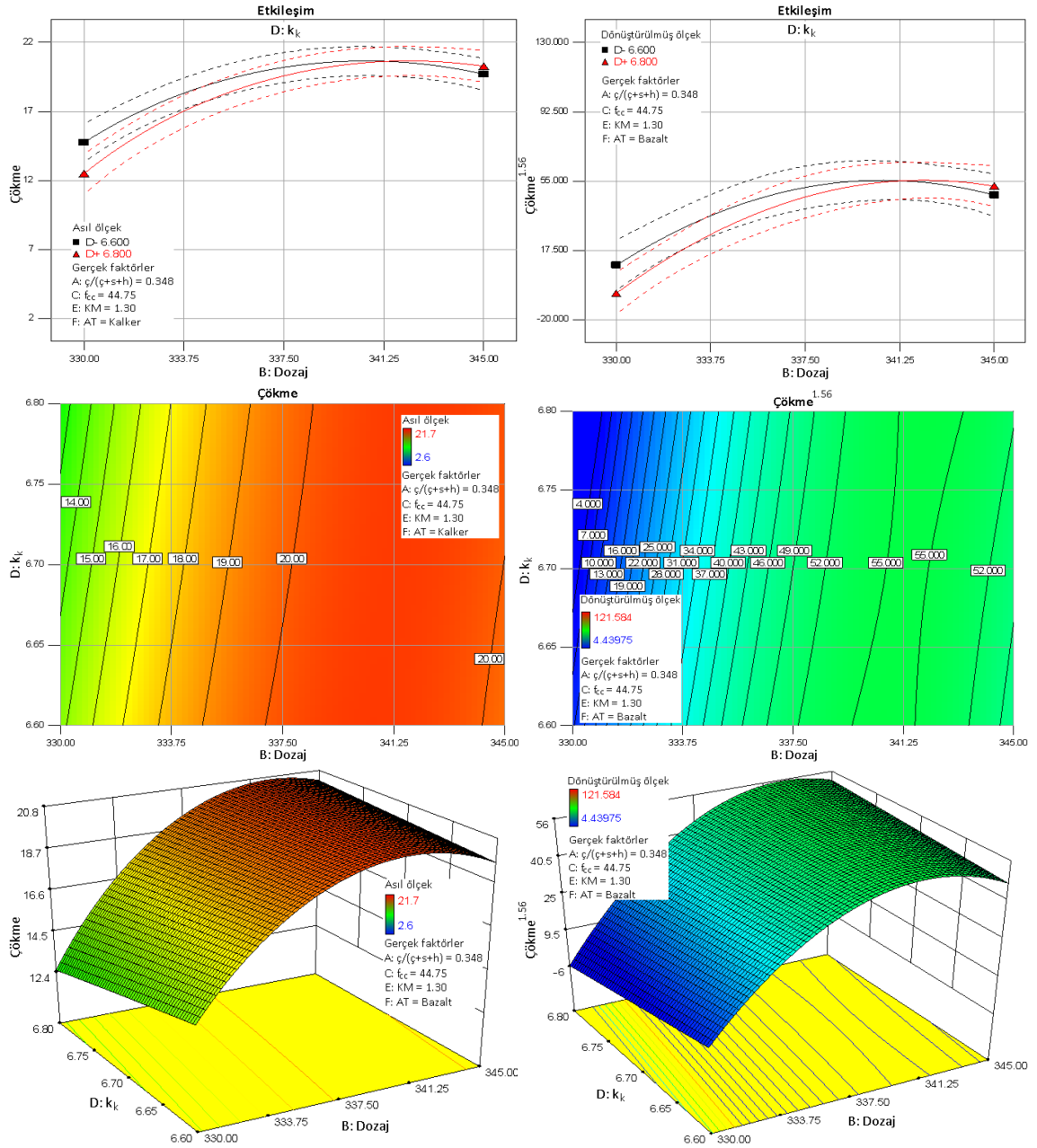
Şekil 6.31 Tasarım 4 çökmenin AC ve AD iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$



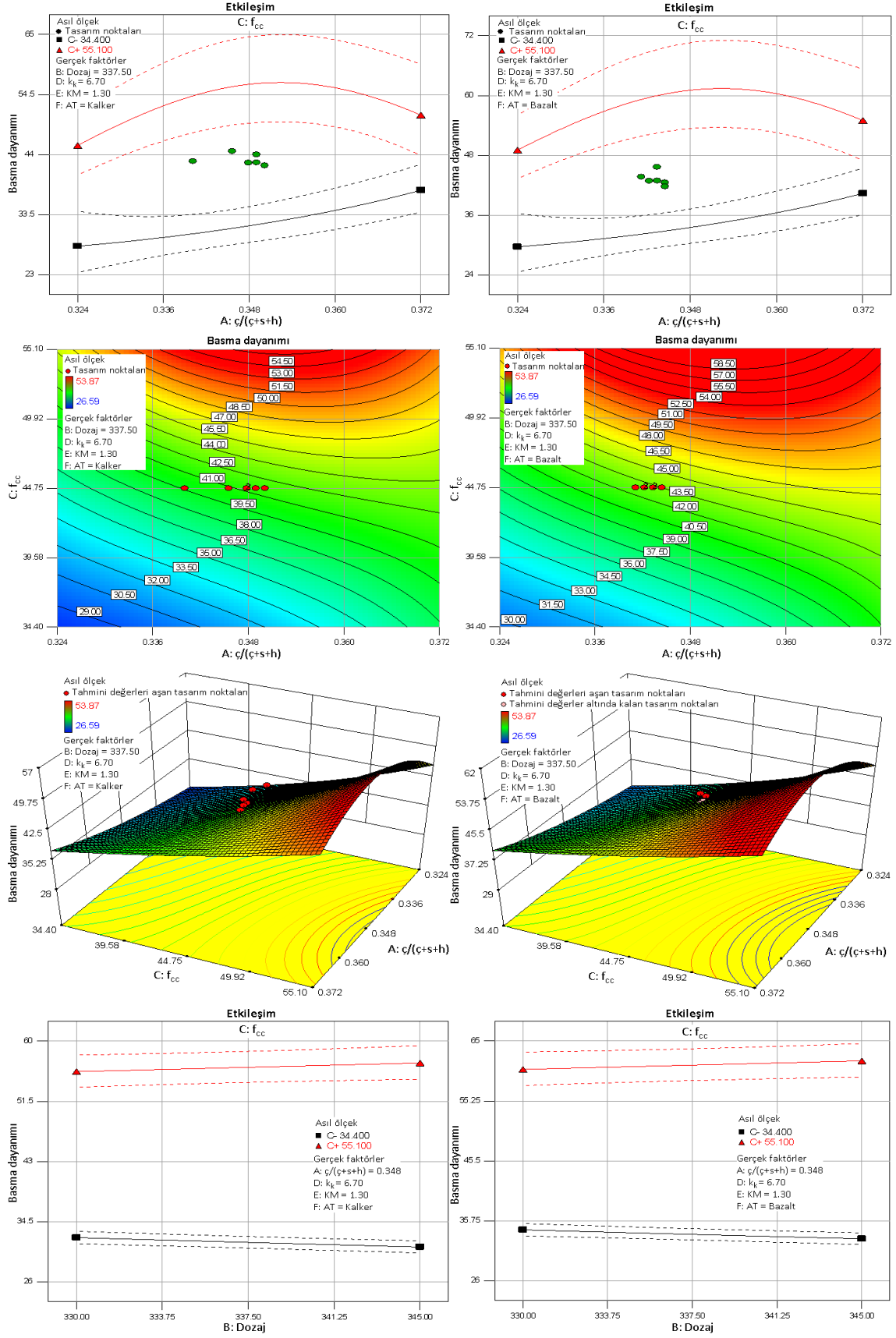
Şekil 6.31 Devam



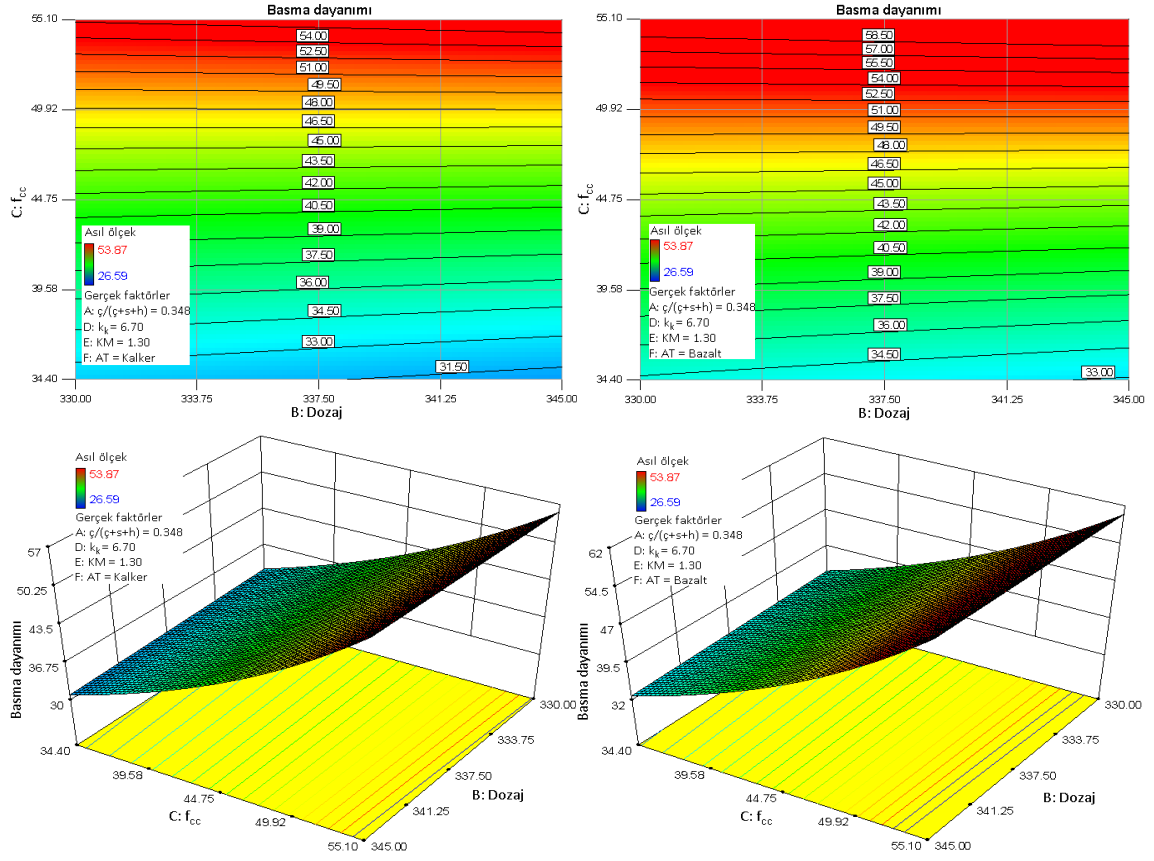
Şekil 6.31 Devam



Şekil 6.32 Tasarım 4 çökmenin BD iki faktör etkileşimine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$



Şekil 6.33 Tasarım 4 basma dayanımının AC ve BC iki faktör etkileşimlerine ait etkileşim, kontur ve 3D grafikleri, D_{en} büyük = 22.4 mm



Şekil 6.33 Devam

6.6 Farklı Beton Sınıfları için Çökme ve Basma Dayanımı Eniyilemesi

D-Eniyileme tasarım sonucu oluşturulan tepki modelleri dikkate alınarak çoklu tepkilerin (çökme değeri ve basma dayanımı) eşzamanlı eniyilemesi beton sınıflarına göre arzu edilebilirlik fonksiyonları kullanılarak Tasarım 1 için gerçekleştirildi.

Her bir beton sınıfı için basma dayanımı alt ve üst sınırları $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde kabul edilebilir standard sapmalara göre Çizelge 6.67’de verildi [29, 63, 76, 104]. Çökme değerine ait alt ve üst sınırlar uygulamada pompalanabilirlik için gerekli 100 mm – 210 mm değerleri seçildi. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm tasarımları için gerçekleştirilen eniyilemelerde kullanılan kısıtlar, ağırlık değerleri ve önem katsayıları Çizelge 6.68’de verildi.

Çizelge 6.67 Eniyileme için beton sınıfı alt ve üst sınırları [29, 63, 76, 104]

Beton sınıfı	α	t_α	σ	Küp dayanımı	
				Alt sınır	Üst Sınır
C20/25	0.05	1.645	3	20.07	29.94
C25/30	0.05	1.645	3.25	24.65	35.35

Çizelge 6.67 Devam

C30/37	0.05	1.645	3.75	30.83	43.17
C35/45	0.05	1.645	3.9	38.58	51.42
C40/50	0.05	1.645	4	43.42	56.58
C45/55	0.05	1.645	3.75	48.83	61.17

Çizelge 6.68 Eniyileme için kullanılan kısıtlar, ağırlık değerleri ve önem katsayıları

Kısıtlar, C 20/25								
Faktör	Hedef			Alt sınır*	Üst sınır*	Alt ağırlık	Üst ağırlık	Önem
	1	2	3					
S/Ç	Min.	Min.	Min.	55/50	60/55	1	3	3
Dozaj	Min.	Min.	Min.	330	345	1	3	3
f_{cc}	34.40	44.75	55.10	34.4	55.1	1	1	3
iA/k_k	Aralık	Aralık	Aralık	65/6.6	68/6.8	1	1	3
KM	Min.	Min.	Min.	1.2	1.4	1	3	3
AT	Aralık	Aralık	Aralık	Kalker	Bazalt	1	1	3
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	20.07	29.94	1	1	3
Ç	Aralık	Aralık	Aralık	10	21	1	1	3
Kısıtlar, C 25/30**								
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	24.64	35.35	1	1	3
Kısıtlar, C 30/37**								
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	30.83	43.17	1	1	3
Kısıtlar, C 35/45**								
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	38.58	51.42	1	1	3
Kısıtlar, C 40/50**								
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	43.42	56.58	1	1	3
Kısıtlar, C 45/55**								
f_c	Aralık	Aralık	Aralık	48.83	61.17	1	1	3
* $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm/D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$, **Diğer etki değişkenlerine ait kısıtlar C 20/25 beton sınıfıyla aynıdır.								

$D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ tasarımları için eniyileme sonucu elde edilen ilk iki sonuca ait değerler sırasıyla Çizelge 6.69 ve Çizelge 6.70'te verildi.

Çizelge 6.69 Eniyileme sonucu elde edilen ilk iki sonuca ait değerler ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$)

Beton sınıfı	Hedef	S/Ç	Dozaj	f_{cc}	iA	KM	AT	f_c	Ç	Arzu edilebilirlik	
C20/25	1	55.00	330.00	34.40	68.00	1.20	Kalker	25.61	12.85	1	
		55.00	330.00	34.40	66.50	1.20	Kalker	27.51	12.23	1	
	2	58.36	331.68	44.75	67.83	1.26	Bazalt	29.94	10.00	0.196462	
		58.41	331.36	44.75	67.81	1.26	Bazalt	29.94	10.00	0.196380	
	3	Çözüm yok									

Çizelge 6.69 Devam

C25/30	1	55.00	330.00	34.40	68.00	1.20	Kalker	25.61	12.85	1
		55.00	330.00	34.40	66.50	1.20	Kalker	27.51	12.23	1
	2	55.00	330.00	44.75	67.70	1.20	Kalker	33.68	10.19	0.999999
		55.00	330.00	44.75	67.64	1.20	Kalker	33.79	10.22	0.999999
	3	58.67	330.00	55.10	68.00	1.20	Bazalt	35.35	11.19	0.263906
		58.71	330.00	55.10	68.00	1.20	Bazalt	35.27	11.19	0.258359
C30/37	1	Çözüm yok								
	2	55.00	330.00	44.75	67.70	1.20	Kalker	33.68	10.19	0.999999
		55.00	330.00	44.75	67.91	1.20	Kalker	33.26	10.01	0.999999
	3	55.56	330.00	55.10	67.51	1.20	Kalker	42.54	10.00	0.887638
		55.57	330.00	55.10	67.27	1.20	Kalker	42.98	10.00	0.886971
	C35/45	1	Çözüm yok							
2		Çözüm yok								
3		55.56	330.00	55.10	67.41	1.20	Kalker	42.72	10.00	0.888044
		55.55	330.03	55.10	67.37	1.20	Kalker	42.80	10.00	0.887154
C40/50		1	Çözüm yok							
	2	Çözüm yok								
	3	55.61	330.00	55.10	67.00	1.20	Kalker	43.42	10.00	0.878831
		55.59	330.00	55.10	67.00	1.20	Kalker	43.42	10.00	0.877666
	C45/55	1	Çözüm yok							
2		Çözüm yok								
3		Çözüm yok								

Çizelge 6.70 Eniyileme sonucu elde edilen ilk iki sonuca ait değerler ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$)

Beton sınıfı	Hedef	S/Ç	Dozaj	f_{cc}	iA	KM	AT	f_c	Ç	Arzu edilirlik
C20/25	1	51.84	331.13	34.40	6.80	1.20	Kalker	29.94	10.16	0.583920
		51.94	330.90	34.40	6.80	1.20	Kalker	29.89	10.00	0.574385
	2	Çözüm yok								
	3	Çözüm yok								
C25/30	1	50.00	333.13	34.40	6.66	1.20	Kalker	33.09	10.00	0.780318
		50.00	333.12	34.40	6.63	1.20	Kalker	32.75	10.00	0.780318
	2	54.02	330.06	44.75	6.80	1.20	Kalker	35.35	12.76	0.195782
		54.07	330.04	44.75	6.80	1.20	Kalker	35.31	12.80	0.185662
	3	Çözüm yok								
C30/37	1	50.00	333.12	34.40	6.78	1.20	Kalker	31.81	10.00	0.780317
		50.00	333.12	34.40	6.67	1.20	Kalker	33.16	10.00	0.780317
	2	50.00	332.44	44.75	6.65	1.20	Kalker	40.68	10.00	0.837393
		50.00	332.44	44.75	6.60	1.20	Kalker	39.68	10.00	0.837391
	3	54.68	331.21	55.10	6.80	1.20	Kalker	43.17	15.89	0.059660
		54.74	330.00	55.10	6.80	1.20	Kalker	43.17	14.56	0.052431

Çizelge 6.70 Devam

C35/45	1	Çözüm yok								
	2	50.00	332.44	44.75	6.69	1.20	Kalker	40.99	10.00	0.837395
		50.00	332.44	44.75	6.60	1.20	Kalker	39.62	10.00	0.837395
	3	50.00	331.66	55.10	6.79	1.20	Kalker	48.15	10.00	0.889221
		50.00	331.66	55.10	6.73	1.20	Kalker	50.45	10.00	0.889221
C40/50	1	Çözüm yok								
	2	50.00	330.00	44.75	6.69	1.27	Kalker	43.42	10.11	0.662508
		50.00	330.00	44.75	6.69	1.27	Kalker	43.42	10.12	0.661805
	3	50.00	331.66	55.10	6.60	1.20	Kalker	49.04	10.00	0.889222
		50.00	331.66	55.10	6.75	1.20	Kalker	49.96	10.00	0.889221
C45/55	1	Çözüm yok								
	2	Çözüm yok								
	3	50.00	331.66	55.10	6.77	1.20	Kalker	49.16	10.00	0.889221
		50.00	331.66	55.10	6.66	1.20	Kalker	50.60	10.00	0.88922

Farklı beton sınıfları için gerçekleştirilen eniyileme sonuçlarında, $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm betonlar için C20/25, C25/30 ve C30/37 beton sınıflarında arzuedilirlik değerinin 1, C35/40 ve C40/50 beton sınıflarında yaklaşık 0.90 elde edildi. C45/55 beton sınıfı için çözüm elde edilemedi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm betonlar için C20/25 beton sınıfında arzu edilirlilik değeri yaklaşık 0.6, C25/30 ve C30/37 beton sınıflarında yaklaşık 0.80, C35/45, C40/50 ve C45/55 beton sınıflarında yaklaşık 0.90 elde edildi.

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

Çok sayıda değişkenin etkin olduğu tasarımlarda eş zamanlı deneysel veri elde edilebilmesi için öncelikle kontrol edilebilir değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Kontrol edilebilir değişken sayısının yüksek olduğu (> 4) tasarımlarda süreç iyileştirme ve geliştirme aşamalarında istenen tepki değişkenlerinin elde edilebilmesi için öncelikle kontrol edilebilir etki değişkenlerinin değişim aralıklarının tepkiler işlevsel bölgeye düşecek şekilde belirlenmesi gerekir. Yaklaşık 34 etki değişkenine (Çizelge 6.1) sahip beton özelliklerinden işlenebilme (çökme) ve dayanımı (basma dayanımı) etkileyen kontrol edilebilir değişken sayısı 7 olarak (Çizelge 6.2) belirlendi. Hazır beton uygulamasında bütünsel nitelik denetimi çerçevesinde gerçekleştirilen deneylerden üretici tarafından elde edilen verilerin (Çizelge 6.3) sadece üç değişkene ait veriler olduğu görüldü. Bu durumda mevcut uygulamadan elde edilen verilerin yetersizliği ve değişim aralıklarının sınırlı olması gerçek tepki modellerinin elde edilmesi için yeterli olmayacağı anlaşıldı (Çizelge 6.4).

Kontrol edilebilir etki değişkenlerinin değişim aralıklarının belirlenmesi, pompalanabilir bir beton için gerekli çökme değeri dikkate alınarak 2^{7-3} , 2^{6-2} ve 2^{6-1} kısmî faktöriyel tasarımlar kullanılarak gerçekleştirildi (Çizelge 6.9 – 6.26). Tepki yüzeylerinin ve gerçek tepki fonksiyonlarının elde edilebilmesi için belirlenen değişim aralıkları Çizelge 6.27 ve Çizelge 6.28’de görülmektedir.

Çok sayıda değişkenin etkin olduğu uygulamalarda eş zamanlı ve yeterli veri elde edilebilmesi için gerekli deneme sayısı çok yüksektir. Gerekli deneme sayısının yüksek olması zaman, işçilik ve maliyetlerin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tepki yüzeyi yöntem bilgisi çerçevesinde faktör (etken) eleme tasarımları

gerçekleştirildi. Belirlenen değişim aralıklarında değişken sayısının azaltılması (deneme sayısının azaltılması) amacıyla 2^{7-3} kısmî faktöriyel tasarım kullanıldı (Bölüm 6.4.1). Belirlenen değişim aralıklarında, Çizelge 6.32 ve Çizelge 6.33 ($D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$) incelendiğinde “karışım agrega incelik modülü, k_k ” kontrol edilebilir etki değişkeninin, Çizelge 6.34 ve Çizelge 6.35 ($D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$) incelendiğinde “ince agrega miktarı, $\dot{I}A$ ” kontrol edilebilir etki değişkeninin çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri üzerinde anlamlı etki oluşturmadığı görüldü ($p(D-k_k) > 0.10$ ve $p(D-\dot{I}A) > 0.10$). Belirlenen değişim aralığında, her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde eğriselliğin anlamlı düzeyde ($p(\text{Eğrisellik}) < 0.0001$) olduğu görüldü. Hazır beton üretimi uygulamasında “karışım agrega incelik modülü, k_k ” ve “ince agrega miktarı, $\dot{I}A$ ” değişkenlerinin çökme ve basma dayanımını etkilediği bilinmektedir [40, 41, 45, 52, 62]. Eleme deneyleri aşamasında her iki etki değişkeninin etki düzeylerinin düşük çıkması, işlevsel bölgenin ve eş zamanlı veri elde edilebilmesi amacıyla kontrol edilebilir etki değişkenlerin değişim aralıklarının belirli, dar sınırlar içerisinde tutulmasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak eleme deneyleri aşamasında seçilen değişim aralıklarında her iki en büyük agrega tane büyüklüğü için kontrol edilebilir değişken sayısının 7’den 6’ya düşürülebileceği ve eğriselliğin anlamlı olması nedeniyle gerçek tepki modellerinin ikinci dereceden olması gerektiği görüldü.

Gerçek tepki modellerinin (ikinci derece model) elde edilebilmesi için minimum deneme noktası oluşturacak şekilde D–Eniyileme tasarımı kullanıldı. Gerçek tepki modelinin elde edilebilmesi için kontrol edilebilir değişkenlerin değişim bölgesinde değişim aralıklarının alt, üst ve merkez noktaları dışında ara noktalara da sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle D–Eniyileme tasarım nokta değişimi seçiminde ara noktalarda değere sahip olmayan “çimento standard dayanımı, f_{cc} ” etki değişkeninin ikinci dereceden ana terimi (C^2) dikkate alınmadı. $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$ için D–Eniyileme tasarım etki değişkenleri harf kodlaması Çizelge 6.36, ek deneme noktaları Çizelge 6.37 ve Çizelge 6.38’de görülmektedir. Elde edilen deneme noktalarında oluşturulan tasarımlara (Tasarım 1-4) ait eşdeş oluşturmayacak şekilde seçilen terimler Çizelge 6.47’de verildi. Tasarımlar için gerçekleştirilen varyans analizinden elde edilen etki düzeyi (p -değeri < 0.10) yüksek

terimler ve model istatistik özetleri çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri için sırasıyla Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de verildi (hiyerarşi nedeniyle modele eklenen etki düzeyi düşük terimler hariç).

Çizelge 7.1 Çökme model terimlerine ait p-değerleri ve model istatistik özetler

Tasarım	D _{en büyük} = 11.2 mm				D _{en büyük} = 22.4 mm			
	1	2	3	4*	1	2	3	4*
Tepki	√Çökme	√Çökme	√Çökme	Çökme	Çökme ^{1.45}	Çökme ^{1.45}	Çökme	Çökme ^{1.56}
Asıl	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri
Model	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
A-(S/Ç)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
B-(Dozaj)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
C-(f _{cc})	0.0049	0.0013	0.0047	0.0023	0.0028	0.0028	0.0013	0.0013
D-(İA, k _k)	0.0035	0.0517	0.0002				0.0303	
E-(KM)	0.0008	0.0005	0.0001	0.0051	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
F-(AT)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0002	< 0.0001
AB		-	0.0027			-	0.0820	
AC	0.0249	-	0.0523	0.0070		-	0.0017	
AD		-		0.0676		-	0.0048	
AE		-				-	0.0030	
AF		-	0.0069			-	0.0020	
BC	0.0876	-				-	0.0049	
BD		-				-	0.0005	0.0726
BE	-		0.0188	-	-		0.0002	-
BF	-	-		-	-	-	0.0034	-
CD	-	-		-	-	-	0.0026	-
CE	-	-		-	-	-	0.0006	-
CF	-	-		-	-	-	0.0047	-
DE	-	-		-	-	-	0.0041	-
DF	-	-		-	-	-	0.0018	-
EF	-	-	0.0056	-	-	-	0.0546	-
A ²			0.0034	0.0003			0.0094	
B ²					0.0001	0.0001	0.0017	< 0.0001
C ²	-	-	< 0.0001	-	-	-	-	-
D ²	0.0401	< 0.0001	-				-	
E ²	0.0413		-		0.0269	0.0269	-	
ABC	0.0001	-	< 0.0001			-		
ABD	-	-	-	-	-	-		-
ABE	-	-		-	-	-	0.0012	-
A ² C	0.0634	-	-			-	-	
UY**	0.4292	0.1571	0.5768	0.0004	0.0165	0.0165	0.0155	0.1289
R ²	0.9173	0.8569	0.9305	0.8154	0.9291	0.9291	0.9713	0.8794

Çizelge 7.1 Devam

Ayarlı R ²	0.8891	0.8360	0.9045	0.7758	0.9183	0.9183	0.9475	0.8552
Tahmini R ²	0.8037	0.7897	0.8665	0.6920	0.8941	0.8941	Tanımsız	0.7942
UK ^{***}	19.0952	18.9457	19.0838	14.6893	24.7253	24.7253	18.0368	18.1559
* A-(ç/(ç+s+h)), ** p-değeri < 0.05 = anlamlı, *** Uygun kesinlik								

Çizelge 7.2 Basma dayanımı model terimlerine ait p-değerleri ve model istatistik özetler

Tasarım	D _{en büyük} = 11.2 mm				D _{en büyük} = 22.4 mm			
	1	2	3	4*	1	2	3	4*
Tepki	$\sqrt{f_c}$	f_c	f_c	f_c	$\ln(f_c)$	$\ln(f_c)$	$1/\sqrt{f_c}$	$1/\sqrt{f_c}$
Asıl Model	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri	p-değeri
A-(S/Ç)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0191
B-(Dozaj)								
C-(f _{cc})	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
D-(İA, k _k)	0.0016				0.0475	0.0475	0.0259	
E-(KM)								
F-(AT)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001		0.0021	0.0021		< 0.0001
AB		-				-		
AC	0.0006	0.0453					< 0.0001	
AD		-				-	< 0.0001	
AE	0.0938	-				-		
AF		-				-	< 0.0001	
BC		-				-	< 0.0001	0.0285
BD		-	0.0161			-		
BE	-			-	-			-
BF	-	-		-	-	-		-
CD	-	-		-	-	-	< 0.0001	-
CE	-	-		-	-	-		-
CF	-	-	0.0421	-	-	-	< 0.0001	-
DE	-	-		-	-	-	0.0001	-
DF	-	-		-	-	-	< 0.0001	-
EF	-	-		-	-	-		-
A ²	0.0013	0.0153						
B ²				0.0066			< 0.0001	
C ²	-	-	< 0.0001	-	-	-	-	-
D ²	0.0211	0.0506	-	0.0010	0.0099	0.0099	-	0.0022
E ²			-		0.0014	0.0014	-	0.0007
ABC	0.0011	-				-		
ABD	-	-	-	-	-	-		-
ABE	-	-	0.0028	-	-	-	0.0804	-
A ² C		-	-			-	-	0.0912
UY ^{**}	0.0827	0.0344	0.0873	0.0441	0.0536	0.0536	0.0339	0.1888

Çizelge 7.2 Devam

R ²	0.9798	0.9661	0.9780	0.9540	0.9765	0.9765	0.9838	0.9770
Ayarlı R ²	0.9730	0.9611	0.9705	0.9479	0.9729	0.9729	0.9748	0.9693
Tahmini R ²	0.9618	0.9502	0.9561	0.9341	0.9651	0.9651	0.9301	0.9472
UK ^{***}	39.9781	42.9370	38.5749	36.2035	44.4052	44.4052	33.3038	31.8146
*A-(ç/(ç+s+h)), ** p-değeri < 0.05 = anlamlı, *** Uygun kesinlik								

Genel olarak çökme tepki değişkenine, model uygunluğunun iyileştirilmesi, tepki değişkeni dağılımlarının normal dağılımla örtüşmesi ve tepki varyansının dengelenmesi amacıyla $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ (Tasarım 4 hariç) ve $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ (Tasarım 3 hariç) için dönüştürücü uygulandı. Basma dayanımı tepki değişkenine ise $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ için dönüştürücü uygulandı fakat $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ (Tasarım 1 hariç) için dönüştürücü uygulanmadı.

Tüm tasarımlarda dikkate alınan etki değişkenleri ana terimlerinin çökme tepki değişkeni üzerindeki etkileri incelendiğinde (Çizelge 7.1);

- A-(S/Ç) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ için belirlenen değişim aralıklarında çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(A) < 0.0001$) görülmektedir (Tasarım 1-3). Beklenen şekilde S/Ç oranı arttıkça çökme değeri artmaktadır (Şekil 6.8, 6.9 ve 6.16). Benzer şekilde A-(ç/(ç+s+h)) ana teriminin de çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(A) < 0.0001$) görülmektedir (Tasarım 4).

- B-(Dozaj) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ ve $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ için belirlenen değişim aralıklarında çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(B) < 0.0001$) görülmektedir (Tasarım 1-4).

- C-(f_{cc}) etki değişkeni ana teriminin çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı bir etki oluşturması beklenmez. Eş zamanlı ve kontrol edilebilir deneme noktası elde edilebilmesi amacıyla çimento özelliklerinin sadece çimento standard dayanımı ile sınırlandırılması nedeniyle C- f_{cc} ana teriminin hem $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}$ hem de $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}$ için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir (özellikle çimento inceliğinin (Çizelge 6.6-6.8) su ihtiyacını değiştireceği ve bu nedenle çökmeyi etkileyeceği bilinmektedir) ($p(C) = 0.0013-0.0049$).

•D-(İA) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1, 2 ve 3'te çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu (sırasıyla, $p(D) = 0.0035$, $p(D) = 0.0517$, $p(D) = 0.0002$) görülmektedir. Tasarım 4'te p-değerinin 0.10 değerinin üstünde çıkması D-(İA) ana teriminin çökme üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Bu nedenle D-(İA) ana terimi modele eklenmedi. D-(k_k) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2 ve 4'te çökme üzerinde etkili olmadığı fakat Tasarım 3'te anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(D) = 0.0303$) görülmektedir.

•E-(KM) (süper akışkanlaştırıcı) etki değişkeni ana teriminin hem $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm hem de $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te çökme üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir ($D_{en\ büyük} = 11.2$ mm, $p(E) = 0.0008$, $p(E) = 0.0005$, $p(E) = 0.0001$, $p(E) = 0.0051$, $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm, $p(E) < 0.0001$). Beklendiği üzere, super akışkanlaştırıcı katkı maddesi ince malzeme miktarının düşük (mutlak hacimce yaklaşık %15 daha az) olduğu $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm olan betonlarda çökme üzerinde çok daha yüksek etki düzeyine sahip oldu.

•F-(AT) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ($p(F) < 0.0001$) ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm ($p(F) < 0.0001$) için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te çökme üzerinde anlamlı düzeyde etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tüm tasarımlarda dikkate alınan etki değişkenleri ana terimlerinin basma dayanımı tepki değişkeni üzerindeki etkileri incelendiğinde (Çizelge 7.2);

•A-(S/Ç) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2 ve 3'te belirlenen değişim (çalışma) aralıklarında basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(A) < 0.0001$) görülmektedir. A-($\frac{\zeta}{\zeta+s+h}$) ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için basma dayanımı üzerinde anlamlı etkiye sahiptir ($p(A) < 0.0001$). Fakat $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için belirlenen değişim aralıklarında basma dayanımı üzerinde etki düzeyi nisbeten oldukça düşüktür ($p(A) = 0.0191$).

•B-(Dozaj) etki değişkeni ana teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için belirlenen değişim aralıklarında basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olmadığı ($p(B) > 0.10$) görülmektedir (Tasarım 1-4). Dozaj etki değişkeninin, en büyük tane büyüklüğüne de bağlı olmak üzere, belirli bir aralıkta

artmasının basma dayanımında artmaya neden olması beklenen bir durumdur. Bu nedenle, B-Dozaj ana teriminin her iki en büyük tane büyüklüğüne ait tasarımlardaki değişim aralıklarında (330-345 kgÇimento/m³Beton) tepki değişkeni üzerinde anlamlı etki oluşturacak düzeyde olmadığı söylenebilir.

•C-(f_{cc}) etki değişkeni ana teriminin hem D_{en büyük} = 11.2 mm hem de D_{en büyük} = 22.4 mm için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te basma dayanımı üzerinde anlamlı etkisi (p(C) < 0.0001) bulunmaktadır.

•D-(İA) etki değişkeni ana teriminin belirlenen değişim aralıklarında D_{en büyük} = 11.2 mm için Tasarım 1'de basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu (p(D) = 0.0016) fakat Tasarım 2, 3 ve 4'te anlamlı etki oluşturmadığı görülmektedir. D-(k_k) etki değişkeni ana teriminin D_{en büyük} = 22.4 mm için Tasarım 1, 2 ve 3'te basma dayanımı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu (sırasıyla, p(D) = 0.0475, p(D) = 0.0475, p(D) = 0.0259) fakat Tasarım 4'te anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir.

•E-(KM) (süper akışkanlaştırıcı) etki değişkeni ana teriminin hem D_{en büyük} = 11.2 mm hem de D_{en büyük} = 22.4 mm için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te basma dayanımı üzerinde anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bilindiği üzere, süper akışkanlaştırıcılar sabit Çimento/Su oranında kohezyon fazlaca değişmeden işlenebilirliği artırır ve belirli bir işlenebilirlik için Çimento/Su oranındaki anlamlı düzeyde artma sebebiyle (süper akışkanlaştırıcılar belirli işlenebilirlik için su içeriğini %25-35 düzeyinde düşürebilmektedir [40]) beton basma dayanımını anlamlı düzeyde artırır. Bu çalışmada dozaj ve Çimento/Su oranının belirli sınırlar içerisinde sabit tutulması nedeniyle süper akışkanlaştırıcının işlenebilirlikte oluşturduğu artış öne çıkmaktadır.

•F-(AT) (Agrega Türü, bazalt ve kalker olması) etki değişkeni ana teriminin Tasarım 1, 2 ve 3'de D_{en büyük} = 11.2 mm için basma dayanımı üzerinde anlamlı düzeyde etkiye sahip olduğu (p(F) < 0.0001) fakat Tasarım 4'te anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir. D_{en büyük} = 22.4 mm için Tasarım 1, 2 ve 4'de F-(AT) ana teriminin basma dayanımı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu (sırasıyla, p(F) = 0.0021, p(F) = 0.0021, p(F) < 0.0001) fakat Tasarım 3'te anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir. D_{en büyük} = 11.2 mm olan tasarımlarda (Tasarım 1, 2 ve 3) ince katı malzeme miktarının daha yüksek (mutlak hacimce yaklaşık %15 daha fazla) olması nedeniyle agrega

özelliklerinin (tane şekli, yüzey dokusu, granülometri, vb.) etkileri basma dayanımı üzerinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

Kısmî iki düzeyli faktöriyel tasarımlarda eğriselliğin anlamlı çıkması tepki değişkenleri üzerinde ikinci dereceden terimlerin de anlamlı düzeyde etkisi olduğunu göstermektedir. İkinci derece ana etki terimlerinin çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri üzerindeki etkileri incelendiğinde (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2);

• $A^2 = (S/\zeta)^2$ terimi her iki en büyük tane büyüklüğü için Tasarım 1, 2 ve 3'te dikkate alındı. A^2 teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 ve 2'de çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etki oluşturmadığı, fakat Tasarım 3'te anlamlı etki oluşturduğu ($p(A^2) = 0.0034$ ve $p(A^2) = 0.0094$) görülmektedir. Tasarım 4'de $A^2 = (\zeta/(\zeta+s+h))^2$ terimi $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için çökme tepkisi üzerinde anlamlı etkiye ($p(A^2) = 0.0003$) sahip oldu. Basma dayanımı etki değişkeni üzerinde $A^2 = (S/\zeta)^2$ teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için sadece Tasarım 1 ve 2'de anlamlı etki oluşturduğu fakat $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için anlamlı etki oluşturmadığı görülmektedir. $A^2 = (\zeta/(\zeta+s+h))^2$ terimi her iki en büyük agrega tane büyüklüğü için de basma dayanımı üzerinde anlamlı etki oluşturmamaktadır.

• $B^2 = (Dozaj)^2$ terimi her iki en büyük tane büyüklüğü için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te dikkate alındı. B^2 teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te çökme üzerinde anlamlı etkiye sahip olmadığı fakat basma dayanımı üzerinde sadece Tasarım 4'te anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(B^2) = 0.0066$) görülmektedir. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te çökme üzerinde anlamlı etki oluşturmakta (sırasıyla $p(B^2) = 0.0001$, $p(B^2) = 0.0001$, $p(B^2) = 0.0017$ ve $p(B^2) < 0.0001$), fakat basma dayanımı üzerinde sadece Tasarım 3'te anlamlı etki ($p(B^2) < 0.0001$) oluşturmaktadır.

• $C^2 = (f_{cc})^2$ terimi $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 3'te dikkate alındı. C^2 teriminin çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu ($p(C^2) < 0.0001$) görülmektedir.

• $D^2 = (\dot{A})^2$ terimi $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1, 2 ve 4'te dikkate alındı. $D^2 = (\dot{A})^2$ terimi $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için sadece Tasarım 1 ve 2'de çökme üzerinde anlamlı etki (sırasıyla, $p(D^2) = 0.0401$ ve $p(D^2) < 0.0001$) oluşturmaktadır. Basma dayanımı üzerinde ise Tasarım 1, 2 ve 4'te anlamlı etki (sırasıyla, $p(D^2) = 0.0211$, $p(D^2) = 0.0506$ ve

$p(D^2) < 0.0010$) oluşturduğu görülmektedir. $D^2 = (k_k)^2$ terimi $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2 ve 4'te dikkate alındı. $D^2 = (k_k)^2$ teriminin $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2 ve 4'te çökme üzerinde anlamlı etki oluşturmamakta fakat basma dayanımı üzerinde Tasarım 1, 2 ve 4'te anlamlı etki (sırasıyla, $p(D^2) = 0.0099$, $p(D^2) = 0.0099$ ve $p(D^2) = 0.0022$) oluşturmaktadır.

• $E^2 = (KM)^2$ terimi her iki en büyük agrega tane büyüklüğü için Tasarım 1, 2 ve 4'te dikkate alındı. E^2 teriminin $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1'de ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 ve 2'de çökme üzerinde anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir. Basma dayanımı üzerinde $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için anlamlı etki oluşturmadığı fakat $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1, 2 ve 4'te anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir.

Tasarımlarda dikkate alınan ve tepki değişkenleri üzerinde anlamlı düzeyde etki oluşturan iki faktör etkileşimli terimler, üç faktör etkileşimli terimler ve üçüncü düzeyde terimler incelendiğinde (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2);

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1'de dikkate alınan AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, ABC ve A^2C terimlerinden çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde AC, AD, ABC ve A^2C terimlerinin etkili oldukları görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AC ve ABC terimleri anlamlı etkiye sahiptir. Basma tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde AC, AE ve ABC terimlerinin etkili oldukları görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AC ve ABC terimleri anlamlı etkiye sahiptir.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 2'de çökme tepki değişkeni analizlerinde BE terimi dikkate alındı ve BE teriminin belirlenen değişim aralıklarında çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Basma dayanımı tepki değişkeni analizlerinde ise AC ve BE terimleri dikkate alındı. AC teriminin belirlenen değişim aralıklarında $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm betonlarda basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip ($p(AC) = 0.0453$) olduğu fakat $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm betonlarda her iki (AC ve BE) terimin de anlamlı etkiye sahip olmadığı görülmektedir.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 3'te çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri analizlerinde AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF, ABC, ABE, ACE ve ACF terimleri dikkate alındı. AB, AC, AF, BE, EF ve ABC terimlerinin belirlenen değişim aralıklarında çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip ($p(AB) = 0.0027$, $p(AC) = 0.0523$, $p(AF) = 0.0069$, $p(BE) = 0.0188$, $p(EF) = 0.0056$ ve $p(ABC) < 0.0001$) oldukları görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AC terimi anlamlı etkiye sahip ($p(AC) = 0.0523$) değildir. BD, CF ve ABE terimlerinin belirlenen değişim aralıklarında $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm betonlarda basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip ($p(BD) = 0.0161$, $p(CF) = 0.0421$ ve $p(ABE) = 0.0028$) oldukları görülmektedir. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 3'te çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri analizlerinde AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF, ABC, ABD ve ABE terimleri dikkate alındı. AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF ve ABD terimlerinin belirlenen değişim aralıklarında çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip (Çizelge 7.1) oldukları görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyi için ise sadece AB ve EF terimleri anlamlı etkiye sahip ($p(AB) = 0.0820$, $p(EF) = 0.0546$) değildir. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm betonlarda $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde ise AC, AD, AF, BC, CD, CF, DE, DF ve ABE terimlerinin belirlenen değişim aralıklarında anlamlı etkiye sahip (Çizelge 7.2) oldukları görülmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde sadece ABE terimi anlamlı etkiye sahip ($p(ABE) = 0.0804$) değildir.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 4'te çökme ve basma dayanımı tepki değişkenleri analizlerinde AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, ABC ve A^2C terimleri dikkate alındı. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm betonlarda çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde AC, AD terimleri, $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece AC terimi anlamlı etkiye sahiptir ($p(AC) = 0.0070$, $p(AD) = 0.0676$). Basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde ise dikkate alınan terimler anlamlı etki oluşturmamaktadır. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm betonlarda çökme tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde sadece BD terimi anlamlı etkiye ($p(BD) = 0.0726$) sahiptir. Basma dayanımı tepki değişkeni üzerinde $\alpha = 0.10$ anlamlılık düzeyinde BC ve A^2C terimleri anlamlı etki

($p(BC) = 0.0285$ ve $p(A^2C) = 0.0912$) oluşturmaktadır. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde ise sadece BC teriminin anlamlı etki oluşturduğu görülmektedir.

Oluşturulan farklı tasarımlarda (Tasarım 1, 2, 3 ve 4) elde edilen modellerin anlamlılığı incelendiğinde hem çökme hem de basma dayanımı tepki değişkenlerine ait tüm modellerin anlamlı ($p(\text{Model}) < 0.0001$) olduğu görülmektedir. Buna rağmen tasarımların “uyum yokluğu”nun anlamlılığı tasarımlara göre değişkenlik göstermektedir. Uyum yokluğu değeri uydurulmuş model çevresindeki veri değişkenliğini göstermektedir. Çizelgelerdeki “uyum yokluğu”nun “anlamlılığı”nın “anlamlı” olması oluşturulan modelin tüm tasarım (deneme) noktalarını iyi sağlamadığını, başka bir deyişle model noktalarındaki değişimin tekrarlanan noktalardaki değişimlerden anlamlı düzeyde farklı olduğunu gösterir. Bu durumda model yükseltgenerek (veya modele farklı terimler eklenerek) veya dönüştürücü uygulanarak uyum yokluğunun anlamlılığı değiştirilebilir.

Çökme ve basma dayanımı için oluşturulan modellere ait uyum yokluğunun anlamlılığı incelendiğinde (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2);

- Çökme için oluşturulan modellerde; $D_{\text{en büyük}} = 11.2$ mm için uyum yokluğu Tasarım 1, 2 ve 3’te anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun), Tasarım 4’te anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz) elde edildi. $D_{\text{en büyük}} = 22.4$ mm için ise Tasarım 1, 2 ve 3’te anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz), Tasarım 4’te anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun) olduğu görülmektedir.

- Basma dayanımı için oluşturulan modellerde; $D_{\text{en büyük}} = 11.2$ mm için uyum yokluğu Tasarım 1 ve 3’te anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun), Tasarım 2 ve 4’te anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz) elde edildi. $D_{\text{en büyük}} = 22.4$ mm için ise Tasarım 3’te anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz), Tasarım 1, 2 ve 4’te anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun) olduğu görülmektedir.

Belirlenen etki değişkeni değişim aralıklarında oluşturulan tasarımlardan elde edilen çökme ve basma dayanımı modellerine ait istatistiksel özetler incelendiğinde (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2);

•Çökme için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 'nin en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.8154, 0.7758 ve 0.6920), en yüksek değerleri Tasarım 3'te (sırasıyla, 0.9305, 0.9045 ve 0.8665) elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.8794, 0.8552 ve 0.7942), en yüksek değerleri Tasarım 3'te (sırasıyla, 0.9713, 0.9475 ve Tanımsız) elde edildi. Ayarlı R^2 değeri, elde edilen modelin hem yeterliliği hem de modele eklenen terimlerin tepki değişkeni üzerinde anlamlı düzeyde etkilere sahip olduğunu gösterir. Bu nedenle ayarlı R^2 dikkate alındığında, her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde çökme için en uygun modelin Tasarım 3 ile oluşturulan model olduğu söylenebilir. Her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde çökme tepki değişkeni için tüm tasarımlarda ayarlı R^2 ve tahmini R^2 değerlerinin makul düzeyde uyduğu görülmektedir (ayarlı R^2 - tahmini $R^2 \leq 0.20$ [4]). Bu durum modellerden elde edilen yeni verilerdeki değişkenlik (tahmin hatâsı) miktarının uygun olduğunu göstermektedir.

Uygun kesinlik (UK) değerinin her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde çökme tepki değişkeni için tüm tasarımlarda arzu edilen 4 değerinin üzerinde olması modelin uygun (yeterli) işaret (signal) oluşturduğunu göstermektedir.

•Basma dayanımı için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 'nin en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.9540, 0.9479 ve 0.9341), en yüksek değerleri Tasarım 1'de (sırasıyla, 0.9798, 0.9730 ve 0.9618) elde edilmektedir. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük R^2 değeri Tasarım 1, 2 ve 4'te (sırasıyla, 0.9765, 0.9765 ve 0.9770), en yüksek değeri Tasarım 3'te (0.9838), en düşük ayarlı R^2 değeri Tasarım 4'te (0.9693), en yüksek değeri Tasarım 3'te (0.9748) ve en düşük tahmini R^2 değeri Tasarım 3'te (0.9301), en yüksek değeri Tasarım 1 ve 2'de (0.9651) elde edildi. Genel olarak her iki en büyük agrega tane büyüklüğü için çoklu belirlilik katsayıları 0.9300 değerinin üstünde oldu. Her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde basma dayanımı tepki değişkeni için tüm tasarımlarda ayarlı R^2 ve tahmini R^2 değerleri makul düzeyde uydu (ayarlı R^2 - tahmini $R^2 \leq 0.20$ [4]).

Uygun kesinlik (UK) değerinin her iki en büyük agrega tane büyüklüğünde basma dayanımı tepki değişkeni için tüm tasarımlarda arzu edilen 4 değerinin üzerinde olması modellerin uygun (yeterli) işaret (signal) oluşturduğunu göstermektedir. Fakat model için seçilen terim sayısının yüksek olması veya hiyerarşi nedeniyle modele eklenen etki düzeyi düşük terimlerin bulunması UK değerini düşürmektedir (Tasarım 3 ve 4).

Referans noktasına göre değişimleri gösteren düzensizlik grafikleri, özellikle kendi dışında tüm etki değişkenleri sabit (merkez nokta değeri) tutulduğunda seçilen değişim aralığında, etki değişkenlerinin tepki değişkenlerinde oluşturduğu değişimi göstermektedir. Tasarımlara ait düzensizlik grafikleri incelendiğinde;

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1 düzensizlik grafikleri (şekil 6.6) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve kalker agregası kullanıldığında, S/ oranı ve f_{cc} 'deki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerlere (1 cm - 23 cm) yakın olduğu (~28, ~25), diğer etki değişkenlerindeki (Dozaj, İA, KM) değişimlerin çökme değerinde oluşturdukları değişimin elde edilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. Bazalt agregası kullanıldığında ise tüm etki değişkenlerindeki değişim deneme noktalarında elde edilen çökme değeri sınır değerlerini sağlamaktadır. Deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (19.86 MPa - 44.19 MPa) tüm etki değişkenleri her iki agrega türü için sağlamaktadır.

• $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 düzensizlik grafikleri (şekil 6.7) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde), tüm etki değişkenlerindeki değişimin her iki agrega türü için çökme ve basma dayanımı değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme ve basma dayanımı değerlerinde elde edilen sınır değerleri (3 cm - 22 cm, 26.59 MPa - 53.87 MPa) sağladığı görülmektedir.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 2 düzensizlik grafikleri (şekil 6.15) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve kalker agregası kullanıldığında, S/ oranındaki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerlere (1 cm - 23 cm) yakın olduğu (~27), diğer etki değişkenlerindeki (Dozaj, İA, KM)

değişimlerin çökme değerinde oluşturdukları değişimin elde edilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. Bazalt agregası kullanıldığında ise tüm etki değişkenlerindeki değişimin deneme noktalarında elde edilen çökme değeri sınır değerlerini sağlamaktadır. Deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (19.86 MPa - 44.19 MPa) tüm etki değişkenleri her iki agrega türü için sağlamaktadır.

• $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 2 sonuçları Tasarım 1 sonuçlarıyla aynıdır.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 3 düzensizlik grafikleri (Şekil 6.21) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve kalker agregası kullanıldığında, S/Ç oranındaki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin, deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (1 cm - 23 cm) yaklaşık 21 cm aştığı (~44) ve Dozaj, İA ve KM'deki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin, deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerlere yakın olduğu (~28, ~25) görülmektedir. Sadece f_{cc} etki değişkenindeki değişimlerin çökme değerinde oluşturdukları değişimin elde edilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. Bazalt agregası kullanıldığında ise tüm etki değişkenlerindeki değişim deneme noktalarında elde edilen çökme değeri sınır değerlerini sağlamaktadır. Deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (19.86 MPa - 44.19 MPa) tüm etki değişkenleri her iki agrega türü için sağlamaktadır. Bu modele göre S/Ç oranının çökme değerinde oluşturduğu yüksek değişimin belirlenen değişim aralıklarında gerçekte bu düzeyde anlamlı olamayacağı aşikârdır. Bu nedenle oluşturulan modelin varyans analizinde "anlamlı" ($p(\text{Model}) < 0.0001$) çıkmasının ve R^2 değerlerinin diğer tasarımlara göre yüksek olmasının tek başına modellerin gerçek fiziksel durumu temsil ettiğini söylemek için yeterli olmadığını göstermektedir.

• $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 3 düzensizlik grafikleri (Şekil 6.22) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve her iki agrega türü için, tüm etki değişkenlerindeki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin, deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (3 cm - 22 cm) fazlaca aştığı (~35 cm - 140 cm) görülmektedir. Fakat deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (26.59 MPa-53.87 MPa)

kalker agregası kullanıldığında f_{cc} etki değişkeni, bazalt agregası kullanıldığında S/Ç etki değişkeninin aştığı (~60 MPa) görülmektedir. Diğer etki değişkenlerindeki değişim deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca, bu modele göre, S/Ç oranındaki artış bazalt agregası kullanıldığında çökme etki değişkenini azaltıcı, kalker agregası kullanıldığında da basma dayanımını artırıcı etki oluşturmaktadır. Bu beklenen bir durum değildir. Fakat yüksek $D_{en\ büyük}$ değerinde hamur hacminin az olması ve S/Ç oranının artması ile karışım suyundaki artış ile belirlenen (veya seçilen) değişim aralıklarında bazalt agregasının tane şekli ve biçiminin etkisi ile özellikle iri agregası tanelerinin birbirleri ile kenetlenerek çökmeyi azaltabileceği söylenebilir. Kalker agregasının tane şekli ve biçim özellikleri bazalt agregasına göre daha uygun olduğu için S/Ç oranındaki artış ile işlenebilirliği iyileşen betonun boşluk içeriği azalacağından belirlenen (veya seçilen) değişim aralıklarında basma dayanımını artırıcı etkisi olabileceği söylenebilir.

Tüm etki değişkenlerinin çökme değerinde oluşturduğu yüksek değişimin belirlenen değişim aralıklarında anlamlı olmadığı aşikârdır. Özellikle Tasarım 3'te çökme tepki değişkeni için elde edilen modellerin varyans analizinde anlamlı çıkması ($p(\text{Model}) < 0.0001$) ve R^2 değerlerinin diğer tasarımlara göre yüksek olmasının tek başına bu iki terimin gerçek tepki modellerini temsil edemeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle Tasarım 3'te elde edilen model terimlerine ait değişim, etkileşim, kontur ve 3D grafikleri verilmedi.

• $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 4 düzensizlik grafikleri (Şekil 6.25) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve kalker agregası kullanıldığında, $\varphi/(\varphi+s+h)$ oranındaki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (1 cm - 23 cm) sağlamadığı (~-3), diğer etki değişkenlerindeki (Dozaj, f_{cc} , İA, KM) değişimlerin çökme değerinde oluşturdukları değişimin elde edilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. Bazalt agregası kullanıldığında ise benzer şekilde $\varphi/(\varphi+s+h)$ oranındaki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (1 cm - 23 cm) sağlamadığı (~-17), diğer etki değişkenlerindeki (Dozaj, f_{cc} , İA, KM) değişimlerin çökme değerinde oluşturdukları değişimin elde edilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir.

Deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (19.86 MPa - 44.19 MPa) tüm etki değişkenleri her iki agrega türü için sağlamaktadır.

• $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 4 düzensizlik grafikleri (Şekil 6.26) incelendiğinde; diğer etki değişkenleri sabit tutulduğunda (merkez nokta değerlerinde) ve kalker agregası kullanıldığında, tüm etki değişkenlerindeki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (3 cm - 22 cm) sağladığı görülmektedir. Bazalt agregası kullanıldığında ise elde edilen çökme tepki değişkenine ait model ile anlamlı çökme değerleri elde edilemediği için düzensizlik grafiği dönüştürülmüş değerlere göre verildi. Bu nedenle özellikle $\frac{\phi}{(\phi+s+h)}$ oranındaki değişimin çökme değerlerinde oluşturduğu değişimin deneme noktalarındaki çökme değerlerinde elde edilen sınır değerleri (1 cm - 23 cm) sağlamadığı (~10 cm, bütünüyle anlamsız) görülmektedir. Deneme noktalarında elde edilen basma dayanımı sınır değerlerini (26.59 MPa - 53.87 MPa) tüm etki değişkenlerinin her iki agrega türü için sağladığı söylenebilir.

Tanılamalar durum istatistikleri incelendiğinde tasarımlarda sınır değerleri aşan deneme noktası sayıları Çizelge 7.3'te verildi.

Çizelge 7.3 Tanılamalar durum istatistiğinde sınır değerleri aşan deneme noktası sayıları

Tasarım	$D_{en\ büyük}$	Dengeleme		İçsel normal-lenmiş artık		Dışsal normal-lenmiş artık		Uygun değer üzerinde etki		Cook's mesafesi		Toplam
		ϕ	f_c	ϕ	f_c	ϕ	f_c	ϕ	f_c	ϕ	f_c	
Tasarım 1	11.2	5	2	-	-	-	-	2	1	-	-	10
	22.4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Tasarım 2	11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	22.4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Tasarım 3	11.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	22.4	10	3	-	-	-	-	1	5	-	1	20
Tasarım 4	11.2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	22.4	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	5
Toplam		23	12	-	-	-	-	3	8	-	1	47

Çizelge 7.3 incelendiğinde;

• Sınır değerleri aşan deneme noktası sayısı büyükten küçüğe doğru sırasıyla Tasarım 3, Tasarım 1, Tasarım 4 ve Tasarım 2'de görülmektedir.

- En büyük agrega tane büyüklüğüne göre karşılaştırma yapıldığında, $D_{en\ büyük} = 11.2\text{ mm}'de$ 14 deneme noktasında, $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ mm}'de$ 33 deneme noktasında sınır aşımı gerçekleştiği görülmektedir.
- Tepki değişkenlerine göre karşılaştırma yapıldığında, çökme tepki değişkeninde 26 deneme noktasında, basma dayanımı tepki değişkeninde 21 deneme noktasında sınır aşımı gerçekleştiği görülmektedir.
- Tanılamalar açısından bakıldığında 35 deneme noktasında dengeleme sınırının aşıldığı görülmektedir. Özellikle Tasarım 3 $D_{en\ büyük} = 22.4\text{ m}'de$ 10 deneme noktasında dengeleme 1 değerini almaktadır. Dengelemenin 1 olması belli durumdaki tahmini değer deneysel olarak gözlemlenen değere eşit olacağı anlamına gelir ve bu durumda artık değer 0'dır. Dengeleme, model ile gerçekleştirilen deneme noktası tahmini ile ilişkili hatâ veya artık varyansının bir kısmını gösterir. Dengelemenin 1 elde edilmesi gözlemin barındırdığı herhangi bir hatâyı (deneysel, ölçüm vb.) modelden elde edilen tahmini verilerinde barındıracağı anlamına gelir. Aynı şekilde dengelemenin 1 olması durumunda bu noktalara ait "içsel normallenmiş artık, dışsal normallenmiş artık, uygun değer üzerinde etki ve Cook mesafesi" değerleri hesaplanamaz.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

•Model uygunluğunun iyileştirilmesi amacıyla $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için Tasarım 1 (Karekök), 2 (Karekök), 3 (Karekök) ve $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 (Kuvvet), 2 (Kuvvet), 4 (Kuvvet)'de çökme tepki değişkenine dönüştürücü uygulandı. Basma dayanımı tepki değişkenine ise $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için Tasarım 1 (Doğal logaritma), 2 (Doğal logaritma), 3 (Ters karekök) ve 4 (Ters karekök)'de dönüştürücü uygulandı fakat $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için sadece Tasarım 1 (Karekök)'de dönüştürücü uygulandı, Tasarım 2, 3, 4'de dönüştürücü uygulanmadı.

•Tasarım 1, 2, 3 ve 4'de çökme ve basma dayanımına ait modellerin anlamlı olduğu ($p(\text{Model}) < 0.0001$) görülmektedir. Buna rağmen tasarımların “uyum yokluğu”nun anlamlılığı tasarımlara göre değişkenlik göstermektedir. $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm'de çökme tepki değişkenine ait uyum yokluğu değerleri Tasarım 1, 2, 3'de anlamsız (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model uygun), Tasarım 4'de anlamlı (eş deyişle, belirlenen değişim aralığında çökme için elde edilen model yetersiz) olmaktadır. Basma dayanımına ait uyum yokluğu değerleri ise Tasarım 1, 3'de anlamsız, Tasarım 2, 4'de anlamlı elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm'de çökmeye ait uyum yokluğu değerleri Tasarım 1, 2, 3'de anlamlı, Tasarım 4'de anlamsız ve basma dayanımına ait uyum yokluğu değerleri ise Tasarım 1, 2, 4'de anlamsız, Tasarım 3'de anlamlı elde edildi.

•Çökme için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 'nin en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.8154, 0.7758 ve 0.6920), en yüksek değerleri Tasarım 3'te (sırasıyla, 0.9305, 0.9045 ve 0.8665) elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.8794, 0.8552 ve

0.7942), en yüksek değerleri Tasarım 3'te (sırasıyla, 0.9713, 0.9475 ve Tanımsız) elde edildi.

•Basma dayanımı için oluşturulan modellerde; $D_{en\ büyük} = 11.2$ mm için R^2 , ayarlı R^2 ve tahmini R^2 'nin en düşük değerleri Tasarım 4'te (sırasıyla, 0.9540, 0.9479 ve 0.9341), en yüksek değerleri Tasarım 1'de (sırasıyla, 0.9798, 0.9730 ve 0.9618) elde edildi. $D_{en\ büyük} = 22.4$ mm için ise en düşük R^2 değeri Tasarım 1, 2 ve 4'te (sırasıyla, 0.9765, 0.9765 ve 0.9770), en yüksek değeri Tasarım 3'te (0.9838), en düşük ayarlı R^2 değeri Tasarım 4'te (0.9693), en yüksek değeri Tasarım 3'te (0.9748) ve en düşük tahmini R^2 değeri Tasarım 3'te (0.9301), en yüksek değeri Tasarım 1 ve 2'de (0.9651) elde edildi.

•Tanılamalar durum istatistiğinde sınır değerleri aşan deneme sayıları Tasarım 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla 14, 4, 23 ve 6 elde edildi. Tasarım 3'te en fazla (16) olmak üzere, sınır değerleri aşan toplam deneme sayısı 35 olarak, "dengeleme (manivela)" değerlerinde geręekleştii.

•Tasarım 1, 2 ve 3 deneme noktaları her bir etki değişkeninin köşe (alt ve üst sınır) ve merkez noktalarında olacak şekilde belirlendi. Su/Çimento etki değişkeninin $\frac{\phi}{(\phi+s+h)}$ olarak değiştirilmesi ile oluşturulan Tasarım 4 deneme noktaları her bir etki değişkeninin (özellikle kategorik etki değişkeninin) köşe ve merkez noktalarına tekabül etmemektedir. Bu nedenle tasarımların karşılaştırılması yapılırken özellikle etki değişkenleri farklı olan tasarımların ayrı düşünülmesi gerekir.

•Modelin anlamlılığı ($p(\text{Model}) < 0.0001$) ve R^2 değerinin yüksek olması fiziksel olarak modelin anlamlı olduğunu belirtmek için yeterli değildir. Her bir deneme noktasına ait tanılamalar durum istatistiklerinin (dengeleme, Cook's mesafesi vb.) değerlendirilerek ve tepki yüzeylerinin oluşturularak tepki değişkenlerinin işlevsel bölge içerisinde kalıp kalmadığında göz önüne alınması gerekir.

•İstatistiksel analizlerde seçilen anlamlılık düzeyi (α) değiştikçe modele eklenen terim sayısı değişmektedir. Terim sayısının artması genelde R^2 değerini yükseltmektedir fakat modelin barındıracağı deneysel, ölçüm vb. hatâları artırmaktadır. Bu nedenle farklı anlamlılık düzeyleri için modeller oluşturularak en uygun modelin belirlenmesi gerekir.

- Etki değişkenlerinin fazla olduğu (> 7) ve kontrol edilebilir değişken sayısının sınırlı olduğu ürün ve/veya süreç iyileştirmelerinde çalışılabilir (işlenebilir) bölgenin uygun biçimde belirlenmesinin etki değişkenlerinin tepki değişkenleri üzerindeki etki düzeylerinin anlamlı olarak belirlenmesini sağlayabilir.
- Kontrol edilebilir değişkenlerin değişim aralıklarının kategorik faktörler (kalker ve bazalt) için ayrı ayrı belirlenmesi, kontrol edilebilir etki değişkenlerinin etki düzeylerinin anlamlı olarak belirlenebilmesi bakımından uygun olmaktadır. Agregada kayaç kökeni, tane biçim ve yüzey özellikleri gibi kategorik özellikler sayısallaştırılabilir ve kontrol edilebilir duruma getirilebilirlerse birlikte değerlendirilebilirler.
- “Çimento standard dayanımı”nın çökme tepki değişkeni üzerinde anlamlı etkisi olması beklenen bir durum değildir. Bu durum tasarımlarda çimento özelliklerinin sadece “çimento standard dayanımı” ile temsil edilmesinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kontrol edilebilir çimento özellikleri ile birlikte farklı çimento türlerinin kategorik faktör olarak dikkate alınması kontrol edilemeyen çimento özelliklerinin etkisini minimize edecektir.
- Etki değişkenlerinin değişim aralıklarının belirlenmesi aşamasında, pompalanabilir bir beton için gerekli çökme tepki değişkeni yanında basma dayanımı üzerinde anlamlı etkinin görülebileceği değişim aralıklarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle değişim aralıklarının bir miktar çalışılabilir bölge dışına uygun miktarda genişletilerek farklı çökme değerleri için ayrı ayrı tasarımlar oluşturulması basma dayanımı üzerinde anlamlı etki değişkenlerinin belirlenmesinde uygulama bakımından daha anlamlı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.
- Beton bileşimi tasarımı iyileştirilmesi çalışmalarında etki değişkenleri türlerinin ayrımları istenen tepki değişkeni tür ve düzeylerinin arzu edilirlilik düzeylerine göre belirlenmeli, eşzamanlılık düzeyini uyumlulaştırmak üzere, deney sıklıklarından başlayarak, nitelik denetim düzeyi, kayıpları en aza indirecek biçimde uygun seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Hazır Beton Birliği, www.thbb.org/Content.aspx?ID=8, Mayıs 2012.
- [2] Myers, R. H., Montgomery, D. C. ve Anderson-Cook, C. M., (2009). Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments (2 b.), John Wiley & Sons, Canada.
- [3] Box, G. E. ve Draper, R. N., (2007). Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses (2 b.), John Wiley & Sons, New Jersey, Hoboken.
- [4] Stat-Ease, Inc. (2010). Design-Expert Software Version 7.1, Minneapolis.
- [5] TS 802, (2009). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.
- [6] Box, G. E. ve Wilson, K. B., (1951). "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions", Journal of the Royal Statistical Society (Series B), 1-45.
- [7] Hill, W. J. ve Hunter, W. G., (1966). "A Review of Response Surface Methodology: A Literatüre Review", Technometrics (8), 571-590.
- [8] Mead, R. ve Pike, D. J., (1975). "A Review of Response Surface Methodology from a Biometric Viewpoint", Biometrics (31), 803-851.
- [9] Myers, R. H., Khuri, A. I. ve Carter, W. H., (1989). "Response Surface Methodology: 1966-1988", Technometrics (31), 137-157.
- [10] Myers, R. H., (1999). "Response Surface Methodology: Current Status and Future Directions", Journal of Quality Technology (31), 30.
- [11] Myers, R. H., Montgomery, D. C., Vining, G. G., Borror, C. M. ve Kowalski, S. M., (2004). "Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey", Journal of Quality Technology (36), 53.
- [12] Köksoy, O., (2001). Taguchi ve Cevap Yüzey Felsefelerinin Birleştirilmesi: Problem ve Çözüm Stratejileri, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] Çekmen, M., (2005). Integration of Simulation and Response Surface Methodology for Dual Response Optimization Under Constraint Satisfaction, Degree of Master of Science, Dokuz Eylül University Industrial Engineering, İzmir.

- [14] Cau Dit Coumes, C. ve Courtois, S., (2003). "Investigation of the Combined Action of Borate, Chloride, Sulfate and Phosphate on Cement Hydration Using Response Surface Methodology", *Cement and Concrete Research* (33), 305-316.
- [15] Anna, M. G. ve Zdzislaw, P., (2004). "Study on Compatibility of Cement-Superplasticiser Assisted by Multicriteria Statistical Optimization", *Journal of Materials Processing Technology* (152), 197-203.
- [16] Mandal, A. ve Roy, P., (2006). "Modeling the Compressive Strength of Molasses-Cement Sand System Using Design of Experiments and Back Propagation Neural Network", *Journal of Materials Processing Technology* (180), 167-173.
- [17] Maghsoud, A., Amir, A. N. ve Komeil, G., (2008). "Response Surface Methodology and Genetic Algorithm in Optimization of Cement Clinkering Process", *Journal of Applied Sciences* (15), 2732-2738.
- [18] Chackchouk, A., Trifi, L., Samet, B. ve Bouaziz, S., (2009). "Formulation of Blended Cement: Effect of Process Variables on Clay Pozzolanic Activity", *Construction and Building Materials* (23), 1365-1373.
- [19] Simon, M. J., Lagergren, E. S. ve Snyder, K. A., (1997). "Concrete Mixture Optimization Using Statistical Mixture Design Methods", *International Symposium on High Performance Concrete*, 20-22 October 1997, New Orleans.
- [20] Bayramov, F., (2004). *Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Optimum Tasarımı*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Köksal, F., (2004). *Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Nambiar, E. K. ve Ramamurthy., (2006). "Models Relating Mixture Composition to the Density and Strength of Foam Concrete Using Response Surface Methodology", *Cement & Concrete Composites* (28), 752-760.
- [23] Cho, T., (2007). "Prediction of Cyclic Freeze-Thaw Damage in Concrete Structures Based on Response Surface Method", *Construction and Building Materials* (21), 2031-2040.
- [24] Akçay, B., (2007). *Effect of Lightweight Aggregates on Autogenous Deformation and Fracture of High Performance Concrete*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Akçay, B. ve Taşdemir, M. A., (2009). "Optimisation of Using Lightweight Aggregates in Mitigating Autogenous Deformation of Concrete", *Construction and Building Materials* (23), 353-363.
- [26] Murali, T. M. ve Kandasamy, S., (2009). "Mix Proportioning of High Performance Self-Compacting Concrete Using Response Surface Methodology", *Journal of Civil Engineering* (37), 91-98.
- [27] TS EN 206-1, (2002). *Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, TSE, Ankara.

- [28] Day, W. K., (1999). Concrete Mix Design, Quality Control and Specification (2 b.), Taylor & Francis, London.
- [29] Neville, M. A., (1986). Properties of Concrete (4 b.), Longman Scientific & Technical, England.
- [30] Newman, J. ve Choo, S. B., (2003). Advanced Concrete Technology 3 Processes (1 b.), Elsevier, Oxford, England.
- [31] TS 706 EN 12620, (2003). Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- [32] TS EN 197-1, (2012). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uyumluluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- [33] TS EN 1008, (2003). Beton-Karma Suyu-Numune alma, Deneyle ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.
- [34] Li Z., (2011). Advanced Concrete Technology, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [35] Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., (2006). Concrete Microstructure, Properties, and Materials, Third Edition, McGraw-Hill, USA.
- [36] Erdoğan, T., (2003). Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- [37] Mindess, S. ve Young, J.F., (1981). Concrete, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- [38] Özkul H., Taşdemir M. A., Tokyay M. ve Uyan M., (2004). Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [39] Nawy, E.G., (2001). Fundamentals of High-Performance Concrete Second Edition, Department of Civil and Environmental Engineering, Rutgers University, The State University of New Jersey.
- [40] Canadian Portland Cement Association, (1995). Design and Control of Concrete Mixtures, Sixth Canadian Edition.
- [41] Akman S., (1992). Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [42] Price W.H., (1951). "Factors influencing concrete strength", J. Am. Concrete Inst. 47, 417-432.
- [43] TS EN 196-3,(2002). Çimento Deney Metotları-Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini, TSE, Ankara.
- [44] TS EN 196-8, (2011). Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 8: Hidratasyon Isısı - Çözelti Yöntemi, TSE, Ankara.
- [45] TS EN 196-9, (2011). Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 9: Hidratasyon Isısı - Yarı Adyabatik Yöntem, TSE, Ankara.
- [46] BS 4550-3.8, (1978). Methods of Testing Cement, Physical Tests, Test for Heat of Hydration, BSI, London.

- [47] ASTM C 186-05, (2005). Standard Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement, ASTM, Philadelphia.
- [48] Neville, A.M. ve Brooks, J.J., (2004). Concrete Technology – Revised Edition, 2001 Standard Update, Pearson Prentice Hall, England.
- [49] TS EN 196-1, (2009), Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, TSE, Ankara.
- [50] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O., (2006), Beton Agregaları-Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [51] Alexander, M. ve Mindess, S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [52] TS EN 1097-6, (2002), Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğuve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- [53] TS EN 1097-3, (1999), Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, TSE, Ankara.
- [54] Powers, M.C. (1953). "A new roundness scale for sedimentary particles", Journal of Sedimentary Petrology, 23(2): 117–119; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [55] Galloway, J.E., (1994). "Grading, Shape and Surface Properties", Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169C: 401–410, Philadelphia; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [56] Sims, I. ve Brown, B., (1998). Concrete Aggregates, in P.C. Hewlett (ed.) Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th edn, Londond; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [57] BS 812: Part 102, (1989). Testing aggregates, Methods for Sampling, BSI, London.
- [58] Perrie, B., (1994). Flakiness Index, Commentary on SABS 1083:1994, Midrand, Cement and Concrete Institute; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis group, e-Library, New York.
- [59] ASMT C 125-11b, (2011). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, ASTM, Philadelphia.
- [60] Kaplan, M.F., (1959). "Flexural and Compressive Strength of Concrete as Affected by the Properties of Coarse Aggregates", Journal American Concrete Institute, 55: 1193–208.; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.

- [61] Mindess, S., Young, J.F. ve Darwin, D., (2003). Concrete, NJ: Prentice Hall; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [62] TS EN 933-1, (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- [63] TS 500, (2004T). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [64] Powers, T.C., (1968). The Properties of Fresh Concrete, Wiley, New York.
- [65] TS EN 1097-2, (2010). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TSE, Ankara.
- [66] Alexander, M.G., (1985). "Towards Standard Tests for Abrasion Resistance of Concrete", Materials and Structures, 18(106), 297–307; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [67] TS EN 1097-1, (2011). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro- Deval), TSE, Ankara.
- [68] TS EN 1097-8, (2010). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 8: Taş Parlatma Değerinin Tayini, TSE, Ankara.
- [69] Higgs, N.B., (1987). "Chlorite: A Deleterious Constituent with Respect to Freeze–Thaw Durability of Concrete Aggregates", Cement and Concrete Research, 17(5): 793–804; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis group, e-Library, New York.
- [70] Winslow, D., (1994). The pore system of coarse aggregates, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169C: 429–437, West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [71] TS EN 1367-1, (2009). Agregaların Isıl ve Bozunma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler - Bölüm 1: Donmaya ve Çözülmeye Karşı Direncin Tayini, TSE, Ankara.
- [72] TS EN 1367-2, (2011). Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, TSE, Ankara.
- [73] Eglinton, M., (1987). Concrete and Its Chemical Behaviour, Thomas Telford, London; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [74] Grieve, G.R.H., (2001). Aggregates for concrete, in B.J. Addis and G. Owens (eds) Fulton's Concrete Technology, 8th edn, Midrand: Cement and Concrete Institute; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.
- [75] Neville, A.M., (1995). Properties of Concrete, 4th and final edn, Harlow: Longman; Derleyen: Alexander M. ve Mindess S., (2010). Aggregates in Concrete,

Modern Concrete Technology Series 13, Taylor & Francis Group, e-Library, New York.

- [76] TS EN 1744-1, (2011). Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz, TSE, Ankara.
- [77] Akman S., (1990). Yapı malzemeleri, 2. Baskı, İ.T.Ü. İnşaat fak. Matbaası, İstanbul.
- [78] TS EN 934-2, (2011). Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet için - Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları - Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara.
- [79] TS EN 934-3, (2011). Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet için - Bölüm 3: Kâgir Harcı için Kimyasal Katkılar - Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara.
- [80] TS EN 934-4, (2011). Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet için - Bölüm 4: Öngerme Tendonları için Şerbette Kullanılan Kimyasal Katkılar - Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara.
- [81] TS EN 934-5, (2008). Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 5: Püskürtülmüş Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara.
- [82] Hewlett, P. ve Rixom, R., (1976). "Current practice sheet no.33-Superplasticized concrete", Concrete, 10, No. 9, 39-42.
- [83] Meyer, A., (1978). "Steigerung der Frühfestigkeit von Beton", Il Cemento, 75, No. 3, 271-6.
- [84] Malhotra, V.M., (1977). "Superplasticizers in Concrete, CANMET Report MRP/MSL 77-213, 20 (Ottawa).
- [85] Brooks, J. J., Wainwright, P. J. ve Neville, A. M., (1979). "Time-Dependent Properties of Concrete Containing a Superplasticizing Admixture, Superplasticizers in Concrete", Amer. Concr. Inst. Sp. Publicn. No. 62, 293-314.
- [86] Addis, B.J. ve Owens, G., (2001). Fulton's Concrete Technology, 8th edn, Midrand: Cement and Concrete Institute.
- [87] Glanville, W.H., Collins, A.R. ve Matthews, D.D., (1947). The Grading of Aggregates and the Workability of Concrete, Road Research Technical Paper No. 5, 2nd edn, Crowthorne: HMSO.
- [88] Schiller K. K., (1958). "Porosity and strenght of brittle solids", Mechanical Properties of Non-metallic Brittle Materials, 35-45, London, Butterworth.
- [89] Ward, M. A., Neville, A. M. ve Singh, S. P., (1969). "Creep of air-entrained concrete", Mag. Concr. Res., 21, No. 69, 205-10.
- [90] Newman, J. ve Chooi B. S., (2003). Advanced Concrete Technology, Concrete properties (1 b.), Elsevier, Oxford, England.
- [91] Carley, M. K., Kamneva, N. Y. ve Reminga, J., (2004). Response Surface Methodology, CASOS Technical Report, CMU-ISRI-04-136.

- [92] Neddermeijer, G. H., van Ortmarssen, J. G., Piersma, N. ve Dekker, R., (2000). "A Framework for Response Surface Methodology for Simulation Optimization Models", Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 10-13 December 2000, USA, 129-136.
- [93] Montgomery D. C., Peck E. A. ve Vining G. G., (2001). Introduction to Linear Regression Analysis, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [94] Myers R. H., (1990). Classical and Modern Regression with Applications, Second Edition, Duxbury Press, Boston.
- [95] Allen D. M., (1971). "Mean Square Error of Prediction as a Criterion for Selecting Variables", Technometrics, 13, 469-475.
- [96] Allen D. M., (1974). "The Relationship Between Variable Selection and Data Augmentation and a Method for Prediction", Technometrics (16), 125-127.
- [97] Belsley D. A., Kah E. ve Welsch R. E., (1980). Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity, John Wiley & Sons, New York.
- [98] Cook R. D., (1977). "Detection of Influential Observation in Linear Regression", Technometrics (19), 15-17.
- [99] Cook R. D., (1979). "Influential Observations in Linear Regression", Journal of the American Statistical Association, 74, 169-174.
- [100] Box G. E. P. ve Cox D. R., (1964). "An Analysis of Transformations", Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 26, 211-256.
- [101] Derringer, G. ve Suich, R., (1980). "Simultaneous Optimization of Several Response Variables", Journal of Quality Rechnology, 12, 214-219.
- [102] Montgomery, D. C., (2009). Design and Analysis of Experiments (7 b.), John Wiley & Sons, New York.
- [103] Akçansa Çimento Ticaret A.Ş., Çimento Kalite Raporu, İstanbul.
- [104] ACI 318M-05, (2005). Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary, ACI, Farmington Hills.

TANILAMALAR DURUM İSTATİSTİĞİ

A-1 Tasarım 1 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	2.3875	2.5371	-0.1497	0.3144	-0.4982	-0.4936	-0.3343	0.0067	8
2	2.3022	2.4080	-0.1058	0.2823	-0.3442	-0.3404	-0.2135	0.0027	12
3	2.4495	2.9110	-0.4615	0.2708	-1.4895	-1.5127	-0.9219	0.0485	10
4	4.0249	3.7840	0.2410	0.2731	0.7789	0.7751	0.4751	0.0134	1
5	1.6733	1.6277	0.0456	0.2825	0.1485	0.1467	0.0921	0.0005	11
6	4.6690	4.5353	0.1338	0.3225	0.4480	0.4436	0.3061	0.0056	9
7	2.1213	2.3352	-0.2139	0.2860	-0.6978	-0.6933	-0.4388	0.0115	18
8	4.8166	4.6743	0.1423	0.2847	0.4637	0.4592	0.2897	0.0050	14
9	1.5811	1.5609	0.0203	0.3190	0.0677	0.0669	0.0458	0.0001	19
10	4.0988	4.2479	-0.1492	0.2931	-0.4889	-0.4843	-0.3119	0.0058	20
11	1.7607	1.0710	0.6897	0.2982	2.2690	2.3967	1.5623	0.1287	5
12	4.5717	4.7602	-0.1886	0.2739	-0.6099	-0.6052	-0.3717	0.0083	6
13	2.7928	2.6039	0.1889	0.2720	0.6102	0.6054	0.3700	0.0082	22
14	2.7019	2.6953	0.0066	0.3144	0.0218	0.0216	0.0146	0.0000	4
15	4.6152	4.1752	0.4400	0.2659	1.4153	1.4334	0.8626	0.0427	21
16	4.3012	3.6981	0.6031	0.2725	1.9488	2.0207	1.2368	0.0837	2
17	4.3243	4.4676	-0.1433	0.1198	-0.4209	-0.4166	-0.1537	0.0014	16
18	2.6458	3.0595	-0.4138	0.1196	-1.2154	-1.2227	-0.4507	0.0118	17
19	4.4385	4.4676	-0.0292	0.1198	-0.0857	-0.0846	-0.0312	0.0001	13
20	2.7749	3.0595	-0.2846	0.1196	-0.8360	-0.8329	-0.3071	0.0056	7
21	4.4721	4.4676	0.0045	0.1198	0.0132	0.0131	0.0048	0.0000	3
22	2.6833	3.0595	-0.3762	0.1196	-1.1051	-1.1082	-0.4085	0.0098	15
23	2.4900	2.5230	-0.0330	0.3144	-0.1099	-0.1086	-0.0736	0.0003	40

A-1 Devam

24	2.2361	2.3938	-0.1578	0.2821	-0.5131	-0.5085	-0.3187	0.0061	31
25	3.2249	2.8968	0.3281	0.2709	1.0589	1.0605	0.6464	0.0245	32
26	3.8079	3.7698	0.0381	0.2729	0.1230	0.1215	0.0744	0.0003	36
27	1.5811	1.6135	-0.0324	0.2826	-0.1054	-0.1041	-0.0654	0.0003	34
28	4.6368	4.5211	0.1157	0.3225	0.3874	0.3833	0.2645	0.0042	39
29	2.3022	2.3211	-0.0189	0.2860	-0.0617	-0.0610	-0.0386	0.0001	37
30	4.5387	4.6602	-0.1215	0.2848	-0.3959	-0.3918	-0.2472	0.0037	42
31	1.6432	1.5467	0.0964	0.3191	0.3221	0.3185	0.2180	0.0029	44
32	4.4385	4.2338	0.2047	0.2930	0.6709	0.6663	0.4289	0.0110	28
33	1.0954	1.0569	0.0386	0.2982	0.1269	0.1254	0.0817	0.0004	33
34	4.5497	4.7461	-0.1964	0.2735	-0.6350	-0.6303	-0.3867	0.0089	24
35	2.4083	2.5898	-0.1815	0.2720	-0.5862	-0.5815	-0.3554	0.0076	38
36	2.3452	2.6812	-0.3359	0.3143	-1.1181	-1.1216	-0.7593	0.0337	30
37	3.8987	4.1611	-0.2624	0.2659	-0.8440	-0.8410	-0.5062	0.0152	41
38	2.8810	3.6839	-0.8030	0.2727	-2.5950	-2.8037	-1.7167	0.1485	43
39	4.7223	4.4535	0.2688	0.1074	0.7841	0.7804	0.2707	0.0044	25
40	3.6742	3.0454	0.6289	0.1072	1.8344	1.8911	0.6554	0.0238	26
41	4.6583	4.4535	0.2048	0.1074	0.5975	0.5928	0.2056	0.0025	23
42	2.6077	3.0454	-0.4377	0.1072	-1.2767	-1.2869	-0.4460	0.0115	29
43	4.7011	4.4535	0.2476	0.1074	0.7222	0.7179	0.2490	0.0037	27
44	3.6742	3.0454	0.6289	0.1072	1.8344	1.8911	0.6554	0.0238	35
45	4.6904	4.4535	0.2369	0.1074	0.6912	0.6867	0.2382	0.0034	45
46	2.5884	3.0454	-0.4569	0.1072	-1.3328	-1.3460	-0.4665	0.0126	46
47	2.7928	2.5498	0.2430	0.64 [#]	1.1209	1.1245	1.5090	0.1331	47
48	4.3359	4.1521	0.1838	0.2269	0.5762	0.5715	0.3096	0.0057	48
49	4.1833	4.0634	0.1199	0.4704	0.4540	0.4496	0.4237	0.0108	49
50	2.5690	2.8697	-0.3007	0.63 [#]	-1.3709	-1.3862	-1.8266	0.1920	50
51	4.4721	4.1829	0.2893	0.4102	1.0381	1.0391	0.8666	0.0441	51
52	4.0000	3.9550	0.0450	0.68 [#]	0.2203	0.2177	0.3195	0.0061	52
53	3.3166	2.9662	0.3504	0.67 [#]	1.6747	1.7138	*2.43	0.3311	53
54	2.7386	2.5898	0.1488	0.3830	0.5221	0.5174	0.4076	0.0100	54
55	2.6077	2.8513	-0.2436	0.5074	-0.9567	-0.9557	-0.9700	0.0555	55
56	2.8284	3.3958	-0.5674	0.4385	-2.0868	-2.1803	-1.9268	0.2001	56
57	4.4721	4.8078	-0.3356	0.72 [#]	-1.7514	-1.7985	*-2.89	0.4664	57
58	4.3359	4.2688	0.0671	0.3878	0.2364	0.2337	0.1860	0.0021	58

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Karekök, Sabit = 0, [#]Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme), * Limit aşımı

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	0.07	0.56	0.3	Karekök

A-2 Tasarım 1 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	5.3470	5.3578	-0.0109	0.3319	-0.1330	-0.1314	-0.0926	0.0005	8
2	4.9376	4.7981	0.1395	0.3064	1.6781	1.7176	1.1415	0.0732	12
3	5.5172	5.5336	-0.0163	0.2920	-0.1944	-0.1921	-0.1234	0.0009	10
4	4.8343	4.8106	0.0236	0.2952	0.2820	0.2788	0.1804	0.0020	1
5	6.5169	6.4859	0.0310	0.3436	0.3838	0.3798	0.2748	0.0045	11
6	6.2666	6.3803	-0.1137	0.3522	-1.4148	-1.4329	-1.0566	0.0640	9
7	6.2490	6.2704	-0.0214	0.3180	-0.2596	-0.2566	-0.1752	0.0018	18
8	6.2857	6.3345	-0.0488	0.3117	-0.5893	-0.5846	-0.3934	0.0093	14
9	5.3376	5.2649	0.0727	0.3387	0.8953	0.8931	0.6392	0.0241	19
10	4.8549	4.9598	-0.1049	0.3271	-1.2810	-1.2914	-0.9004	0.0469	20
11	5.2498	5.2529	-0.0032	0.3193	-0.0385	-0.0380	-0.0261	0.0000	5
12	4.7812	5.0224	-0.2412	0.2998	-2.8874	-3.1953	*-2.09	0.2100	6
13	6.5177	6.5788	-0.0611	0.3110	-0.7371	-0.7330	-0.4925	0.0144	22
14	6.1303	6.2185	-0.0883	0.3430	-1.0910	-1.0936	-0.7902	0.0366	4
15	6.4954	6.5510	-0.0557	0.2887	-0.6611	-0.6565	-0.4183	0.0104	21
16	6.0967	6.1227	-0.0260	0.2910	-0.3089	-0.3055	-0.1957	0.0023	2
17	6.2008	6.0980	0.1028	0.1160	1.0956	1.0984	0.3978	0.0093	16
18	5.9321	5.9112	0.0209	0.1187	0.2233	0.2207	0.0810	0.0004	17
19	6.1741	6.0980	0.0762	0.1160	0.8115	0.8081	0.2927	0.0051	13
20	6.0141	5.9112	0.1030	0.1187	1.0985	1.1014	0.4042	0.0096	7
21	6.2258	6.0980	0.1278	0.1160	1.3614	1.3761	0.4984	0.0143	3
22	6.0050	5.9112	0.0938	0.1187	1.0009	1.0009	0.3673	0.0079	15
23	5.3796	5.3414	0.0382	0.3323	0.4684	0.4639	0.3273	0.0064	40
24	4.7749	4.7816	-0.0067	0.3062	-0.0807	-0.0797	-0.0529	0.0002	31
25	5.4166	5.5171	-0.1005	0.2911	-1.1956	-1.2021	-0.7703	0.0345	32
26	4.9427	4.7942	0.1485	0.2942	1.7704	1.8196	1.1749	0.0769	36
27	6.4938	6.4694	0.0244	0.3440	0.3021	0.2987	0.2163	0.0028	34
28	6.4869	6.3638	0.1231	0.3524	1.5320	1.5585	1.1497	0.0751	39
29	6.2145	6.2540	-0.0395	0.3181	-0.4787	-0.4742	-0.3238	0.0063	37
30	6.4661	6.3181	0.1480	0.3110	1.7859	1.8368	1.2342	0.0847	42
31	5.1361	5.2485	-0.1123	0.3385	-1.3834	-1.3995	-1.0012	0.0576	44
32	4.9356	4.9434	-0.0078	0.3276	-0.0951	-0.0939	-0.0655	0.0003	28
33	5.2383	5.2365	0.0018	0.3186	0.0221	0.0218	0.0149	0.0000	33
34	5.0130	5.0060	0.0070	0.2986	0.0835	0.0825	0.0538	0.0002	24
35	6.5765	6.5623	0.0142	0.3120	0.1709	0.1689	0.1137	0.0008	38
36	6.2682	6.2021	0.0661	0.3426	0.8162	0.8128	0.5867	0.0204	30
37	6.6476	6.5346	0.1129	0.2887	1.3413	1.3549	0.8631	0.0429	41

A-2 Devam

38	6.1384	6.1063	0.0321	0.2905	0.3823	0.3783	0.2421	0.0035	43
39	5.9883	6.0815	-0.0932	0.1040	-0.9863	-0.9859	-0.3360	0.0066	25
40	5.7088	5.8948	-0.1860	0.1065	-1.9709	-2.0460	-0.7065	0.0272	26
41	6.1514	6.0815	0.0699	0.1040	0.7396	0.7355	0.2506	0.0037	23
42	5.9380	5.8948	0.0433	0.1065	0.4584	0.4539	0.1568	0.0015	29
43	6.0548	6.0815	-0.0268	0.1040	-0.2833	-0.2801	-0.0955	0.0005	27
44	5.7948	5.8948	-0.0999	0.1065	-1.0589	-1.0605	-0.3662	0.0079	35
45	6.0828	6.0815	0.0012	0.1040	0.0131	0.0129	0.0044	0.0000	45
46	5.7367	5.8948	-0.1580	0.1065	-1.6746	-1.7137	-0.5918	0.0197	46
47	5.1536	5.1190	0.0346	0.4135	0.4526	0.4482	0.3763	0.0085	47
48	4.8559	4.8010	0.0549	0.3122	0.6635	0.6589	0.4439	0.0118	48
49	4.8415	4.8879	-0.0464	0.5044	-0.6608	-0.6562	-0.6621	0.0261	49
50	4.5244	4.5877	-0.0633	0.4372	-0.8455	-0.8425	-0.7425	0.0327	50
51	5.6436	5.7300	-0.0864	0.2934	-1.0296	-1.0303	-0.6639	0.0259	51
52	5.9933	5.9866	0.0067	0.77 [#]	0.1400	0.1383	0.2539	0.0039	52
53	5.9271	5.9098	0.0172	0.4251	0.2274	0.2248	0.1933	0.0022	53
54	6.0481	6.0204	0.0278	0.4248	0.3667	0.3628	0.3118	0.0058	54
55	6.3222	6.3574	-0.0352	0.65 [#]	-0.5997	-0.5950	-0.8186	0.0400	55
56	5.1981	5.0814	0.1167	0.3135	1.4103	1.4281	0.9651	0.0534	56
57	6.3079	6.3730	-0.0650	0.4875	-0.9099	-0.9079	-0.8855	0.0463	57
58	4.4565	4.4179	0.0385	0.2805	0.4551	0.4507	0.2814	0.0048	58

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Karekök, [#]Dengeleme > 2.00 (ortalama dengeleme), *Limit aşımı

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	-0.28	0.97	0.32	Karekök

A-3 Tasarım 1 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	10.9196	15.3412	-4.4216	0.1561	-0.5830	-0.5788	-0.2489	0.0063	11
2	17.8574	15.7817	2.0757	0.1800	0.2777	0.2748	0.1288	0.0017	16
3	70.3929	58.7645	11.6284	0.1712	1.5472	1.5717	0.7142	0.0494	15
4	59.7996	59.2051	0.5946	0.1765	0.0794	0.0785	0.0363	0.0001	10
5	7.1952	9.2419	-2.0467	0.1648	-0.2713	-0.2685	-0.1193	0.0015	20
6	81.5064	71.8946	9.6119	0.1828	1.2879	1.2975	0.6136	0.0371	2
7	8.2895	18.6290	-10.3395	0.1373	-1.3484	-1.3608	-0.5428	0.0289	14
8	79.8074	81.2817	-1.4743	0.1683	-0.1958	-0.1938	-0.0872	0.0008	17
9	7.7364	1.2533	6.4831	0.1728	0.8634	0.8610	0.3936	0.0156	12

A-3 Devam

10	54.7082	63.9059	-9.1976	0.1638	-1.2183	-1.2250	-0.5421	0.0291	7
11	16.1116	10.6404	5.4712	0.1671	0.7262	0.7224	0.3236	0.0106	13
12	70.9365	73.2930	-2.3565	0.1711	-0.3135	-0.3104	-0.1411	0.0020	22
13	12.4744	23.3299	-10.8555	0.1614	-1.4359	-1.4532	-0.6376	0.0397	5
14	20.7636	23.7704	-3.0068	0.1721	-0.4003	-0.3966	-0.1808	0.0033	3
15	80.3725	66.7532	13.6193	0.1682	1.8088	1.8563	0.8347	0.0662	8
16	78.1195	67.1937	10.9258	0.1604	1.4443	1.4620	0.6390	0.0398	21
17	73.1237	83.7539	-10.6302	0.1229	-1.3748	-1.3887	-0.5197	0.0265	4
18	60.8346	52.6478	8.1868	0.1173	1.0555	1.0568	0.3853	0.0148	19
19	86.6696	83.7539	2.9157	0.1229	0.3771	0.3736	0.1398	0.0020	1
20	50.7379	52.6478	-1.9099	0.1173	-0.2462	-0.2437	-0.0888	0.0008	6
21	78.1195	83.7539	-5.6344	0.1229	-0.7287	-0.7249	-0.2713	0.0074	9
22	54.7082	52.6478	2.0604	0.1173	0.2656	0.2629	0.0959	0.0009	18
23	14.7557	18.4977	-3.7420	0.1498	-0.4916	-0.4875	-0.2046	0.0043	30
24	12.7929	18.9382	-6.1453	0.1796	-0.8218	-0.8189	-0.3831	0.0148	40
25	60.8346	61.9211	-1.0864	0.1732	-0.1447	-0.1432	-0.0655	0.0004	27
26	50.7379	62.3616	-11.6237	0.1845	-1.5591	-1.5845	-0.7536	0.0550	42
27	9.7230	12.3985	-2.6755	0.1631	-0.3543	-0.3509	-0.1549	0.0024	28
28	67.1589	75.0511	-7.8922	0.1750	-1.0525	-1.0538	-0.4854	0.0235	29
29	14.0918	21.7856	-7.6937	0.1436	-1.0071	-1.0072	-0.4125	0.0170	36
30	85.5137	84.4382	1.0755	0.1686	0.1429	0.1413	0.0637	0.0004	23
31	6.9292	4.4098	2.5195	0.1727	0.3355	0.3323	0.1518	0.0023	34
32	66.0914	67.0624	-0.9710	0.1576	-0.1281	-0.1268	-0.0548	0.0003	44
33	12.7929	13.7969	-1.0039	0.1750	-0.1339	-0.1324	-0.0610	0.0004	43
34	82.6453	76.4495	6.1957	0.1730	0.8252	0.8223	0.3761	0.0142	35
35	33.2174	26.4864	6.7311	0.1536	0.8862	0.8841	0.3767	0.0143	38
36	42.1534	26.9269	15.2264	0.1702	2.0247	2.0983	0.9503	0.0841	31
37	65.5597	69.9097	-4.3500	0.1687	-0.5779	-0.5737	-0.2585	0.0068	37
38	66.0914	70.3503	-4.2588	0.1668	-0.5651	-0.5609	-0.2510	0.0064	26
39	78.6809	86.9104	-8.2295	0.1198	-1.0625	-1.0641	-0.3926	0.0154	41
40	66.0914	55.8043	10.2871	0.1202	1.3285	1.3399	0.4954	0.0241	39
41	84.3627	86.9104	-2.5477	0.1198	-0.3289	-0.3257	-0.1202	0.0015	25
42	60.8346	55.8043	5.0303	0.1202	0.6496	0.6455	0.2386	0.0058	24
43	80.9388	86.9104	-5.9715	0.1198	-0.7710	-0.7675	-0.2832	0.0081	32
44	71.4813	55.8043	15.6770	0.1202	2.0246	2.0981	0.7757	0.0560	33
45	6.9292	18.6290	-11.6998	0.1373	-1.5258	-1.5488	-0.6178	0.0370	45
46	31.9351	26.4864	5.4487	0.1536	0.7174	0.7136	0.3040	0.0093	46
47	26.5640	12.2549	14.3091	0.1943	1.9310	1.9923	0.9784	0.0899	47
48	65.0293	59.5465	5.4828	0.39#	0.8473	0.8446	0.6691	0.0451	48
49	52.7115	55.9112	-3.1997	0.3320	-0.4742	-0.4702	-0.3315	0.0112	49
50	17.5038	23.8041	-6.3003	0.45#	-1.0295	-1.0302	-0.9328	0.0869	50

A-3 Devam

51	3.9968	17.3536	-13.3568	0.3070	-1.9435	-2.0064	-1.3354	0.1673	51
52	70.3929	73.3267	-2.9338	0.44#	-0.4758	-0.4718	-0.4200	0.0179	52
53	9.7230	15.5427	-5.8198	0.1777	-0.7774	-0.7740	-0.3598	0.0131	53
54	11.8448	14.3830	-2.5383	0.2262	-0.3495	-0.3462	-0.1871	0.0036	54
55	7.1952	0.6528	6.5425	0.2054	0.8890	0.8869	0.4509	0.0204	55
56	71.4813	63.6669	7.8144	0.1986	1.0574	1.0588	0.5271	0.0277	56
Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Kuvvet, Lambda = 1.45, Sabit = 0, #Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme)									
Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü				
	0	1.03	1.87	1.45	Kuvvet				

A-4 Tasarım 1 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, D_{en} büyük = 22.4 mm

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	3.5328	3.4869	0.0459	0.1516	1.4288	1.4457	0.6112	0.0365	11
2	3.3888	3.4069	-0.0181	0.1732	-0.5711	-0.5668	-0.2594	0.0068	16
3	3.4754	3.4956	-0.0202	0.1622	-0.6329	-0.6287	-0.2767	0.0078	15
4	3.3738	3.4156	-0.0417	0.1733	-1.3161	-1.3269	-0.6075	0.0363	10
5	3.9866	3.9550	0.0315	0.1691	0.9925	0.9923	0.4477	0.0200	20
6	3.7858	3.8134	-0.0276	0.1761	-0.8731	-0.8708	-0.4026	0.0163	2
7	3.9724	3.9464	0.0260	0.1490	0.8081	0.8050	0.3368	0.0114	14
8	3.7665	3.8048	-0.0382	0.1671	-1.2011	-1.2070	-0.5407	0.0289	17
9	3.5104	3.5038	0.0065	0.1749	0.2058	0.2037	0.0938	0.0009	12
10	3.3786	3.3622	0.0164	0.1745	0.5174	0.5133	0.2360	0.0057	7
11	3.5059	3.4952	0.0107	0.1722	0.3368	0.3335	0.1521	0.0024	13
12	3.3673	3.3536	0.0137	0.1829	0.4358	0.4319	0.2044	0.0043	22
13	3.8262	3.8930	-0.0668	0.1666	-2.0982	-2.1823	-0.9758	0.0880	5
14	3.7926	3.8130	-0.0204	0.1637	-0.6412	-0.6371	-0.2818	0.0080	3
15	3.8373	3.9017	-0.0644	0.1782	-2.0371	-2.1124	-0.9836	0.0900	8
16	3.8580	3.8217	0.0363	0.1648	1.1398	1.1436	0.5079	0.0256	21
17	3.7975	3.7471	0.0504	0.1222	1.5437	1.5680	0.5850	0.0332	4
18	3.7584	3.7779	-0.0195	0.1172	-0.5941	-0.5899	-0.2149	0.0047	19
19	3.7511	3.7471	0.0041	0.1222	0.1246	0.1233	0.0460	0.0002	1
20	3.8214	3.7779	0.0436	0.1172	1.3298	1.3413	0.4886	0.0235	6
21	3.7575	3.7471	0.0104	0.1222	0.3182	0.3150	0.1175	0.0014	9
22	3.7769	3.7779	-0.0010	0.1172	-0.0300	-0.0296	-0.0108	0.0000	18
23	3.4995	3.4881	0.0115	0.1530	0.3577	0.3543	0.1505	0.0023	30
24	3.3928	3.4080	-0.0152	0.1812	-0.4817	-0.4777	-0.2247	0.0051	40

A-4 Devam

25	3.4760	3.4967	-0.0207	0.1639	-0.6497	-0.6456	-0.2859	0.0083	27
26	3.4707	3.4167	0.0540	0.1817	1.7132	1.7512	0.8253	0.0652	42
27	3.9429	3.9562	-0.0132	0.1772	-0.4180	-0.4142	-0.1922	0.0038	28
28	3.8633	3.8145	0.0487	0.1770	1.5397	1.5637	0.7252	0.0510	29
29	3.8749	3.9475	-0.0726	0.1567	-2.2660	-2.3779	-1.0249	0.0954	36
30	3.8375	3.8059	0.0316	0.1677	0.9941	0.9940	0.4462	0.0199	23
31	3.5418	3.5050	0.0369	0.1742	1.1634	1.1680	0.5365	0.0286	34
32	3.3474	3.3634	-0.0159	0.1667	-0.4997	-0.4956	-0.2216	0.0050	44
33	3.4992	3.4963	0.0029	0.1711	0.0921	0.0911	0.0414	0.0002	43
34	3.3694	3.3547	0.0147	0.1747	0.4631	0.4591	0.2112	0.0045	35
35	3.8836	3.8942	-0.0105	0.1581	-0.3297	-0.3264	-0.1415	0.0020	38
36	3.7762	3.8141	-0.0379	0.1619	-1.1886	-1.1940	-0.5247	0.0273	31
37	3.9340	3.9028	0.0312	0.1700	0.9806	0.9802	0.4436	0.0197	37
38	3.8186	3.8228	-0.0042	0.1633	-0.1320	-0.1306	-0.0577	0.0003	26
39	3.7523	3.7482	0.0041	0.1189	0.1256	0.1243	0.0457	0.0002	41
40	3.7317	3.7790	-0.0473	0.1208	-1.4469	-1.4648	-0.5431	0.0288	39
41	3.7844	3.7482	0.0362	0.1189	1.1062	1.1089	0.4074	0.0165	25
42	3.7593	3.7790	-0.0197	0.1208	-0.6016	-0.5973	-0.2215	0.0050	24
43	3.7398	3.7482	-0.0084	0.1189	-0.2567	-0.2541	-0.0934	0.0009	32
44	3.7507	3.7790	-0.0283	0.1208	-0.8664	-0.8640	-0.3203	0.0103	33
45	3.9688	3.9464	0.0224	0.1490	0.6967	0.6927	0.2898	0.0085	45
46	3.9164	3.8942	0.0222	0.1581	0.6952	0.6912	0.2995	0.0091	46
47	3.3683	3.3604	0.0080	0.1944	0.2546	0.2520	0.1238	0.0016	47
48	3.2805	3.3018	-0.0213	0.2116	-0.6883	-0.6843	-0.3545	0.0127	48
49	3.7986	3.7969	0.0017	0.3370	0.0611	0.0604	0.0431	0.0002	49
50	3.7950	3.8041	-0.0090	0.42#	-0.3387	-0.3355	-0.2840	0.0082	50
51	3.3793	3.3952	-0.0159	0.2043	-0.5122	-0.5081	-0.2574	0.0067	51
52	3.3290	3.3446	-0.0156	0.39#	-0.5739	-0.5697	-0.4563	0.0211	52
53	3.8662	3.7973	0.0689	0.1826	2.1860	2.2840	1.0794	0.1067	53
54	3.4085	3.4573	-0.0488	0.3566	-1.7434	-1.7843	-1.3283	0.1684	54
55	3.9306	3.9081	0.0226	0.3448	0.8003	0.7971	0.5782	0.0337	55
56	3.8071	3.7977	0.0094	0.2181	0.3059	0.3029	0.1600	0.0026	56

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Doğal logaritma, Sabit = 0, #Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme)

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
		0	-0.64	0.60	-0.03	Logaritma

A-5 Tasarım 2 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	2.3875	2.2408	0.1466	0.1812	0.3673	0.3640	0.1712	0.0030	8
2	2.3022	2.2154	0.0868	0.1836	0.2178	0.2157	0.1023	0.0011	12
3	2.4495	3.2837	-0.8342	0.1981	-2.1119	-2.1942	-1.0906	0.1102	10
4	4.0249	3.8100	0.2149	0.1808	0.5382	0.5342	0.2509	0.0064	1
5	1.6733	1.7129	-0.0396	0.1881	-0.0997	-0.0986	-0.0475	0.0002	11
6	4.6690	4.7134	-0.0444	0.2114	-0.1133	-0.1121	-0.0581	0.0003	9
7	2.1213	2.2571	-0.1358	0.1990	-0.3439	-0.3407	-0.1698	0.0029	18
8	4.8166	4.7057	0.1109	0.2092	0.2827	0.2800	0.1440	0.0021	14
9	1.5811	1.5290	0.0521	0.2089	0.1328	0.1314	0.0675	0.0005	19
10	4.0988	3.9777	0.1211	0.1991	0.3067	0.3038	0.1515	0.0023	20
11	1.7607	1.5214	0.2393	0.2080	0.6097	0.6056	0.3104	0.0098	5
12	4.5717	4.5218	0.0498	0.1828	0.1249	0.1236	0.0585	0.0003	6
13	2.7928	2.4247	0.3681	0.1912	0.9279	0.9265	0.4504	0.0203	22
14	2.7019	2.9511	-0.2492	0.2005	-0.6319	-0.6279	-0.3144	0.0100	4
15	4.6152	4.0194	0.5958	0.1845	1.4956	1.5157	0.7210	0.0506	21
16	4.3012	3.9939	0.3072	0.1765	0.7675	0.7641	0.3537	0.0126	2
17	4.3243	4.3399	-0.0156	0.1058	-0.0373	-0.0369	-0.0127	0.0000	16
18	2.6458	3.1028	-0.4571	0.1098	-1.0983	-1.1007	-0.3866	0.0149	17
19	4.4385	4.3399	0.0985	0.1058	0.2362	0.2339	0.0805	0.0007	13
20	2.7749	3.1028	-0.3280	0.1098	-0.7880	-0.7848	-0.2756	0.0077	7
21	4.4721	4.3399	0.1322	0.1058	0.3170	0.3140	0.1080	0.0012	3
22	2.6833	3.1028	-0.4196	0.1098	-1.0081	-1.0083	-0.3541	0.0125	15
23	2.4900	2.2302	0.2598	0.1810	0.6507	0.6468	0.3041	0.0094	40
24	2.2361	2.2047	0.0313	0.1828	0.0786	0.0778	0.0368	0.0001	31
25	3.2249	3.2731	-0.0482	0.1972	-0.1219	-0.1206	-0.0598	0.0004	32
26	3.8079	3.7994	0.0085	0.1790	0.0212	0.0209	0.0098	0.0000	36
27	1.5811	1.7023	-0.1212	0.1881	-0.3049	-0.3020	-0.1453	0.0022	34
28	4.6368	4.7028	-0.0660	0.2111	-0.1684	-0.1667	-0.0862	0.0008	39
29	2.3022	2.2464	0.0557	0.1983	0.1411	0.1396	0.0694	0.0005	37
30	4.5387	4.6951	-0.1564	0.2086	-0.3985	-0.3950	-0.2028	0.0042	42
31	1.6432	1.5184	0.1247	0.2082	0.3178	0.3148	0.1614	0.0027	44
32	4.4385	3.9671	0.4714	0.1984	1.1936	1.1990	0.5965	0.0353	28
33	1.0954	1.5107	-0.4153	0.2070	-1.0572	-1.0585	-0.5407	0.0292	33
34	4.5497	4.5112	0.0385	0.1815	0.0965	0.0955	0.0450	0.0002	24
35	2.4083	2.4141	-0.0058	0.1916	-0.0146	-0.0144	-0.0070	0.0000	38
36	2.3452	2.9405	-0.5952	0.2000	-1.5087	-1.5296	-0.7649	0.0569	30
37	3.8987	4.0088	-0.1101	0.1840	-0.2763	-0.2736	-0.1299	0.0017	41

A-5 Devam

38	2.8810	3.9833	-1.1023	0.1753	-2.7518	-2.9670	-1.3678	0.1609	43
39	4.7223	4.3293	0.3930	0.0950	0.9365	0.9353	0.3031	0.0092	25
40	3.6742	3.0922	0.5820	0.0987	1.3898	1.4038	0.4645	0.0212	26
41	4.6583	4.3293	0.3290	0.0950	0.7841	0.7809	0.2530	0.0065	23
42	2.6077	3.0922	-0.4845	0.0987	-1.1570	-1.1612	-0.3843	0.0147	29
43	4.7011	4.3293	0.3718	0.0950	0.8859	0.8839	0.2864	0.0082	27
44	3.6742	3.0922	0.5820	0.0987	1.3898	1.4038	0.4645	0.0212	35
45	4.6904	4.3293	0.3611	0.0950	0.8606	0.8582	0.2781	0.0078	45
46	2.5884	3.0922	-0.5038	0.0987	-1.2030	-1.2088	-0.4000	0.0158	46
47	2.7928	3.2023	-0.4094	0.1822	-1.0264	-1.0270	-0.4848	0.0235	47
48	4.3359	4.3993	-0.0634	0.1758	-0.1584	-0.1567	-0.0724	0.0005	48
49	4.1833	4.4686	-0.2853	0.2232	-0.7338	-0.7303	-0.3915	0.0155	49
50	2.5690	2.7260	-0.1570	0.2000	-0.3978	-0.3943	-0.1972	0.0040	50
51	4.4721	4.0055	0.4666	0.1971	1.1805	1.1855	0.5873	0.0342	51
52	4.0000	3.5226	0.4774	0.2238	1.2284	1.2351	0.6631	0.0435	52
53	3.3166	2.1726	1.1440	0.1851	2.8730	3.1242	1.4892	0.1876	53
54	2.7386	2.6170	0.1216	0.1731	0.3032	0.3003	0.1374	0.0019	54
55	2.6077	3.4409	-0.8332	0.2259	-2.1469	-2.2344	-1.2071	0.1345	55
56	2.8284	3.2953	-0.4669	0.2093	-1.1902	-1.1955	-0.6151	0.0375	56
57	4.4721	4.9809	-0.5087	0.1992	-1.2888	-1.2979	-0.6473	0.0413	57
58	4.3359	3.8216	0.5143	0.1888	1.2944	1.3038	0.6289	0.0390	58
Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Karekök, Sabit = 0									
Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü				
	0	0.11	0.69	0.4	Karekök				

A-6 Tasarım 2 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	28.5900	30.0588	-1.4688	0.1736	-1.2010	-1.2067	-0.5530	0.0303	8
2	24.3800	22.9694	1.4106	0.1704	1.1512	1.1552	0.5236	0.0272	12
3	30.4400	29.9182	0.5218	0.1679	0.4252	0.4215	0.1893	0.0036	10
4	23.3700	23.1100	0.2600	0.1606	0.2110	0.2089	0.0914	0.0009	1
5	42.4700	40.2619	2.2081	0.1644	1.7955	1.8395	0.8158	0.0634	11
6	39.2700	40.5448	-1.2748	0.1801	-1.0465	-1.0476	-0.4911	0.0241	9
7	39.0500	40.4025	-1.3525	0.1617	-1.0980	-1.1004	-0.4834	0.0233	18
8	39.5100	40.4042	-0.8942	0.1760	-0.7322	-0.7286	-0.3367	0.0115	14
9	28.4900	27.4246	1.0654	0.1873	0.8785	0.8763	0.4208	0.0178	19
10	23.5700	25.6036	-2.0336	0.1735	-1.6627	-1.6948	-0.7765	0.0580	20

A-6 Devam

11	27.5600	27.2840	0.2760	0.1711	0.2253	0.2231	0.1014	0.0010	5
12	22.8600	25.7442	-2.8842	0.1531	-2.3296	-2.4478	-1.0409	0.0981	6
13	42.4800	42.8961	-0.4161	0.1794	-0.3414	-0.3383	-0.1581	0.0025	22
14	37.5800	37.9106	-0.3306	0.1794	-0.2713	-0.2686	-0.1256	0.0016	4
15	42.1900	43.0367	-0.8467	0.1662	-0.6892	-0.6854	-0.3060	0.0095	21
16	37.1700	37.7700	-0.6000	0.1647	-0.4880	-0.4841	-0.2149	0.0047	2
17	38.4500	37.3822	1.0678	0.1123	0.8424	0.8399	0.2988	0.0090	16
18	35.1900	34.7479	0.4421	0.1157	0.3494	0.3462	0.1252	0.0016	17
19	38.1200	37.3822	0.7378	0.1123	0.5821	0.5780	0.2056	0.0043	13
20	36.1700	34.7479	1.4221	0.1157	1.1240	1.1272	0.4077	0.0165	7
21	38.7600	37.3822	1.3778	0.1123	1.0870	1.0891	0.3874	0.0150	3
22	36.0600	34.7479	1.3121	0.1157	1.0371	1.0379	0.3754	0.0141	15
23	28.9400	29.8818	-0.9418	0.1733	-0.7699	-0.7666	-0.3509	0.0124	40
24	22.8000	22.7923	0.0077	0.1700	0.0063	0.0062	0.0028	0.0000	31
25	29.3400	29.7412	-0.4012	0.1677	-0.3268	-0.3238	-0.1453	0.0022	32
26	24.4300	22.9329	1.4971	0.1601	1.2143	1.2204	0.5328	0.0281	36
27	42.1700	40.0848	2.0852	0.1645	1.6957	1.7305	0.7678	0.0566	34
28	42.0800	40.3677	1.7123	0.1798	1.4053	1.4201	0.6649	0.0433	39
29	38.6200	40.2254	-1.6054	0.1617	-1.3033	-1.3131	-0.5768	0.0328	37
30	41.8100	40.2271	1.5829	0.1758	1.2959	1.3054	0.6028	0.0358	42
31	26.3800	27.2475	-0.8675	0.1867	-0.7150	-0.7113	-0.3409	0.0117	44
32	24.3600	25.4265	-1.0665	0.1734	-0.8719	-0.8697	-0.3983	0.0159	28
33	27.4400	27.1069	0.3331	0.1706	0.2719	0.2692	0.1221	0.0015	33
34	25.1300	25.5671	-0.4371	0.1529	-0.3530	-0.3498	-0.1486	0.0022	24
35	43.2500	42.7190	0.5310	0.1798	0.4358	0.4321	0.2023	0.0042	38
36	39.2900	37.7335	1.5565	0.1788	1.2767	1.2853	0.5997	0.0355	30
37	44.1900	42.8596	1.3304	0.1664	1.0831	1.0851	0.4849	0.0234	41
38	37.6800	37.5929	0.0871	0.1642	0.0708	0.0701	0.0311	0.0001	43
39	35.8600	37.2051	-1.3451	0.1005	-1.0542	-1.0555	-0.3529	0.0124	25
40	32.5900	34.5708	-1.9808	0.1036	-1.5551	-1.5791	-0.5369	0.0280	26
41	37.8400	37.2051	0.6349	0.1005	0.4976	0.4937	0.1650	0.0028	23
42	35.2600	34.5708	0.6892	0.1036	0.5410	0.5370	0.1826	0.0034	29
43	36.6600	37.2051	-0.5451	0.1005	-0.4272	-0.4235	-0.1416	0.0020	27
44	33.5800	34.5708	-0.9908	0.1036	-0.7779	-0.7747	-0.2634	0.0070	35
45	37.0000	37.2051	-0.2051	0.1005	-0.1607	-0.1591	-0.0532	0.0003	45
46	32.9100	34.5708	-1.6608	0.1036	-1.3039	-1.3137	-0.4466	0.0196	46
47	26.5600	25.4412	1.1188	0.2742	0.9762	0.9757	0.5998	0.0360	47
48	23.5800	21.6853	1.8947	0.1742	1.5498	1.5735	0.7227	0.0507	48
49	23.4400	22.7784	0.6616	0.3329	0.6022	0.5981	0.4226	0.0181	49
50	20.4700	21.8639	-1.3939	0.2678	-1.2108	-1.2168	-0.7359	0.0536	50
51	31.8500	33.7111	-1.8611	0.2338	-1.5804	-1.6062	-0.8872	0.0762	51

A-6 Devam

52	35.9200	37.4367	-1.5167	0.3121	-1.3592	-1.3716	-0.9239	0.0838	52
53	35.1300	36.6675	-1.5375	0.2516	-1.3211	-1.3317	-0.7722	0.0587	53
54	36.5800	36.3436	0.2364	0.1795	0.1940	0.1920	0.0898	0.0008	54
55	39.9700	40.0709	-0.1009	0.3077	-0.0901	-0.0892	-0.0595	0.0004	55
56	27.0200	25.8593	1.1607	0.2332	0.9852	0.9849	0.5432	0.0295	56
57	39.7900	39.2612	0.5288	0.2943	0.4679	0.4641	0.2997	0.0091	57
58	19.8600	19.0510	0.8090	0.1829	0.6652	0.6613	0.3128	0.0099	58
Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = yok									
Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü				
	0	-0.22	1.27	0.4	Yok				

A-7 Tasarım 3 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	2.3875	2.5088	-0.1213	0.3382	-0.4429	-0.4384	-0.3134	0.0056	8
2	2.3022	2.3338	-0.0316	0.3184	-0.1139	-0.1124	-0.0769	0.0003	12
3	2.4495	3.0333	-0.5838	0.3146	-2.0949	-2.1923	-1.4853	0.1119	10
4	4.0249	3.7075	0.3174	0.3099	1.1350	1.1392	0.7635	0.0321	1
5	1.6733	1.6463	0.0271	0.3165	0.0973	0.0961	0.0654	0.0002	11
6	4.6690	4.5940	0.0750	0.3525	0.2770	0.2738	0.2020	0.0023	9
7	2.1213	2.2725	-0.1512	0.3388	-0.5524	-0.5476	-0.3919	0.0087	18
8	4.8166	4.6986	0.1180	0.3234	0.4261	0.4217	0.2916	0.0048	14
9	1.5811	1.6084	-0.0272	0.3425	-0.0998	-0.0985	-0.0711	0.0003	19
10	4.0988	4.3234	-0.2247	0.3327	-0.8169	-0.8135	-0.5744	0.0185	20
11	1.7607	1.1946	0.5661	0.3303	2.0550	2.1456	1.5069	0.1157	5
12	4.5717	4.7588	-0.1871	0.3075	-0.6681	-0.6634	-0.4420	0.0110	6
13	2.7928	2.5466	0.2462	0.2897	0.8678	0.8650	0.5524	0.0171	22
14	2.7019	2.6044	0.0974	0.3489	0.3587	0.3548	0.2597	0.0038	4
15	4.6152	4.1113	0.5039	0.3072	1.7985	1.8523	1.2335	0.0797	21
16	4.3012	3.6474	0.6538	0.3065	2.3322	2.4775	1.6471	0.1336	2
17	4.3243	4.4920	-0.1676	0.1202	-0.5309	-0.5260	-0.1945	0.0021	16
18	2.6458	3.0470	-0.4012	0.1202	-1.2707	-1.2808	-0.4735	0.0123	17
19	4.4385	4.4920	-0.0535	0.1202	-0.1695	-0.1674	-0.0619	0.0002	13
20	2.7749	3.0470	-0.2721	0.1202	-0.8617	-0.8589	-0.3175	0.0056	7
21	4.4721	4.4920	-0.0198	0.1202	-0.0628	-0.0620	-0.0229	0.0000	3
22	2.6833	3.0470	-0.3637	0.1202	-1.1518	-1.1567	-0.4276	0.0101	15
23	2.4900	2.4941	-0.0041	0.3382	-0.0152	-0.0150	-0.0107	0.0000	40
24	2.2361	2.3192	-0.0831	0.3184	-0.2991	-0.2956	-0.2021	0.0023	31

A-7 Devam

25	3.2249	3.0187	0.2062	0.3146	0.7400	0.7357	0.4985	0.0140	32
26	3.8079	3.6929	0.1150	0.3099	0.4112	0.4069	0.2727	0.0042	36
27	1.5811	1.6316	-0.0505	0.3165	-0.1814	-0.1792	-0.1219	0.0008	34
28	4.6368	4.5794	0.0574	0.3525	0.2120	0.2094	0.1545	0.0014	39
29	2.3022	2.2579	0.0443	0.3388	0.1617	0.1597	0.1143	0.0007	37
30	4.5387	4.6840	-0.1453	0.3234	-0.5247	-0.5199	-0.3595	0.0073	42
31	1.6432	1.5937	0.0494	0.3425	0.1811	0.1789	0.1291	0.0009	44
32	4.4385	4.3088	0.1297	0.3327	0.4715	0.4669	0.3297	0.0062	28
33	1.0954	1.1799	-0.0845	0.3303	-0.3067	-0.3032	-0.2130	0.0026	33
34	4.5497	4.7442	-0.1944	0.3075	-0.6941	-0.6895	-0.4595	0.0119	24
35	2.4083	2.5320	-0.1237	0.2897	-0.4360	-0.4315	-0.2755	0.0043	38
36	2.3452	2.5898	-0.2446	0.3489	-0.9003	-0.8981	-0.6574	0.0241	30
37	3.8987	4.0966	-0.1979	0.3072	-0.7064	-0.7019	-0.4674	0.0123	41
38	2.8810	3.6327	-0.7518	0.3065	-2.6817	-2.9239	-1.9439	0.1766	43
39	4.7223	4.4773	0.2449	0.1077	0.7703	0.7663	0.2663	0.0040	25
40	3.6742	3.0323	0.6419	0.1077	2.0186	2.1032	0.7308	0.0273	26
41	4.6583	4.4773	0.1810	0.1077	0.5692	0.5643	0.1961	0.0022	23
42	2.6077	3.0323	-0.4247	0.1077	-1.3355	-1.3491	-0.4687	0.0120	29
43	4.7011	4.4773	0.2237	0.1077	0.7036	0.6990	0.2429	0.0033	27
44	3.6742	3.0323	0.6419	0.1077	2.0186	2.1032	0.7308	0.0273	35
45	4.6904	4.4773	0.2131	0.1077	0.6701	0.6654	0.2312	0.0030	45
46	2.5884	3.0323	-0.4439	0.1077	-1.3960	-1.4133	-0.4911	0.0131	46
47	2.7928	2.5761	0.2168	0.4949	0.9061	0.9040	0.8948	0.0447	47
48	4.3359	4.4687	-0.1328	0.2712	-0.4622	-0.4576	-0.2792	0.0044	48
49	4.1833	3.9847	0.1986	0.4595	0.8025	0.7988	0.7365	0.0304	49
50	2.5690	2.6230	-0.0540	0.70#	-0.2951	-0.2917	-0.4509	0.0116	50
51	4.4721	4.2488	0.2233	0.4674	0.9090	0.9069	0.8496	0.0403	51
52	4.0000	4.0927	-0.0927	0.74#	-0.5393	-0.5345	-0.9006	0.0459	52
53	3.3166	3.2432	0.0734	0.69#	0.3921	0.3880	0.5801	0.0191	53
54	2.7386	2.7398	-0.0012	0.2749	-0.0042	-0.0042	-0.0026	0.0000	54
55	2.6077	2.7406	-0.1329	0.3811	-0.5020	-0.4973	-0.3902	0.0086	55
56	2.8284	2.9258	-0.0973	0.5170	-0.4160	-0.4117	-0.4260	0.0103	56
57	4.4721	4.7002	-0.2281	0.5958	-1.0656	-1.0675	-1.2960	0.0930	57
58	4.3359	4.3090	0.0269	0.4644	0.1093	0.1079	0.1005	0.0006	58

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Karekök, Sabit = 0, #Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme)

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	0.06	0.63	0.32	Karekök

A-8 Tasarım 3 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	28.5900	29.0090	-0.4190	0.3332	-0.4378	-0.4334	-0.3064	0.0056	8
2	24.3800	24.0859	0.2941	0.3438	0.3098	0.3063	0.2217	0.0030	12
3	30.4400	29.6607	0.7793	0.3226	0.8079	0.8044	0.5551	0.0183	10
4	23.3700	23.4567	-0.0867	0.3232	-0.0899	-0.0888	-0.0614	0.0002	1
5	42.4700	41.1296	1.3404	0.3751	1.4468	1.4670	1.1366	0.0739	11
6	39.2700	40.2823	-1.0123	0.3818	-1.0985	-1.1014	-0.8656	0.0438	9
7	39.0500	39.4683	-0.4183	0.3646	-0.4477	-0.4433	-0.3358	0.0068	18
8	39.5100	40.3624	-0.8524	0.3601	-0.9092	-0.9072	-0.6806	0.0274	14
9	28.4900	28.7134	-0.2234	0.3716	-0.2405	-0.2377	-0.1828	0.0020	19
10	23.5700	24.3847	-0.8147	0.3694	-0.8754	-0.8728	-0.6680	0.0264	20
11	27.5600	27.0836	0.4764	0.3675	0.5112	0.5065	0.3861	0.0089	5
12	22.8600	24.4334	-1.5734	0.3514	-1.6669	-1.7053	-1.2552	0.0886	6
13	42.4800	42.9867	-0.5067	0.3188	-0.5238	-0.5191	-0.3552	0.0076	22
14	37.5800	38.4219	-0.8419	0.3535	-0.8935	-0.8912	-0.6591	0.0257	4
15	42.1900	43.6070	-1.4170	0.3021	-1.4472	-1.4674	-0.9653	0.0533	21
16	37.1700	37.8242	-0.6542	0.3528	-0.6938	-0.6893	-0.5089	0.0154	2
17	38.4500	37.9499	0.5001	0.1361	0.4591	0.4547	0.1805	0.0020	16
18	35.1900	34.3236	0.8664	0.1361	0.7953	0.7917	0.3143	0.0059	17
19	38.1200	37.9499	0.1701	0.1361	0.1562	0.1543	0.0613	0.0002	13
20	36.1700	34.3236	1.8464	0.1361	1.6950	1.7361	0.6892	0.0266	7
21	38.7600	37.9499	0.8101	0.1361	0.7437	0.7396	0.2936	0.0051	3
22	36.0600	34.3236	1.7364	0.1361	1.5940	1.6256	0.6453	0.0236	15
23	28.9400	28.8259	0.1141	0.3332	0.1192	0.1178	0.0832	0.0004	40
24	22.8000	23.9028	-1.1028	0.3438	-1.1616	-1.1667	-0.8444	0.0416	31
25	29.3400	29.4777	-0.1377	0.3226	-0.1427	-0.1410	-0.0973	0.0006	32
26	24.4300	23.2736	1.1564	0.3232	1.1993	1.2059	0.8333	0.0404	36
27	42.1700	40.9465	1.2235	0.3751	1.3206	1.3331	1.0329	0.0616	34
28	42.0800	40.0992	1.9808	0.3818	2.1496	2.2540	1.7714	0.1679	39
29	38.6200	39.2852	-0.6652	0.3646	-0.7120	-0.7077	-0.5361	0.0171	37
30	41.8100	40.1793	1.6307	0.3601	1.7394	1.7851	1.3392	0.1002	42
31	26.3800	28.5304	-2.1504	0.3716	-2.3146	-2.4520	-1.8858	0.1864	44
32	24.3600	24.2016	0.1584	0.3694	0.1702	0.1681	0.1287	0.0010	28
33	27.4400	26.9005	0.5395	0.3675	0.5788	0.5741	0.4376	0.0115	33
34	25.1300	24.2503	0.8797	0.3514	0.9320	0.9305	0.6849	0.0277	24
35	43.2500	42.8036	0.4464	0.3188	0.4615	0.4570	0.3127	0.0059	38
36	39.2900	38.2389	1.0511	0.3535	1.1155	1.1189	0.8274	0.0400	30
37	44.1900	43.4239	0.7661	0.3021	0.7824	0.7787	0.5122	0.0156	41

A-8 Devam

38	37.6800	37.6411	0.0389	0.3528	0.0413	0.0408	0.0301	0.0001	43
39	35.8600	37.7668	-1.9068	0.1236	-1.7379	-1.7836	-0.6699	0.0251	25
40	32.5900	34.1406	-1.5506	0.1236	-1.4132	-1.4312	-0.5375	0.0166	26
41	37.8400	37.7668	0.0732	0.1236	0.0667	0.0659	0.0248	0.0000	23
42	35.2600	34.1406	1.1194	0.1236	1.0203	1.0208	0.3834	0.0086	29
43	36.6600	37.7668	-1.1068	0.1236	-1.0088	-1.0090	-0.3790	0.0084	27
44	33.5800	34.1406	-0.5606	0.1236	-0.5109	-0.5063	-0.1902	0.0022	35
45	37.0000	37.7668	-0.7668	0.1236	-0.6989	-0.6945	-0.2608	0.0041	45
46	32.9100	34.1406	-1.2306	0.1236	-1.1216	-1.1252	-0.4226	0.0104	46
47	26.5600	25.1136	1.4464	0.2299	1.4063	1.4238	0.7780	0.0347	47
48	23.5800	22.7707	0.8093	0.2168	0.7803	0.7765	0.4086	0.0099	48
49	23.4400	23.8536	-0.4136	0.4927	-0.4955	-0.4909	-0.4838	0.0140	49
50	20.4700	21.2158	-0.7458	0.3232	-0.7735	-0.7697	-0.5319	0.0168	50
51	31.8500	33.4981	-1.6481	0.2851	-1.6632	-1.7012	-1.0744	0.0649	51
52	35.9200	36.1379	-0.2179	0.5047	-0.2642	-0.2612	-0.2637	0.0042	52
53	35.1300	35.4286	-0.2986	0.3282	-0.3108	-0.3074	-0.2148	0.0028	53
54	36.5800	36.6032	-0.0232	0.1978	-0.0221	-0.0218	-0.0108	0.0000	54
55	39.9700	40.2411	-0.2711	0.2880	-0.2741	-0.2710	-0.1723	0.0018	55
56	27.0200	26.7354	0.2846	0.4244	0.3201	0.3165	0.2718	0.0044	56
57	39.7900	39.4412	0.3488	0.4171	0.3898	0.3857	0.3263	0.0064	57
58	19.8600	19.1307	0.7293	0.3030	0.7454	0.7413	0.4887	0.0142	58

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = yok

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	-0.16	1.28	0.52	Yok

A-9 Tasarım 3 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	5.2000	5.5900	-0.3900	0.4588	-0.3547	-0.3493	-0.3216	0.0039	11
2	7.3000	6.0533	1.2467	0.4549	1.1298	1.1354	1.0373	0.0395	16
3	18.8000	17.4033	1.3967	0.4549	1.2657	1.2796	1.1690	0.0495	15
4	16.8000	15.6900	1.1100	0.4588	1.0095	1.0099	0.9298	0.0320	10
5	3.9000	3.9620	-0.0620	0.4549	-0.0562	-0.0552	-0.0505	0.0001	20
6	20.8000	19.1813	1.6187	0.4588	1.4721	1.5038	1.3845	0.0680	2
7	4.3000	4.5542	-0.2542	0.3150	-0.2055	-0.2021	-0.1370	0.0007	14
8	20.5000	20.6120	-0.1120	0.4549	-0.1015	-0.0998	-0.0911	0.0003	17
9	4.1000	3.6313	0.4687	0.4588	0.4263	0.4202	0.3868	0.0057	12
10	15.8000	16.5120	-0.7120	0.4549	-0.6453	-0.6386	-0.5835	0.0129	7

A-9 Devam

11	6.8000	5.9120	0.8880	0.4549	0.8047	0.7997	0.7306	0.0200	13
12	18.9000	19.6313	-0.7313	0.4588	-0.6651	-0.6585	-0.6063	0.0139	22
13	5.7000	8.7000	-3.0000	0.3418	-2.4741	-2.7371	-1.9725	0.1177	5
14	8.1000	10.4400	-2.3400	0.4588	-2.1281	-2.2764	* -2.10	0.1422	3
15	20.6000	19.0400	1.5600	0.4588	1.4188	1.4451	1.3305	0.0632	8
16	20.2000	18.6033	1.5967	0.4549	1.4470	1.4761	1.3486	0.0647	21
17	19.3000	20.2300	-0.9300	0.1887	-0.6908	-0.6844	-0.3301	0.0041	4
18	17.0000	16.6133	0.3867	0.1887	0.2872	0.2826	0.1363	0.0007	19
19	21.7000	20.2300	1.4700	0.1887	1.0920	1.0957	0.5284	0.0103	1
20	15.0000	16.6133	-1.6133	0.1887	-1.1984	-1.2078	-0.5825	0.0124	6
21	20.2000	20.2300	-0.0300	0.1887	-0.0223	-0.0219	-0.0106	0.0000	9
22	15.8000	16.6133	-0.8133	0.1887	-0.6041	-0.5974	-0.2881	0.0031	18
23	6.4000	6.2967	0.1033	0.4549	0.0936	0.0920	0.0841	0.0003	30
24	5.8000	6.7600	-0.9600	0.4588	-0.8731	-0.8694	-0.8004	0.0239	40
25	17.0000	18.1100	-1.1100	0.4588	-1.0095	-1.0099	-0.9298	0.0320	27
26	15.0000	16.3967	-1.3967	0.4549	-1.2657	-1.2796	-1.1690	0.0495	42
27	4.8000	4.6687	0.1313	0.4588	0.1194	0.1173	0.1080	0.0004	28
28	18.2000	19.8880	-1.6880	0.4549	-1.5297	-1.5677	-1.4323	0.0723	29
29	6.2000	5.2609	0.9391	0.3418	0.7745	0.7690	0.5542	0.0115	36
30	21.5000	21.3187	0.1813	0.4588	0.1649	0.1621	0.1492	0.0009	23
31	3.8000	4.3380	-0.5380	0.4549	-0.4876	-0.4810	-0.4395	0.0073	34
32	18.0000	17.2187	0.7813	0.4588	0.7105	0.7043	0.6485	0.0159	44
33	5.8000	6.6187	-0.8187	0.4588	-0.7446	-0.7387	-0.6801	0.0174	43
34	21.0000	20.3380	0.6620	0.4549	0.5999	0.5932	0.5420	0.0111	35
35	11.2000	9.4067	1.7933	0.3150	1.4497	1.4791	1.0031	0.0358	38
36	13.2000	11.1467	2.0533	0.4549	1.8608	1.9485	1.7801	0.1070	31
37	17.9000	19.7467	-1.8467	0.4549	-1.6736	-1.7301	-1.5806	0.0866	37
38	18.0000	19.3100	-1.3100	0.4588	-1.1914	-1.2004	-1.1052	0.0446	26
39	20.3000	20.9367	-0.6367	0.1887	-0.4729	-0.4665	-0.2250	0.0019	41
40	18.0000	17.3200	0.6800	0.1887	0.5051	0.4985	0.2404	0.0022	39
41	21.3000	20.9367	0.3633	0.1887	0.2699	0.2655	0.1281	0.0006	25
42	17.0000	17.3200	-0.3200	0.1887	-0.2377	-0.2338	-0.1128	0.0005	24
43	20.7000	20.9367	-0.2367	0.1887	-0.1758	-0.1728	-0.0834	0.0003	32
44	19.0000	17.3200	1.6800	0.1887	1.2479	1.2605	0.6079	0.0134	33
45	3.8000	4.5542	-0.7542	0.3150	-0.6097	-0.6030	-0.4089	0.0063	45
46	10.9000	9.4067	1.4933	0.3150	1.2072	1.2172	0.8254	0.0248	46
47	9.6000	9.6000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	47
48	17.8000	17.8000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	48
49	15.4000	15.4000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	49
50	7.2000	7.2000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	50
51	2.6000	2.6000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	51

A-9 Devam

52	18.8000	18.8000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	52
53	4.8000	4.8000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	53
54	5.5000	5.5000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	54
55	3.9000	3.9000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	55
56	19.0000	19.0000	0.0000	1.00*	-	-	-	-	56
Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = yok, *Limit aşımı									
Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü				
	0	0.24	1.36	0.79	Yok				

A-10 Tasarım 3 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	0.1709	0.1735	-0.0026	0.3821	-1.2022	-1.2104	-0.9519	0.0406	11
2	0.1837	0.1835	0.0002	0.4032	0.0919	0.0906	0.0744	0.0003	16
3	0.1759	0.1749	0.0011	0.4105	0.5120	0.5064	0.4226	0.0083	15
4	0.1851	0.1807	0.0044	0.4233	2.1072	2.2264	1.9073	0.1481	10
5	0.1362	0.1378	-0.0015	0.4081	-0.7208	-0.7156	-0.5942	0.0163	20
6	0.1506	0.1480	0.0027	0.4049	1.2637	1.2753	1.0520	0.0494	2
7	0.1372	0.1391	-0.0019	0.2806	-0.8108	-0.8067	-0.5038	0.0117	14
8	0.1521	0.1487	0.0034	0.4189	1.6138	1.6545	1.4048	0.0853	17
9	0.1729	0.1722	0.0007	0.3792	0.3078	0.3037	0.2374	0.0026	12
10	0.1846	0.1856	-0.0009	0.4238	-0.4449	-0.4396	-0.3770	0.0066	7
11	0.1733	0.1741	-0.0008	0.4042	-0.3912	-0.3863	-0.3181	0.0047	13
12	0.1857	0.1869	-0.0012	0.3815	-0.5471	-0.5414	-0.4252	0.0084	22
13	0.1476	0.1435	0.0041	0.3259	1.8219	1.8895	1.3136	0.0729	5
14	0.1501	0.1501	0.0000	0.4043	0.0170	0.0167	0.0138	0.0000	3
15	0.1468	0.1443	0.0025	0.4206	1.2030	1.2113	1.0320	0.0477	8
16	0.1453	0.1467	-0.0014	0.4067	-0.6859	-0.6805	-0.5634	0.0147	21
17	0.1498	0.1523	-0.0025	0.1797	-1.0249	-1.0256	-0.4800	0.0105	4
18	0.1527	0.1526	0.0001	0.1509	0.0312	0.0308	0.0130	0.0000	19
19	0.1533	0.1523	0.0010	0.1797	0.3918	0.3868	0.1810	0.0015	1
20	0.1480	0.1526	-0.0047	0.1509	-1.8474	-1.9189	-0.8091	0.0276	6
21	0.1528	0.1523	0.0005	0.1797	0.1966	0.1938	0.0907	0.0004	9
22	0.1513	0.1526	-0.0013	0.1509	-0.5258	-0.5201	-0.2193	0.0022	18
23	0.1738	0.1734	0.0004	0.3793	0.2050	0.2021	0.1580	0.0012	30
24	0.1833	0.1834	0.0000	0.4074	-0.0076	-0.0075	-0.0062	0.0000	40
25	0.1759	0.1747	0.0012	0.4148	0.5645	0.5588	0.4705	0.0103	27
26	0.1763	0.1805	-0.0042	0.4195	-2.0203	-2.1218	-1.8038	0.1341	42

A-10 Devam

27	0.1393	0.1376	0.0016	0.4115	0.7847	0.7802	0.6525	0.0196	28
28	0.1449	0.1478	-0.0029	0.4009	-1.3665	-1.3848	-1.1329	0.0568	29
29	0.1441	0.1389	0.0051	0.3058	2.2484	2.4008	1.5935	0.1012	36
30	0.1468	0.1486	-0.0018	0.4234	-0.8543	-0.8508	-0.7290	0.0244	23
31	0.1702	0.1721	-0.0019	0.3757	-0.8671	-0.8639	-0.6702	0.0206	34
32	0.1875	0.1854	0.0021	0.4277	1.0316	1.0326	0.8926	0.0361	44
33	0.1738	0.1739	-0.0001	0.4071	-0.0432	-0.0426	-0.0353	0.0001	43
34	0.1855	0.1867	-0.0012	0.3785	-0.5603	-0.5546	-0.4328	0.0087	35
35	0.1434	0.1434	0.0001	0.2990	0.0349	0.0344	0.0225	0.0000	38
36	0.1514	0.1499	0.0014	0.4009	0.6747	0.6692	0.5474	0.0138	31
37	0.1399	0.1441	-0.0043	0.4163	-2.0375	-2.1424	-1.8091	0.1346	37
38	0.1482	0.1466	0.0016	0.4106	0.7638	0.7590	0.6336	0.0185	26
39	0.1532	0.1521	0.0010	0.1797	0.4202	0.4151	0.1943	0.0018	41
40	0.1548	0.1525	0.0023	0.1509	0.9088	0.9064	0.3821	0.0067	39
41	0.1507	0.1521	-0.0014	0.1797	-0.5634	-0.5577	-0.2610	0.0032	25
42	0.1526	0.1525	0.0002	0.1509	0.0666	0.0657	0.0277	0.0000	24
43	0.1541	0.1521	0.0020	0.1797	0.8080	0.8038	0.3763	0.0065	32
44	0.1533	0.1525	0.0008	0.1509	0.3292	0.3248	0.1369	0.0009	33
45	0.1375	0.1391	-0.0016	0.2806	-0.7048	-0.6995	-0.4369	0.0088	45
46	0.1411	0.1434	-0.0023	0.2990	-0.9829	-0.9824	-0.6416	0.0187	46
47	0.1856	0.1847	0.0009	0.4466	0.4454	0.4401	0.3953	0.0073	47
48	0.1939	0.1947	-0.0008	0.91#	-0.9798	-0.9792	*-3.09	0.4336	48
49	0.1497	0.1495	0.0001	0.6279	0.0759	0.0748	0.0971	0.0004	49
50	0.1499	0.1528	-0.0028	0.7253	-1.9655	-2.0568	*-3.34	0.4636	50
51	0.1846	0.1815	0.0031	0.6426	1.8896	1.9677	*2.64	0.2918	51
52	0.1893	0.1885	0.0008	0.7386	0.5478	0.5421	0.9111	0.0385	52
53	0.1447	0.1424	0.0023	0.7179	1.5643	1.5998	*2.55	0.2831	53
54	0.1819	0.1820	-0.0001	0.83#	-0.0759	-0.0748	-0.1679	0.0013	54
55	0.1401	0.1417	-0.0016	0.3616	-0.7480	-0.7430	-0.5592	0.0144	55
56	0.1490	0.1509	-0.0018	0.88#	-1.8896	-1.9677	*-5.25	*1.15	56

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = ters karekök, #Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme), *Limit aşımı

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
		0	-1.76	0.51	-0.64	Ters karekök

A-11 Tasarım 4 Çökme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	20.00	20.2795	-0.2795	0.0877	-0.0862	-0.0851	-0.0264	0.0001	1
2	7.70	8.7023	-1.0023	0.1169	-0.3141	-0.3107	-0.1130	0.0011	2
3	19.70	21.0144	-1.3144	0.0944	-0.4067	-0.4026	-0.1300	0.0014	3
4	7.20	8.7023	-1.5023	0.1169	-0.4707	-0.4663	-0.1696	0.0024	4
5	18.70	17.8119	0.8881	0.0751	0.2719	0.2689	0.0766	0.0005	5
6	7.00	9.6697	-2.6697	0.2457	-0.9051	-0.9031	-0.5154	0.0222	6
7	5.70	5.2011	0.4989	0.3246	0.1787	0.1767	0.1225	0.0013	7
8	5.30	3.4250	1.8750	0.2241	0.6268	0.6222	0.3344	0.0095	8
9	6.00	8.2743	-2.2743	0.3458	-0.8280	-0.8248	-0.5997	0.0302	9
10	16.20	13.1565	3.0435	0.1909	0.9964	0.9963	0.4840	0.0195	10
11	2.80	7.7224	-4.9224	0.2711	-1.6978	-1.7382	-1.0601	0.0894	11
12	21.80	17.7086	4.0914	0.2014	1.3481	1.3618	0.6839	0.0382	12
13	4.50	9.0585	-4.5585	0.2174	-1.5174	-1.5421	-0.8128	0.0533	13
14	23.20	21.3868	1.8132	0.2095	0.6005	0.5959	0.3068	0.0080	14
15	2.50	3.9664	-1.4664	0.2531	-0.4996	-0.4951	-0.2883	0.0071	15
16	16.80	20.6401	-3.8401	0.2515	-1.3070	-1.3184	-0.7643	0.0478	16
17	3.10	0.2085	2.8915	0.2768	1.0012	1.0013	0.6195	0.0320	17
18	20.90	23.7247	-2.8247	0.2752	-0.9770	-0.9765	-0.6018	0.0302	18
19	7.80	5.2643	2.5357	0.2821	0.8813	0.8789	0.5509	0.0254	19
20	7.30	4.1517	3.1483	0.54#	1.3597	1.3740	1.4742	0.1774	20
21	21.30	18.7031	2.5969	0.2394	0.8768	0.8744	0.4905	0.0202	21
22	18.50	17.8977	0.6023	0.4030	0.2295	0.2269	0.1864	0.0030	22
23	21.70	21.9059	-0.2059	0.0962	-0.0638	-0.0630	-0.0206	0.0000	23
24	22.30	16.0053	6.2947	0.0688	1.9208	1.9870	0.5400	0.0227	24
25	13.50	10.3287	3.1713	0.1179	0.9943	0.9941	0.3635	0.0110	25
26	22.10	19.4382	2.6618	0.0761	0.8154	0.8121	0.2330	0.0046	26
27	6.80	10.4041	-3.6041	0.0940	-1.1150	-1.1183	-0.3602	0.0107	27
28	13.50	10.3287	3.1713	0.1179	0.9943	0.9941	0.3635	0.0110	28
29	22.00	21.9059	0.0941	0.0962	0.0292	0.0288	0.0094	0.0000	29
31	6.20	4.7918	1.4082	0.3831	0.5279	0.5233	0.4124	0.0144	31
32	5.00	5.0514	-0.0514	0.2123	-0.0171	-0.0169	-0.0087	0.0000	32
33	10.40	8.6535	1.7465	0.3713	0.6486	0.6441	0.4950	0.0207	33
34	14.50	14.7828	-0.2828	0.1809	-0.0920	-0.0909	-0.0427	0.0002	34
36	21.50	20.0379	1.4621	0.2423	0.4946	0.4901	0.2772	0.0065	36
37	5.30	10.2989	-4.9989	0.2230	-1.6698	-1.7075	-0.9146	0.0667	37
38	20.60	23.6617	-3.0617	0.2295	-1.0271	-1.0278	-0.5610	0.0262	38
39	2.70	4.2579	-1.5579	0.2771	-0.5395	-0.5349	-0.3312	0.0093	39

A-11 Devam

40	19.70	17.9730	1.7270	0.2547	0.5891	0.5844	0.3417	0.0099	40
41	1.20	2.6573	-1.4573	0.2612	-0.4992	-0.4947	-0.2942	0.0073	41
42	20.70	20.9882	-0.2882	0.2250	-0.0964	-0.0952	-0.0513	0.0002	42
43	5.80	6.8906	-1.0906	0.2639	-0.3743	-0.3704	-0.2218	0.0042	43
45	15.20	17.6685	-2.4685	0.3153	-0.8784	-0.8760	-0.5944	0.0296	45
47	7.80	13.8460	-6.0460	0.1971	-1.9868	-2.0624	-1.0218	0.0808	47
48	18.80	16.2120	2.5880	0.1848	0.8441	0.8411	0.4005	0.0135	48
49	17.50	14.9629	2.5371	0.1966	0.8335	0.8304	0.4109	0.0142	49
50	6.60	9.5519	-2.9519	0.2381	-0.9958	-0.9957	-0.5566	0.0258	50
51	20.00	12.6537	7.3463	0.2064	2.4283	2.5877	1.3197	0.1278	51
52	16.00	15.0873	0.9127	0.1787	0.2966	0.2933	0.1368	0.0016	52
53	11.00	10.6816	0.3184	0.3381	0.1153	0.1139	0.0814	0.0006	53
54	7.50	9.6140	-2.1140	0.1865	-0.6902	-0.6858	-0.3284	0.0091	54
55	6.80	8.7941	-1.9941	0.2592	-0.6822	-0.6778	-0.4009	0.0136	55
56	8.00	12.7857	-4.7857	0.2604	-1.6386	-1.6734	-0.9930	0.0788	56
57	20.00	22.4702	-2.4702	0.2139	-0.8204	-0.8171	-0.4262	0.0153	57
58	18.80	12.1406	6.6594	0.1956	2.1864	2.2948	1.1316	0.0969	58

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = yok, #Dengeleme > 2.00 (ortalama dengeleme)

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	0.24	1.17	0.67	Yok

A-12 Tasarım 4 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 11.2\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	38.76	37.4925	1.2675	0.1209	0.8547	0.8521	0.3160	0.0112	1
2	36.17	34.7729	1.3971	0.1192	0.9413	0.9400	0.3458	0.0133	2
3	38.12	37.1160	1.0040	0.1159	0.6752	0.6711	0.2430	0.0066	3
4	36.06	34.7729	1.2871	0.1192	0.8671	0.8647	0.3181	0.0113	4
5	38.45	38.4538	-0.0038	0.1403	-0.0026	-0.0026	-0.0010	0.0000	5
6	35.19	33.2362	1.9538	0.1311	1.3253	1.3368	0.5192	0.0294	6
7	28.59	29.7381	-1.1481	0.1756	-0.7996	-0.7963	-0.3676	0.0151	7
8	24.38	24.0564	0.3236	0.1606	0.2233	0.2209	0.0966	0.0011	8
9	30.44	29.6033	0.8367	0.1979	0.5908	0.5864	0.2913	0.0096	9
10	23.37	24.1033	-0.7333	0.1596	-0.5058	-0.5015	-0.2186	0.0054	10
11	42.47	40.0924	2.3776	0.1442	1.6251	1.6563	0.6800	0.0495	11
12	39.27	41.3779	-2.1079	0.1441	-1.4406	-1.4585	-0.5984	0.0388	12
13	39.05	40.0498	-0.9998	0.1264	-0.6764	-0.6723	-0.2558	0.0074	13

A-12 Devam

14	39.51	40.7481	-1.2381	0.1308	-0.8397	-0.8369	-0.3247	0.0118	14
15	28.49	26.9124	1.5776	0.1282	1.0684	1.0701	0.4104	0.0187	15
16	23.57	24.3053	-0.7353	0.1542	-0.5056	-0.5013	-0.2141	0.0052	16
17	27.56	27.8126	-0.2526	0.1495	-0.1732	-0.1713	-0.0718	0.0006	17
18	22.86	24.3009	-1.4409	0.1550	-0.9911	-0.9909	-0.4244	0.0200	18
19	42.48	43.3755	-0.8955	0.1824	-0.6262	-0.6219	-0.2937	0.0097	19
20	37.58	37.6996	-0.1196	0.1954	-0.0843	-0.0834	-0.0411	0.0002	20
21	42.19	42.4637	-0.2737	0.1469	-0.1873	-0.1853	-0.0769	0.0007	21
22	37.17	37.2926	-0.1226	0.1768	-0.0854	-0.0845	-0.0391	0.0002	22
23	37.84	36.8114	1.0286	0.0914	0.6823	0.6782	0.2150	0.0052	23
24	35.86	38.7635	-2.9035	0.1273	-1.9652	-2.0325	-0.7763	0.0626	24
25	32.59	34.0918	-1.5018	0.1091	-1.0060	-1.0062	-0.3522	0.0138	25
26	36.66	37.7727	-1.1127	0.1040	-0.7433	-0.7395	-0.2519	0.0071	26
27	35.26	34.4409	0.8191	0.1024	0.5467	0.5424	0.1832	0.0038	27
28	33.58	34.0918	-0.5118	0.1091	-0.3428	-0.3394	-0.1188	0.0016	28
29	37.00	36.8114	0.1886	0.0914	0.1251	0.1237	0.0392	0.0002	29
31	28.94	29.4807	-0.5407	0.1720	-0.3757	-0.3721	-0.1696	0.0033	31
32	22.80	23.3753	-0.5753	0.1906	-0.4043	-0.4005	-0.1944	0.0043	32
33	29.34	29.1270	0.2130	0.1825	0.1490	0.1473	0.0696	0.0006	33
34	24.43	23.4221	1.0079	0.1727	0.7006	0.6966	0.3183	0.0114	34
36	42.08	40.4253	1.6547	0.1649	1.1449	1.1489	0.5105	0.0288	36
37	38.62	39.5480	-0.9280	0.1420	-0.6334	-0.6292	-0.2559	0.0074	37
38	41.81	39.8847	1.9253	0.1483	1.3191	1.3303	0.5551	0.0337	38
39	26.38	26.8169	-0.4369	0.1320	-0.2965	-0.2935	-0.1144	0.0015	39
40	24.36	26.1460	-1.7860	0.1378	-1.2162	-1.2229	-0.4889	0.0263	40
41	27.44	26.9382	0.5018	0.1388	0.3419	0.3385	0.1359	0.0021	41
42	25.13	26.5056	-1.3756	0.1267	-0.9308	-0.9294	-0.3539	0.0140	42
43	43.25	42.6943	0.5557	0.1926	0.3910	0.3873	0.1892	0.0041	43
45	44.19	42.3662	1.8238	0.1572	1.2561	1.2645	0.5461	0.0327	45
47	26.56	22.8805	3.6795	0.1705	2.5546	2.7319	1.2388	0.1491	47
48	23.58	24.9831	-1.4031	0.2975	-1.0585	-1.0600	-0.6898	0.0527	48
49	23.44	24.4217	-0.9817	0.3238	-0.7548	-0.7512	-0.5198	0.0303	49
50	20.47	21.5962	-1.1262	0.2562	-0.8256	-0.8227	-0.4828	0.0261	50
51	31.85	35.2221	-3.3721	0.1708	-2.3415	-2.4707	-1.1213	0.1255	51
52	35.92	37.0991	-1.1791	0.3128	-0.8993	-0.8974	-0.6054	0.0409	52
53	35.13	34.8401	0.2899	0.2871	0.2171	0.2148	0.1363	0.0021	53
54	36.58	37.4416	-0.8616	0.2516	-0.6297	-0.6255	-0.3626	0.0148	54
55	39.97	40.7215	-0.7515	0.3308	-0.5809	-0.5766	-0.4053	0.0185	55
56	27.02	23.9400	3.0800	0.1902	2.1641	2.2607	1.0955	0.1222	56
57	39.79	37.0238	2.7662	0.1562	1.9041	1.9636	0.8450	0.0746	57

A-12 Devam

58	19.86	20.0004	-0.1404	0.1856	-0.0984	-0.0973	-0.0464	0.0002	58
Not: Tahmini değerler blok d¼zeltmelerini içerir. Kullanılan d¼n¼řt¼r¼c¼ = yok									
Box-Cox G¼ D¼n¼ř¼m¼	Sabit (k)	95% G.A. (D¼ř¼k)	95% G.A. (Y¼ksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen d¼n¼řt¼r¼c¼				
	0	0.31	1.64	0.96	Yok				

A-13 Tasarım 4 ¼kme Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ b¼y¼k} = 22.4\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer ¼zerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	121.5842	114.4738	7.1104	0.1305	0.4961	0.4914	0.1904	0.0034	1
2	101.2673	119.7209	-18.4536	0.1303	-1.2874	-1.2984	-0.5026	0.0226	2
3	68.3443	67.8105	0.5338	0.1105	0.0368	0.0364	0.0128	0.0000	3
4	108.7297	132.5462	-23.8165	0.1479	-1.6786	-1.7192	-0.7163	0.0445	4
5	74.1148	72.9240	1.1909	0.1098	0.0821	0.0811	0.0285	0.0001	5
6	83.0807	70.3754	12.7053	0.1096	0.8760	0.8734	0.3064	0.0086	6
7	13.0908	21.6730	-8.5822	0.2291	-0.6359	-0.6311	-0.3441	0.0109	7
8	22.2220	14.9140	7.3081	0.2705	0.5567	0.5518	0.3360	0.0104	8
9	97.2045	81.6285	15.5760	0.2479	1.1685	1.1740	0.6741	0.0409	9
10	81.5610	65.3648	16.1962	0.2118	1.1869	1.1932	0.6186	0.0344	10
11	8.3572	30.1791	-21.8219	0.2752	-1.6676	-1.7070	-1.0517	0.0960	11
12	113.8096	93.7510	20.0586	0.2551	1.5121	1.5377	0.8999	0.0712	12
13	9.7322	31.1878	-21.4557	0.1918	-1.5528	-1.5817	-0.7706	0.0520	13
14	8.0253	28.6215	-20.5962	0.1964	-1.4948	-1.5190	-0.7510	0.0496	14
15	111.2592	111.3901	-0.1308	0.2340	-0.0097	-0.0096	-0.0053	0.0000	15
16	9.0353	5.0012	4.0341	0.2110	0.2955	0.2921	0.1510	0.0021	16
17	74.1148	87.0201	-12.9053	0.2562	-0.9735	-0.9729	-0.5710	0.0297	17
18	19.8936	12.8195	7.0741	0.2391	0.5276	0.5228	0.2931	0.0080	18
19	98.0123	99.6781	-1.6658	0.2363	-0.1240	-0.1225	-0.0681	0.0004	19
20	15.1065	28.4890	-13.3825	0.2328	-0.9940	-0.9939	-0.5474	0.0273	20
21	26.1359	16.3676	9.7682	0.2228	0.7209	0.7165	0.3836	0.0135	21
22	112.1070	83.2732	28.8338	0.3501	2.3271	2.4711	1.8139	0.2652	22
23	108.7297	96.3086	12.4211	0.2552	0.9364	0.9349	0.5473	0.0273	23
24	83.0807	76.7149	6.3658	0.1303	0.4441	0.4396	0.1701	0.0027	24
25	118.1061	120.7289	-2.6228	0.1145	-0.1813	-0.1791	-0.0644	0.0004	25
26	112.9572	118.0622	-5.1051	0.1149	-0.3530	-0.3491	-0.1258	0.0015	26
27	98.8225	74.1334	24.6890	0.1298	1.7219	1.7670	0.6826	0.0402	27
28	90.8291	74.1334	16.6957	0.1298	1.1644	1.1698	0.4519	0.0184	28
29	109.5705	120.7289	-11.1583	0.1145	-0.7715	-0.7675	-0.2760	0.0070	29
30	18.0984	27.6784	-9.5800	0.2390	-0.7145	-0.7100	-0.3979	0.0146	30

A-13 Devam

32	83.0807	96.0972	-13.0164	0.2168	-0.9569	-0.9559	-0.5028	0.0230	32
33	68.3443	79.3238	-10.9795	0.2675	-0.8347	-0.8314	-0.5025	0.0231	33
35	92.4084	97.4783	-5.0699	0.2878	-0.3908	-0.3867	-0.2458	0.0056	35
37	119.8406	112.9844	6.8562	0.2439	0.5130	0.5082	0.2886	0.0077	37
38	8.0253	2.9437	5.0816	0.2352	0.3780	0.3740	0.2074	0.0040	38
39	90.8291	93.3708	-2.5417	0.2471	-0.1906	-0.1883	-0.1079	0.0011	39
40	15.5220	24.4445	-8.9225	0.2418	-0.6667	-0.6620	-0.3738	0.0129	40
41	115.5213	108.5824	6.9389	0.2463	0.5200	0.5152	0.2945	0.0080	41
42	43.3291	31.9179	11.4112	0.2264	0.8441	0.8410	0.4550	0.0190	42
43	41.5322	34.6648	6.8674	0.2200	0.5059	0.5011	0.2661	0.0066	43
45	90.0432	105.9528	-15.9096	0.2688	-1.2105	-1.2178	-0.7383	0.0490	45
47	34.0677	21.2686	12.7991	0.2650	0.9713	0.9706	0.5827	0.0309	47
48	89.2597	66.1926	23.0670	0.2703	1.7568	1.8058	1.0990	0.1039	48
49	71.2086	86.3711	-15.1626	0.2262	-1.1215	-1.1252	-0.6084	0.0334	49
50	21.7490	8.4594	13.2896	0.2577	1.0036	1.0037	0.5914	0.0318	50
51	4.4397	24.3789	-19.9392	0.2532	-1.5011	-1.5258	-0.8884	0.0694	51
52	97.2045	97.2259	-0.0214	0.2717	-0.0016	-0.0016	-0.0010	0.0000	52
53	11.5541	27.8720	-16.3179	0.2330	-1.2122	-1.2196	-0.6722	0.0406	53
54	14.2878	28.2761	-13.9883	0.2169	-1.0284	-1.0292	-0.5416	0.0266	54
55	8.3572	10.5153	-2.1581	0.2000	-0.1570	-0.1551	-0.0775	0.0006	55
56	98.8225	80.3908	18.4316	0.2775	1.4108	1.4290	0.8856	0.0695	56

Not: Tahmini değerler blok düzeltmelerini içerir. Kullanılan dönüştürücü = Kuvvet, Lambda = 1.56, Sabit = 0

Box-Cox Güç Dönüşümü	Sabit (k)	95% G.A. (Düşük)	95% G.A. (Yüksek)	En iyi Lambda, λ	Önerilen dönüştürücü
	0	1.05	2.08	1.56	Kuvvet

A-14 Tasarım 4 Basma Dayanımı Tanılamalar Durum İstatistiği, $D_{en\ büyük} = 22.4\ mm$

Std	Gerçek değer	Tahmini değer	Artık	Dengeleme	İçsel normal-lenmiş artık	Dışsal normal-lenmiş artık	Uygun değer üzerinde etki	Cook's mesafesi	Deneme noktası
1	0.1533	0.1540	-0.0007	0.1777	-0.2616	-0.2582	-0.1200	0.0010	1
2	0.1498	0.1548	-0.0051	0.1469	-1.8138	-1.8762	-0.7784	0.0378	2
3	0.1480	0.1504	-0.0024	0.1265	-0.8653	-0.8622	-0.3282	0.0072	3
4	0.1528	0.1572	-0.0044	0.2161	-1.6521	-1.6945	-0.8898	0.0502	4
5	0.1513	0.1514	-0.0001	0.1605	-0.0308	-0.0304	-0.0133	0.0000	5
6	0.1527	0.1509	0.0018	0.1375	0.6440	0.6387	0.2550	0.0044	6
7	0.1709	0.1739	-0.0030	0.3066	-1.1733	-1.1797	-0.7844	0.0406	7
8	0.1837	0.1822	0.0015	0.3837	0.6282	0.6228	0.4914	0.0164	8
9	0.1759	0.1748	0.0011	0.4143	0.4713	0.4662	0.3921	0.0105	9

A-14 Devam

10	0.1851	0.1812	0.0039	0.2982	1.5512	1.5833	1.0321	0.0682	10
11	0.1362	0.1404	-0.0042	0.2862	-1.6327	-1.6730	-1.0594	0.0713	11
12	0.1506	0.1468	0.0038	0.2623	1.4633	1.4877	0.8872	0.0508	12
13	0.1372	0.1390	-0.0018	0.2067	-0.6566	-0.6513	-0.3324	0.0075	13
14	0.1375	0.1388	-0.0013	0.2130	-0.4985	-0.4932	-0.2566	0.0045	14
15	0.1521	0.1480	0.0041	0.2798	1.5797	1.6146	1.0063	0.0646	15
16	0.1729	0.1745	-0.0017	0.3217	-0.6644	-0.6591	-0.4539	0.0140	16
17	0.1846	0.1861	-0.0014	0.3493	-0.5836	-0.5782	-0.4236	0.0122	17
18	0.1733	0.1730	0.0003	0.2780	0.1084	0.1069	0.0663	0.0003	18
19	0.1857	0.1866	-0.0009	0.2942	-0.3389	-0.3347	-0.2160	0.0032	19
20	0.1476	0.1444	0.0032	0.2556	1.2378	1.2473	0.7309	0.0351	20
21	0.1501	0.1476	0.0025	0.2842	0.9689	0.9681	0.6099	0.0248	21
22	0.1468	0.1441	0.0027	0.69#	1.6178	1.6565	*2.46	0.3838	22
23	0.1453	0.1433	0.0020	0.3394	0.8185	0.8147	0.5839	0.0229	23
24	0.1526	0.1501	0.0025	0.1542	0.9031	0.9007	0.3846	0.0099	24
25	0.1507	0.1533	-0.0026	0.1536	-0.9158	-0.9137	-0.3892	0.0101	25
26	0.1541	0.1529	0.0012	0.1715	0.4454	0.4404	0.2004	0.0027	26
27	0.1533	0.1497	0.0036	0.1431	1.2981	1.3110	0.5357	0.0188	27
28	0.1548	0.1497	0.0051	0.1431	1.8195	1.8827	0.7693	0.0369	28
29	0.1532	0.1533	-0.0001	0.1536	-0.0407	-0.0402	-0.0171	0.0000	29
30	0.1738	0.1727	0.0011	0.3765	0.4590	0.4539	0.3528	0.0085	30
32	0.1759	0.1763	-0.0004	0.2892	-0.1506	-0.1486	-0.0948	0.0006	32
33	0.1763	0.1821	-0.0058	0.3314	-2.3421	-2.5083	-1.7658	0.1812	33
35	0.1449	0.1456	-0.0007	0.2674	-0.2797	-0.2761	-0.1668	0.0019	35
37	0.1468	0.1462	0.0006	0.2818	0.2472	0.2440	0.1529	0.0016	37
38	0.1702	0.1712	-0.0011	0.3316	-0.4243	-0.4194	-0.2954	0.0060	38
39	0.1875	0.1852	0.0024	0.3368	0.9609	0.9599	0.6841	0.0313	39
40	0.1738	0.1735	0.0003	0.2561	0.1327	0.1309	0.0768	0.0004	40
41	0.1855	0.1863	-0.0008	0.2734	-0.2929	-0.2891	-0.1774	0.0022	41
42	0.1434	0.1440	-0.0006	0.2600	-0.2129	-0.2100	-0.1245	0.0011	42
43	0.1411	0.1440	-0.0029	0.2484	-1.1063	-1.1099	-0.6381	0.0270	43
45	0.1399	0.1420	-0.0021	0.2979	-0.8242	-0.8205	-0.5344	0.0192	45
47	0.1856	0.1885	-0.0029	0.2977	-1.1321	-1.1366	-0.7401	0.0362	47
48	0.1939	0.1911	0.0029	0.2597	1.0992	1.1024	0.6529	0.0282	48
49	0.1497	0.1529	-0.0033	0.67#	-1.8646	-1.9343	*-2.73	0.4628	49
50	0.1499	0.1497	0.0002	0.65#	0.1167	0.1151	0.1583	0.0017	50
51	0.1846	0.1843	0.0002	0.2539	0.0913	0.0900	0.0525	0.0002	51
52	0.1893	0.1884	0.0009	0.4878	0.4242	0.4193	0.4092	0.0114	52
53	0.1447	0.1475	-0.0028	0.3012	-1.1079	-1.1116	-0.7298	0.0353	53
54	0.1819	0.1782	0.0037	0.4455	1.6385	1.6794	1.5053	0.1438	54
55	0.1401	0.1398	0.0003	0.4158	0.1433	0.1413	0.1192	0.0010	55

A-14 Devam

56	0.1490	0.1484	0.0007	0.3223	0.2740	0.2705	0.1865	0.0024	56
Not: Tahmini değerler blok d¼zeltmelerini içerir. Kullanılan d¼n¼řt¼r¼c¼ = Ters karek¼k, Sabit = 0, #Dengeleme > 2.00 · (ortalama dengeleme), * Limit aşımı									
Box-Cox G¼ D¼n¼ř¼m¼	Sabit (k)	95% G.A. (D¼ř¼k)	95% G.A. (Y¼ksek)	En iyi Lambda, λ	¼nerilen d¼n¼řt¼r¼c¼				
	0	-1.36	0.31	-0.54	Ters karek¼k				

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Timur CİHAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1979, HOPA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mehmetcihan@nku.edu.tr, timurcihan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2004
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2001
Lise	Sayısal	Artvin Anadolu Lisesi	1997

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2006-	Namık Kemal Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2001-2006	Trakya Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

- GÜNER, A., DİLMAÇ, Ş., CİHAN, M.T. (2011) "ISO 9164 Heat Loss in Roof-wall Sections", Scientific Research and Essays Vol. 6(20), pp. 4354-4368, ISSN 1992-2248 ©2011 Academic Journals
- SEZER, F.Ş., CİHAN, M.T., DİLMAÇ, Ş. (2010) "Experimental Analysis of the Thermal Behaviour of Mezzanine Floors in Buildings with Cavity Walls", Scientific Research

and Essays Vol. 5(14), pp. 1925–1934, ISSN 1992- 2248 ©2010 Academic Journals

- 3 **CİHAN, M. T.**, DİLMAÇ, Ş. (2008) "Expressions and Standard Calculation Method for Summer Comfort", University of Uludağ Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, Volume: 13, No: 1, P: 1- 15 (in Turkish).
- 4 **CİHAN, M. T.**, ŞENKAL SEZER, F., DİLMAÇ, Ş. (2005) "Evaluation of Thermal Bridges Formed by Reinforced Concrete Beams at the Cavity Walls Applications in Turkey", University of Uludağ Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, Volume: 10, No: 2, 2005, P: 33- 47 (in Turkish).
- 5 DİLMAÇ, Ş., **CİHAN, M. T.**, GÜNER, A. (2004) "Comparison of Energy Efficiency of Terrace", DİZAYN Konstrüksiyon, No: 226, P: 68-77 (in Turkish).

Bildiri

1. **CİHAN M.T.**, GÜNER A., (2011) "Beton Çökme Değerini Etkileyen Kontrol Edilebilir Değişkenlerin Etki Düzeylerinin Kısmî Faktöriyel Tasarım Kullanılarak Belirlenmesi", 8. Ulusal Beton Kongresi, 5-7 Ekim 2011, İzmir/Türkiye.
2. ŞENKAL SEZER F., **CİHAN M.T.**, ERBİL Y., (2010) "TS 825 Isı Yalıtım Standardındaki Değişikliklerin İncelenmesi ve Isıl Konfor Açısından Değerlendirilmesi", Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, 4-5 Mart 2010, İstanbul/Türkiye.
- 3 **CİHAN, M.T.**, DİLMAÇ, Ş. (2005) "Comparison of the Thermal Performance of EPS-Block Reinforced Concrete Wall System with Conventional Walls", Proceedings of the 1st International Symposium and Exhibition on Environment-Friendly Energy Sources and Technologies, September 2005, İzmir/TÜRKİYE

Proje

1. Proje No: İÇTAG-I242, Şükran DİLMAÇ, Abdurrahman GÜNER, Ahmet CAN, Güler GAYGUSUZUOĞLU, **M. Timur CİHAN**, Filiz ŞENKAL SEZER, Semiha KARTAL, Özlem KALPAK, "Döşemelerde Yanal Isı Kayıplarının Hesaplanması İçin Parametrelerin Belirlenmesi", TÜBİTAK.
2. Proje No: 109M748, Abdurrahman GÜNER, **M. Timur CİHAN**, "Normal Betonun Alışlagelmiş Uygulama Özelliklerinin Kontrol Edilebilir Değişkenlere Göre Tepki Yüzeylerinin Belirlenmesi", TÜBİTAK.