



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BETON ÜRETİMİNDE EN UYGUN AGREGA
KARIŞIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE
BELİRLENMESİ**

**Maden.Yük.Müh. Deniz ADIGÜZEL
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Anabilim Dalı Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Ataç BAŞÇETİN**

**II.Danışman
Doç.Dr. Alp BARAY**

Ekim, 2012

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BETON ÜRETİMİNDE EN UYGUN AGREGA
KARIŞIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE
BELİRLENMESİ**

**Maden.Yük.Müh. Deniz ADIGÜZEL
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Anabilim Dalı Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Ataç BAŞÇETİN**

**II.Danışman
Doç.Dr. Alp BARAY**

Ekim, 2012

İSTANBUL

2602060033 Öğrenci numaralı Deniz Adıgüzel tarafından hazırlanan bu çalışma 12/10/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Jürisi



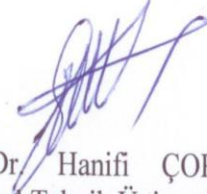
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



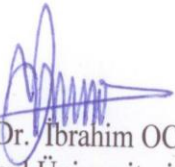
Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Özkan ŞENGÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi



Doç. Dr. İbrahim OCAK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-8787 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında öneri ve yardımlarını esirgemeyen, yapmış olduğu titiz incelemeler sonrasındaki zengin eleştirileri ile çalışmaya yön veren danışman Hocam Prof.Dr.Ataç BAŞÇETİN'e çok teşekkür ederim.

Çalışma sırasında konu ile ilgili bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Prof.Dr. Atiye TUĞRUL, Doç.Dr. Alp BARAY ve Doç.Dr. Özkan ŞENGÜL'e, petrografik incelemeler için zamanını ayıran Sayın Prof.Dr.Sabah Yılmaz ŞAHİN'e, gerek arazi çalışmalarında gerekse deneysel çalışmalarda yardımlarını aldığım Araş.Gör. Serkan TÜYLÜ, Araş.Gör.Murat YILMAZ, Maden Mühendisi İrfan Serkan BİNEN ve Maden Mühendisi Ömer ÇİNAR'a, arazi çalışmaları sırasında her türlü kolaylığı gösteren Çatalca bölgesi ve Cendere bölgesi Taşocakları çalışanlarına, deneysel çalışmada kullanılan çimentoyu temin eden AkçanSA çimento fabrikasına, bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma, çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne teşekkürü borç bilirim.

Benden her konuda desteklerini esirgemeyen annem ve babama, varlıklarıyla hayatımı güzelleştiren,,kardeşim ve sevgili kızıma en derin şükranlarımı sunarım.

Ekim, 2012

Deniz ADIGÜZEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	IX
ÖZET	XIV
SUMMARY	XV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİR AGREGA VE BETON ÜRETİMİ	4
2.2. OPTİMİZASYON	8
2.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	11
2.3.1. Grafik Çözüm	15
2.3.2. Simpleks Çözüm	16
2.4. İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI	20
2.4.1. İstatistiksel Deney Tasarımının Temel ilkeleri	22
2.4.2. Faktöriyel Tasarım	23
2.4.3. Varyans Analizi (ANOVA)	24
2.4.4. Karışım Dizaynı	27
2.4.4.1. Karışım Deneylerinin Analizi	32
2.5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR	33
2.5.1. Doğrusal Programlama Endüstriyel Uygulamalar	33
2.5.2. İstatistiksel Deney Tasarımı Endüstriyel Uygulamalar	35
2.6. HARMANLAMA PROBLEMİ VE ÖRNEK UYGULAMALAR	39

2.6.1. Madencilikte Harmanlama Problemi ve Örnek Uygulamalar	42
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	46
3.1. ÇALIŞMA SAHALARI HAKKINDA GENEL BILGI.....	46
3.2. SAHA ÇALIŞMALARI.....	46
3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	48
3.3.1. Elementel Analiz	48
3.3.2. Petrografik Analiz.....	48
3.3.3. Kaya Mekaniği Deneyleri	48
3.3.3.1. Nokta Yükleme Deneyi	50
3.3.3.2. Tek Eksenli Basma Dayanımı.....	50
3.3.3.3. Çekme Dayanımının Dolaylı Metotla Tayini Deneyi (Brazilian).....	51
3.3.4. Agregada Deneyleri	52
3.3.4.1. Agregada Darbe Dayanımı Değerinin Belirlenmesi Deneyi.....	55
3.3.4.2. Agregada Kırılma Değerinin Belirlenmesi Deneyi.....	56
3.3.4.3. Parçalanma Direncinin Belirlenmesi (Los Angeles) Deneyi	56
3.3.4.4. Aşınmaya Karşı Direncin Belirlenmesi (Mikro Deval) Deneyi.....	57
3.3.4.5. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini Deneyi	57
3.3.4.6. Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini Deneyi	58
3.3.4.7. Birim Ağırlık Tayini Deneyi.....	58
3.3.4.8. Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini (Eleme Metodu) Deneyi	58
3.3.4.9. Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi Deneyi	59
3.3.4.10. Çok İnce Malzeme İçeriği Deneyi.....	59
3.3.4.11. İnce Tanelerin Tayini - Kum Eşdeğeri Deneyi.....	60
3.3.4.12. İnce Malzeme Tayini - Metilen Mavisini Deneyi.....	61
3.3.4.13. Organik Madde Tayini Deneyi.....	61
3.3.4.14. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi	61
3.4. AGREGA ÜRETİM MALİYETİ	62
3.5. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM	64
4.BULGULAR	67
4.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI	67
4.1.1. Petrografik ve Elementel Analiz Sonuçları	67
4.1.2. Kaya Mekaniği Deney Sonuçları	69
4.1.3. Beton Agregası Deney Sonuçları	70
4.1.3.1. Agregada Darbe Dayanımı Değeri.....	70
4.1.3.2. Agregada Kırılma Değeri	71

4.1.3.3. <i>Agrega Parçalanma Direnci (Los Angeles) Katsayısı</i>	72
4.1.3.4. <i>Agrega Aşınma Direnci (Micro Deval) Katsayısı</i>	72
4.1.3.5. <i>Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı</i>	73
4.1.3.6. <i>Gevşek Yığın Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi</i>	74
4.1.3.7. <i>Birim Ağırlık Değeri</i>	74
4.1.3.8. <i>Tane Büyüklüğü Dağılımı ve İncelik Modülü</i>	75
4.1.3.9. <i>Yassılık Endeksi Değeri</i>	77
4.1.3.10. <i>Çok İnce Malzeme İçeriği</i>	78
4.1.3.11. <i>Kum Eşdeğeri</i>	78
4.1.3.12. <i>Metilen mavisi değeri</i>	79
4.1.3.13. <i>Organik Madde İçeriği</i>	79
4.1.3.14. <i>Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deney Sonucu</i>	80
4.2. AGREGA ÜRETİM MALİYETİNİN BELİRLENMESİ	80
4.3. AGREGA ÜRETİMİNDE HARMANLAMA MODELİ	82
4.3.1. <i>Çatalca Bölgesi Taşocağı Harmanlama Modeli</i>	87
4.3.2. <i>Cendere Bölgesi Taşocağı Harmanlama Modeli</i>	96
4.3.3. <i>Çatalca- Cendere Bölgesi Taşocağı Harmanlama Modeli</i>	105
4.3.4. <i>Agrega Üretim Harmanlama Model Çözümlerinin Karşılaştırılması</i> 111	
4.4. AGREGA HARMANLAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN EN UYGUN DENEYSEL TASARIM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	115
4.4.1. <i>Beton Karışımları Deney Sonuçları</i>	117
4.4.2. <i>Beton Karışım Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizleri</i>	126
4.4.3. <i>Tahmin Modellerinin Değerlendirilmesi</i>	198
4.5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BULUNAN AGREGA HARMAN BETON ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	207
5. SONUÇ	210
KAYNAKLAR	212
EK 1	219
EK 2	220
EK 3	224
EK 4	225
ÖZGEÇMİŞ	227

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1	: Bir fonksiyonun bölgesel ve küresel minimum noktaları.....	9
Şekil 2.2	: Doğrusal programlama modelinin grafik çözümü.....	16
Şekil 2.3	: Üç bileşen ($q=3$) için faktör uzayı.....	28
Şekil 2.4	: Üç bileşen için simpleks merkez tasarımı.....	30
Şekil 2.5	: Üç bileşen için simpleks kafes 1.derece tasarımı.....	31
Şekil 2.6	: Üç bileşen için simpleks kafes 2.derece tasarımı.....	31
Şekil 3.1	: Cendere bölgesi taşocağı numune alınan bölgeler.....	47
Şekil 3.2	: Çatalca bölgesi taşocağı numune alınan bölgeler.....	47
Şekil 3.3	: Tek eksenli basma dayanımı çeşitli kayaç sınıflama sistemleri.....	49
Şekil 3.4	: TEBD deneyinde kullanılan karot numuneler.....	51
Şekil 3. 5	: TEBD dayanımı deneyi sonucunda kırılan numunelerden bir kısmı.....	51
Şekil 3.6	: Endirekt çekme dayanımı deneyinde kullanılan numuneler.....	52
Şekil 3.7	: Kırma –Eleme işlemleri sırasında kullanılan akım şeması.....	54
Şekil 3.8	: Kırma-eleme tesisi elektrik tüketim değerleriyle, kayaç tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki.....	63
Şekil 3.9	: Boyut küçültme işlemi sırasında yapılan enerji tüketim ölçümü.....	63
Şekil 4.1	: Tek eksenli basma dayanımı ile üretim maliyeti arasındaki ilişki.....	82
Şekil 4.2	: Çatalca bölgesi 1. bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	121
Şekil 4.3	: Çatalca bölgesi 1. bölge – 2.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	122
Şekil 4.4	: Çatalca bölgesi 2. bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	123
Şekil 4.5	: Cendere bölgesi 1. bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	124
Şekil 4.6	: Cendere bölgesi 1.bölge - Çatalca bölgesi 1. bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	125
Şekil 4.7	: Cendere bölgesi 1.bölge - Çatalca bölgesi 1. bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri.....	126
Şekil 4.8	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği.....	129
Şekil 4.9	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği.....	132
Şekil 4.10	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği.....	138
Şekil 4.11	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği.....	141

Şekil 4.12	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 144
Şekil 4.13	: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan poison oranları değerleri değişim grafiği 147
Şekil 4.14	: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği 150
Şekil 4.15	: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği 153
Şekil 4.16	: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 156
Şekil 4.17	: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği 160
Şekil 4.18	: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği 163
Şekil 4.19	: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 166
Şekil 4.20	: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan poison oranı değerleri değişim grafiği 169
Şekil 4.21	: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği 172
Şekil 4.22	: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği 175
Şekil 4.23	: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 178
Şekil 4.24	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği 182
Şekil 4.25	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği 184
Şekil 4.26	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 187
Şekil 4.27	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği 191

Şekil 4.28	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği 194
Şekil 4.29	: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modül değerleri değişim grafiği 197
Şekil 4.30	: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan basma dayanımlarının karşılaştırılması..... 206
Şekil 4.31	: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan çekme dayanımlarının karşılaştırılması..... 206
Şekil 4.32	: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan elastisite modüllerinin karşılaştırılması..... 207

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Dual ve primal değişkenler	20
Tablo 2.2	: Bir-Yönlü ANOVA modeli için veri yapısı.....	25
Tablo 2.3	: Bir yönlü ANOVA tablosu	27
Tablo 3.1	: Beton agregası uygunluk deneyleri.....	55
Tablo 3.2	: En büyük Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler	56
Tablo 3.3	: En yüksek aşınmaya karşı direnç değerlerine göre kategoriler	57
Tablo 3.4	: Agregada incelik modülü sınıfları	59
Tablo 3.5	: En büyük yassılık endeksi değerlerine göre kategoriler	59
Tablo 3.6	: Çok ince malzeme en yüksek değerlerine göre kategoriler	60
Tablo 3.7	: Kum eşdeğerliği için önerilen değerler.....	61
Tablo 4.1	: Çatalca bölgesi taşocağından alınan numunelerin elementel analiz sonuçları	67
Tablo 4.2	: Cendere bölgesi taşocağından alınan numunelerin elementel analiz sonuçları	67
Tablo 4.3	: Ortalama tek eksenli basma ve çekme dayanımları değerleri.....	70
Tablo 4.4	: Agregada darbe deneyi sonuçları	71
Tablo 4.5	: Agregada kırılma deneyi sonuçları.....	71
Tablo 4.6	: Parçalanma direncinin belirlenmesi (Los Angeles) deney sonuçları.	72
Tablo 4.7	: Aşınmaya karşı direncin belirlenmesi deney sonuçları	73
Tablo 4.8	: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini deney sonuçları.....	73
Tablo 4.9	: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacmi deney sonuçları.....	74
Tablo 4.10	: Birim ağırlık tayini deney sonuçları	75
Tablo 4.11	: Tane büyüklüğü dağılımı tayini deney sonuçları.....	76
Tablo 4.12	: İnce Malzeme (0-4mm) agregada incelik modülü değerleri	77
Tablo 4.13	: Tane şekli tayini yassılık endeksi deney sonuçları	77
Tablo 4.14	: Çok ince malzeme içeriği deney sonuçları	78
Tablo 4.15	: İnce tanelerin tayini - kum eşdeğeri deney sonuçları	78
Tablo 4.16	: İnce malzeme tayini - metilen mavisi deney sonuçları.....	79
Tablo 4.17	: Organik madde tayini deney sonuçları	80
Tablo 4.18	: Hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçları	80
Tablo 4.19	: Boyut küçültme işlemi sırasında harcanan enerji miktarları	81
Tablo 4.20	: Cendere bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri.....	81
Tablo 4.21	: Çatalca bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri	81
Tablo 4.22	: Çatalca bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri.....	87
Tablo 4.23	: Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü .	90
Tablo 4.24	: Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge –3.bölge harman modeli duyarlılık analizi	92
Tablo 4.25	: Çatalca bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü	93
Tablo 4.26	: Çatalca bölg. taşocağı 2.bölge–3.bölge harman modeli duy. Analizi	94

Tablo 4.27	: Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge–2.bölge–3.bölge harman modeli çözümü.....	95
Tablo 4.28	: Cendere bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri.....	97
Tablo 4.29	: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge – 2.bölge harman modeli çözümü	97
Tablo 4.30	: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge–2.bölge harman modeli duy. analizi.....	99
Tablo 4.31	: Cendere bölgesi taşocağı 2.bölge–3.bölge harman modeli çözümü	100
Tablo 4.32	: Cendere bölgesi taşocağı 2.bölge–3.bölge harman modeli duyarlılık analizi.....	102
Tablo 4.33	: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge-2.bölge–3.bölge harman mod. çözümü.....	103
Tablo 4.34	: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge–3.bölge harman modeli çözümü	104
Tablo 4.35	:Çatalca bölgesi - Cendere bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri	106
Tablo 4.36	: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge harman modeli çözümü.....	106
Tablo 4.37	: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge harman modeli duyarlılık analizi.....	108
Tablo 4.38	: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge harman modeli çözümü.....	109
Tablo 4.39	: Cendere bölgesi 1.bölge–Çatalca bölgesi 1. ve Çatalca bölgesi 2.bölge harman mod. çözümü.....	110
Tablo.4.40	: Cendere bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol değerleri.....	112
Tablo 4.41	:Çatalca bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol değerleri.....	113
Tablo 4.42	: Cendere bölgesi -Çatalca bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol değerleri	114
Tablo 4.43	: Tüm harman modellerinin üretim maliyet değerleri.....	115
Tablo 4.44	: Beton üretiminde ikili agrega karışım dizaynı.....	116
Tablo 4.45	: Beton üretiminde üçlü agrega karışım dizaynı	117
Tablo 4.46	: Hazırlanan beton karışımlarına ait düzeltilmiş oranlar.....	118
Tablo 4.47	: Basma ve yarmada çekme dayanım sonuçları	119
Tablo 4.48	: Elastisite modülü ve poison oranları.....	120
Tablo 4.49	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	127
Tablo 4.50	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	127
Tablo 4.51	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	130
Tablo 4.52	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	130
Tablo 4.53	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	133
Tablo 4.54	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	133
Tablo 4.55	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2. bölge karışımı poison oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	134

Tablo 4.56	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	134
Tablo 4.57	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	135
Tablo 4.58	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	136
Tablo 4.59	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	139
Tablo 4.60	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	139
Tablo 4.61	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	141
Tablo 4.62	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	142
Tablo 4.63	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3. bölge karışımı poison oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	144
Tablo 4.64	: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	145
Tablo 4.65	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	148
Tablo 4.66	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	148
Tablo 4.67	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	151
Tablo 4.68	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	151
Tablo 4.69	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	154
Tablo 4.70	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	154
Tablo 4.71	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3. bölge karışımı poison oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	157
Tablo 4.72	: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	157
Tablo 4.73	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	158
Tablo 4.74	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	158
Tablo 4.75	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları ...	161
Tablo 4.76	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	161
Tablo 4.77	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları	164
Tablo 4.78	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	164
Tablo 4.79	: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı Poisson oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları	167

Tablo 4.80	: Çatalca bölgesi 1.bölge- 2.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları 167
Tablo 4.81	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 170
Tablo 4.82	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 170
Tablo 4.83	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 172
Tablo 4.84	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 173
Tablo 4.85	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 175
Tablo 4.86	:Cendere bölgesi 1.bölge–3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 176
Tablo 4.87	:Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 178
Tablo 4.88	:Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 179
Tablo 4.89	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 180
Tablo 4.90	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 180
Tablo 4.91	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 182
Tablo 4.92	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 183
Tablo 4.93	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 185
Tablo 4.94	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 185
Tablo 4.95	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poisson oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları 188
Tablo 4.96	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poisson oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları 188
Tablo 4.97	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 189
Tablo 4.98	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 189
Tablo 4.99	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 192
Tablo 4.100	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 192
Tablo 4.101	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları 195
Tablo 4.102	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları 195
Tablo 4.103	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poisson oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları 197

Tablo 4.104	:Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poisson oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	198
Tablo 4.105	:Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen basma dayanımı tahmin modelleri.....	199
Tablo 4.106	:Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen çekme dayanımı tahmin modelleri.....	200
Tablo 4.107	:Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen elastisite modülü tahmin modelleri.....	201
Tablo 4.108	:Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen poisson oranı tahmin modelleri.....	202
Tablo 4.109	:Deneme karışımlarına ait düzeltilmiş oranlar.....	203
Tablo 4.110	: Deneme betonlarının ortalama basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranları	204
Tablo 4.111:	:Deneme betonlarına ait tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan basma dayanımı,çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri	205
Tablo 4.112	:Agrega ürün harmanlarının üretim maliyetleri ve beton üretiminde kullanılması durumunda tahmin edilen beton özellikleri.....	208

ÖZET

BETON ÜRETİMİNDE EN UYGUN AGREGA KARIŞIMININ LİNEER PROGRAMLAMA İLE BELİRLENMESİ

Günümüzde yapı malzemesi olarak yaygın bir biçimde kullanılan betonun özellikleri karışımdaki malzemelerin özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Bu çalışmada; farklı kayaç türleriyle beton agregası üretimi yapan İstanbul bölgesindeki iki taşocagında, ürün kalitesinin sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Söz konusu sahalarda üretimi yapılan 3'er farklı tür kayacın özellikleri belirlenmiş, 2'li ve 3'lü harmanlaması yapılmıştır. Harmanlama çalışmaları doğrusal programlama tekniği kullanılarak yapılmış ve her kayacın harman içerisindeki oranları belirlenmiştir. Oluşturulan doğrusal programlama modelinde, agregası üretim maliyeti değerinin minimum olması amaçlanmıştır. Literatürde ve ulusal standartlardaki agregalar için betonda kullanılabilirlik sınır değerleri, doğrusal programlama modelinde kısıt olarak tanımlanmış ve amaç fonksiyonları ile birlikte değerlendirilip en uygun agregası karışımları oluşturulmuştur. Ayrıca istatistiksel deney tasarımı yöntemi kullanılarak beton üretiminde farklı tür agregası kullanımının beton özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve farklı oranlarda farklı tür agregası kullanımı durumunda beton özelliklerinin tahminine yönelik ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Sonuç olarak ürün kalitesinin sürekliliğinin sağlanması amacıyla incelenen saha için en uygun ürün harmanları oluşturulmuş ve bu modelin bu işletmeler açısından kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

SUMMARY

DETERMINATION OF OPTIMAL AGGREGATE BLENDING WITH LINEAR PROGRAMMING IN CONCRETE PRODUCTION

Today, concrete is a widely used construction material and concrete's properties are directly related to the properties of the materials in its blending. In this research, providing the sustainability of production quality was aimed for two quarries which are located in Istanbul region and producing concrete aggregates with different types of rock. The properties of the 3 different types of rock which were produced in each of the above mention fields were determined and the binary and ternary blends were composed. Blending studies were conducted with linear programming technique and the proportions of each rock were determined. In the linear programming model, the cost of aggregate production was aimed to be minimal. The limit values that meet literature and national standards for usability of aggregates in concrete were defined as constraints in the linear programming model and evaluated with objective functions, thus the most suitable aggregate blends were composed. In addition, design of experiment method was used in order to investigate the effects of different types of aggregates on the properties of concrete and empirical approaches were developed to estimate the properties of concrete in case of using different types of aggregates with different proportions.

In conclusion, to provide the sustainability of product quality, the most appropriate product blends were composed for the research field and the usability of this model for those quarries were revealed.

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve nüfus artışının gerektirdiği ihtiyaçların karşılanması için artan yapı faaliyetleri sonucunda yapı malzemeleri ihtiyacı da aynı doğrultuda artmıştır. Günümüzde, iki ana yapı malzemesi bulunmaktadır. Bunlar beton ve çeliktir. Bu iki ana yapı malzemesi bazen birbirini tamamlamakta bazen ise birbirlerine rakip olmaktadır. Ancak tüketim miktarı açısından bakıldığında beton en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bugünkü ortalama beton tüketimi kişi başına yıllık 1 ton civarındadır. Miktar olarak insanlar su dışında diğer malzemeleri bu kadar büyük miktarda tüketmezler.

Beton agrega, su ve çimento malzemesinin uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur. Geleneksel yapılar için beton üretiminde kullanılan malzemelerin hacimsel olarak belirli miktarlarda olması gerekmektedir. Yapının sahip olması gereken dayanım ve dayanıklılığa göre bu oranlar değişmektedir. Ayrıca hazır beton üretiminde diğer önemli bir husus ise kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve üretimin her aşamasında minimum enerji kullanımınıdır. Betonun hacimce yaklaşık yüzde 75'ini agrega oluşturmaktadır. Bu nedenle betonun özellikleri, içerisindeki agrega ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle İstanbul gibi devamlı büyüyen bir şehirde artan inşaat faaliyetleri sonucunda agrega ihtiyacı da aynı doğrultuda artmıştır. Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından, agrega ihtiyacını karşılayan taşocaklarında, üretilen farklı kalitedeki malzemelerin optimum olarak kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde agregaların üretim sürecinin anlaşılması önem arz etmektedir.

Beton kullanımına yönelik agrega üretimi genellikle taşocaklarında yapılmaktadır. Bu üretim, daha önceden oluşturulmuş basamakların patlayıcılarla patlatılması ile başlar. Böylece kaya orta büyüklükteki kaya parçalarına ufaltılmış olur. Daha sonra Dizel gücü ile çalışan ekskavatörler ve taşıyıcılar bu parçalanmış yığını elektrikle çalışan kırma ve eleme tesisine boşaltırlar. Son olarak yine dizel gücü ile çalışan taşıyıcılar,

sınıflandırılmış ürünleri stok alanına taşırlar. Kısaca agrega üretimi kazı, yükleme, nakliye ve kırma aşamalarından oluşur. Agregaların özellikleri, agregaların üretildikleri kaynağa ve üretim şekline bağlı olarak değişmektedir. Agregalarda uygulanan boyut küçültme işlemlerinin mekanizması agreganın tane şekli, tane boyut dağılımı gibi özellikleri üzerinde doğrudan bir etki oluşturmaktadır. Kazının cinsi (mekanik kazı, delme-patlatma) ve boyut küçültme elemanlarının performansı oluşan agreganın özelliklerine ve betondaki performansında etkindir.

Kayaçlar, bir mühendislik malzemesi olmadıkları için genellikle bir süreklilik arz etmezler. Aynı kaynaktan veya ocakta, aynı formasyon içerisinde bile farklı derinliklerde kayaç özelliklerinde değişimler gözlenebilmektedir. Faylanma, volkanik sokulumlar, atmosferik bozunma gibi faktörler kayaç yapısında meydana gelen bazı değişikliklerin kaynağı olarak sıralanabilmektedir. Bu nedenle bir agrega kaynağının bütün bölümlerinde kayaç özellikleri aynı olmamaktadır. Taşocaklarındaki en önemli sorunlardan biri malzeme kalitesinin devamlı olarak değişmesidir. Bunun en büyük nedeni ocak içerisinde üretim yapılan yerlerdeki kayaç değişimleridir. Böylece beton santraline beslenen malzemelerin kalitesi değişmekte ve üretilen betonun özellikleri doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle kaynaktan üretilen agreganın optimum kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında iyi bir ocak optimizasyonu ve harmanlama gereksinimi de doğmaktadır. İşlenecek olan kayacın özelliklerinin değişmesi işleme sürecinde de bazı değişimlere sebep olmaktadır. Kazı ve tesis verimleri etkilenmekte ve bu da maliyetlere etki etmektedir. Bu yüzden iyi bir ocak optimizasyonu ve harmanlama politikası hem maliyetler hem de kaliteli ve sürdürülebilir bir üretim için önem kazanmaktadır. Ayrıca çevresel açıdan bakıldığında agrega üretimi sırasında minimum enerji tüketimini verebilecek ve üretim maliyetlerini minimize edebilecek optimizasyon çalışmalarının yapılması sürdürülebilirlik açısından bir gerekliliktir.

Bu çalışmada farklı kayaç gruplarından agrega üretimi yapan ve İstanbul'da faaliyetlerini sürdüren iki taşocağında ürün kalitesinin sürekliliği amacıyla harmanlama optimizasyon çalışması yapılmıştır. Oluşturulan doğrusal programlama modelleri ile agrega üretim maliyetinin minimum olması amaçlanmıştır. Literatürde ve ulusal standartlardaki agregalar için betonda kullanılabilirlik sınır değerleri, doğrusal

programlama modelinde kısıt olarak tanımlanmış ve amaç fonksiyonları ile birlikte değerlendirilip en uygun agregâ karışımları oluşturulmuştur. Buna göre 3 farklı kayaçla üretim yapılan bu taş ocaklarında oluşturulan harman modelleriyle ürün sürekliliği sağlanmıştır.

Ayrıca agregâ harmanlama modeli kullanılarak bulunan harman oranlarının beton özellikleri üzerinde etkisinin tespiti amacıyla, söz konusu taşocaklarının farklı bölgelerinden üretilen agregalar ile istatistiksel deney tasarımı kullanılarak beton örnekler hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde betonun mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Buna göre farklı formasyonlardan üretilen agregaların beton üretiminde farklı oranlarda kullanılması halinde betonun mekanik özelliklerinden basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranının ne ölçüde etkileneceği belirlenmiştir. Böylece istatistiksel deney tasarımı kullanılarak, farklı formasyonların beton üretiminde farklı oranlarda birlikte kullanımı halinde, betonun mekanik özelliklerinden basma ve çekme dayanımının tahmininde kullanılabilecek ampirik formüller geliştirilmiş ve doğrusal programlama kullanılarak bulunan agregâ harman oranlarının betonun basma ve çekme dayanımlarını nasıl etkilediği belirlenmiştir. Harmanlama modeli ile bulunan harman oranları ile üretilecek olan betonların mekanik özellikleri, istatistiksel deney tasarımı yöntemi ile tahmin edilmiş ve betonun mekanik özelliklerinin harmanlama modelindeki kısıt değerlerinin değişimlerinden ne ölçüde etkilendiği ortaya konulmuştur

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİR AGREGA VE BETON ÜRETİMİ

İki ana yapı malzemesi olan beton ve çelik bazen birbirini tamamlamakta bazen ise birbirlerine rakip olmaktadır. Çelik, kontrollü şartlar altında üretilebilen, özellikleri ve davranışı rahatlıkla belirlenebilen bir malzemedir. Öte yandan beton ise en geniş anlamıyla çimentolu bir ortam ile oluşturulmuş agrega, su ve bazen katkılardan oluşan bir karışımdır. Ancak beton en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Birçok ülkede yıllık beton tüketimi yıllık çelik tüketiminin yaklaşık on katı olarak rapor edilmektedir (Mehta ve Monteiro, 1996).

Bugünkü ortalama beton tüketimi kişi başına yıllık 1 ton civarındadır. Miktar olarak insanlar su dışında diğer malzemeleri bu kadar büyük miktarda tüketmezler. Çelik ve beton gibi yarışma halindeki yapı malzemelerinin kullanım süresi boyunca çevresel etkileri, özel bir yapı için malzeme tipinin seçiminden önce belirlenmelidir (Flower ve Sanjayan, 2007). Beton hacminin %60-80'ini agrega, %7-15'ini çimento, %14-21'ini su oluşturmaktadır (Mehta ve Monteiro, 1996). Gerek taze betonun gerekse sertleşmiş betonun tüm özellikleri betonun karıştırılmasında kullanılan bileşenler tarafından kontrol edilmektedir. Çimento harcı ve su karışımı tek başına kullanıldığında büzülme sorunu oluşturan hacimsel olarak stabil olmayan bir yapı oluşturmaktadır. Agregası ve su ise bağlayıcı olmadan bir anlam ifade etmemektedir. Ancak bu üç bileşen uygun oranlarda bir araya getirildiğinde ortaya çıkan malzeme mühendislik özellikleri ve ekonomi açısından büyük avantajlar doğuran bir yapıdadır. Beton, çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Neville ve Brooks, 2010; Erdoğan, 2007; Erdoğan, 1995; Şimşek, 2007; Reynolds ve Steedman, 1999; Tunç, 2007; Arıoğlu ve diğ., 2006).

Beton üretiminde günümüz şartlarında en önemli unsurlardan biri kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve üretimin her aşamasında çevresel etkilerin en aza

indirilmesidir. Buna bağlı olarak beton üretimi aşamasında malzemeyi iyi tanımak ve ona göre üretim yöntemi seçebilmek enerjinin optimum kullanımı ve dolayısıyla çevresel etkiler açısından oldukça önemlidir. 1 m³ alüminyum, çelik ve cam üretmek için, sırasıyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktarda bir beton için yaklaşık 3,5 GJ enerji gerekmektedir. Enerji maliyetindeki hızlı artış göz önünde bulundurulduğunda, betonun bu özelliğinin önemi de anlaşılmaktadır (Özkul vd., 1999). Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında geri kazanım beton agregalarının da hazır beton yapımında kullanımı uygulanan bir prostedir. Çimento ve su oranlarının belirlenmesi ile hazır beton yapımının diğer bir aşaması olan nakliye ve atık yönetimi de çevresel etkiler dikkate alınarak yürütülmesi gereken aşamalardır (Caldarone, 2008).

Son yıllarda gelişen çevre bilinci ve kısıtlayıcı çevre yasaları da beton üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar haline gelmiştir. Agregata üretiminin doğal bir sonucu olarak toz oluşumu bu sorunların başında gelmektedir. Yine son yıllarda küresel ısınmaya bağlı endişelerin artması ve Kyoto protokolü kapsamında CO₂ emisyonu da endüstri için kısıt haline gelmiştir. Özellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde karşılaşılan bu tip sorunların minimuma indirilmesi ve üretim kalitesinin artırılmasında optimizasyon teknikleri ve üretim planlaması önem arz etmektedir. Büyük tüketiminden dolayı beton üretiminin tonu başına CO₂ emisyonu üretiminde küçük bir azalma bile önemli bir küresel etki yapabilmektedir. Çeşitli yapı malzemelerinin CO₂ emisyonlarının güvenilir tahminlerinin yapılması yapı malzemeleri kullanıcılarının çevresel farkındalıklarından dolayı önemli hale gelmektedir. Sanayileşmenin bir gereği olarak artan enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonları üretim faaliyetlerinin her aşamasında kontrol altına alınmalı ve enerji kullanımını optimize edecek metotlar geliştirilmelidir. CO₂ emisyonları yada kısaca gösterimiyle CO₂-e değeri; CO₂, CO, NO_x ve CH₄ gibi çevresel açıdan zararlı gazların toplam miktarıdır (Flower ve Sanjayan, 2007; Başçetin vd., 2011-a; Azız ve Kecojevic, 2008).

Flower ve Sanjayan (2007) tarafından yapılan çalışmada, beton üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre toplam CO₂ emisyonlarının % 74-81' inden sorumlu olan portland çimentosu beton üretimi sırasında oluşan CO₂ emisyonlarının ana kaynağı olarak bulunmuştur. Beton üretimi açısından, CO₂ emisyonlarına asıl etki portland çimento tarafından yapılmaktadır. Global CO₂

emisyollarının % 5' ine imento üretiminden kaynaklanan CO₂ neden olmaktadır (Humphreys ve Mahasenan, 2002). Betonun taşınması, karıştırılması ve yapıya yerleştirilmesi gibi enerji girişı gerektiren tüm işler CO₂ emisyonuna yol açar. Beton etimi ve yerleştirilmesine dahil olan işlerden kaynaklanan CO₂ emisyonları bu aktivitelere eşlik eden enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bir tek aktivite ile ilişkili CO₂ emisyonunu bulmak için üretilen birim malzeme başına düşen enerji tüketimi denetlenmelidir. Bu kuralın bir ayrıcalığı imentodadır; imento üretiminde yaklaşık olarak emisyonun % 50' si, kalsinasyon fırınındaki kireç taşının reaksiyona uğraması ve kalsinasyon fırınında yakıt ve elektrik tüketilmesinden dolayı prosese bağlıdır (Flower ve Sanjayan, 2007). Çimento fabrikalarında CO₂ emisyonuna neden olan ana kaynaklar; döner fırın bacaları, klinker soğutucuları, imento değirmeni bacaları, kömür değirmeni bacaları ve by-pass bacalarıdır, tali kaynaklar ise silo üstü bacaları, ham madde değirmeni bacaları, kırıcı bacaları, öğütme ve paketleme bacalarıdır. Çimento retim prosesi; klinkerin öğütülmesinden çimentonun paketlenmesine kadar olan süreçtir. CO₂ emisyonlarının tamamına yakını klinker üretim prosesinden gelmektedir.

Beton retiminde CO₂ emisyonlarının bir sonraki ana kaynağı ise agrega üretimidir. Su ve topraktan sonra agregalar dünyada en çok kullanılan malzemelerdendir. Agrega etimi ve tüketimi bir ülkenin veya bölgenin gelişimine ve ekonomik aktivitesine bağlı olarak değişmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Maden Bürosunun 2000 yılı verilerine göre ülkedeki yıllık agrega talebi 2,5 milyar ton olarak raporlanmıştır. Birleşik Krallık agrega etimi 1995 yılı için yaklaşık 250 milyon tondur. Her yıl tüm dünya genelinde en az 4,5 milyar tonluk bir agrega tüketiminden söz etmek mümkündür. Ülkemizde ise yıllık yaklaşık 300 milyon ton agrega etimi yapılmaktadır. Ölçümler kişi bazında yapılacak olursa Kanada'da birey başına 15 tonluk bir agrega tüketimi 2003 yılı için tahmin edilmiştir. Bu rakamlar Birleşik Krallık için yıllık 4 ton, Birleşik Devletler için 8 ton, Fransa için 7 ton, İtalya ve Japonya için 6 ton olarak belirtilmektedir. Ülkemiz için ise bu rakam 4 ton' dur (Agüp, 2006). Agrega üretiminin yaklaşık %25-%35'i betonda kullanılmak üzere tüketilmektedir. Rakamlar göz önünde bulundurulduğunda agrega üretiminin optimizasyonunun çevresel ve ekonomik açıdan önemi de açıklık kazanmaktadır (Alexander ve Mindness, 2005).

Agregaların özellikleri, agregaların üretildikleri kaynağa ve üretim şekline bağlı olarak değişmektedir. Agregalarda uygulanan boyut küçültme işlemlerinin mekanizması agreganın tane şekli, tane boyut dağılımı gibi özellikleri üzerinde doğrudan bir etki oluşturmaktadır. Öte yandan bir agrega kaynağının bütün bölümlerinde kayaç özellikleri aynı olmamaktadır. Bu nedenle kaynaktan üretilen agreganın optimum kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında iyi bir ocak optimizasyonu ve harmanlama gereksinimi de doğmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde agregaların üretim sürecinin anlaşılması önem arz etmektedir (Raisanen ve Torppa, 2005).

Agrega üretimi aşamasında malzemeyi iyi tanımak ve ona göre üretim yöntemi seçebilmek enerjinin optimum kullanımı ve dolayısıyla CO₂ emisyonları açısından oldukça önemlidir. Taşocaklarındaki agrega üretimi genellikle, daha önceden oluşturulmuş basamakların patlayıcılarla patlatılması ile başlar. Böylece kaya orta büyüklükteki kaya parçalarına ufaltılmış olur. Daha sonra Dizel gücü ile çalışan ekskavatörler ve taşıyıcılar bu parçalanmış yığını elektrikle çalışan kırma ve eleme tesisine boşaltırlar. Son olarak yine dizel gücü ile çalışan taşıyıcılar, sınıflandırılmış ürünleri stok alanına taşırlar. Kısaca agrega üretimi patlatma, kazı, nakliye ve kırma aşamalarından oluşur (Başçetin, 2010; Başçetin, 2011-c).

CO₂ emisyonları açısından bakıldığında taşocaklarındaki enerji tüketimleri 3 grupta toplanabilir;

1. grup patlayıcı madde kullanımı sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonu,
2. grup dizel yakıtla çalışan araçların yarattığı CO₂ emisyonu,,
3. grup ise elektrik tüketimi sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu' dur.

Taşocaklarında yapılan agrega üretimi sırasında, CO₂ emisyonu'nun yanı sıra, toz emisyonu, görüntü kirliliği, patlatma faaliyetleri sonucunda oluşan yer sarsıntısı ve gürültü gibi olumsuz çevresel etkilerde ortaya çıkabilmektedir. Agreganın üretimiyle ilgili çevresel hususlar büyük önem arz etmekte ve beton agregalarının uygun kullanımının önemini vurgulamaktadır. Dünyanın pek çok yerinde ocakların faaliyetleri üzerinde yasal kısıtlamalar bulunmaktadır. Agreganın üretimiyle ilgili başka bir sorun ise agregaların yükte ağır pahada hafif malzemeler olduklarından agregaların nakliyesi ciddi bir maliyet girdisi oluşturmakta ve uzun mesafelerde etkisi tartışılmaz olmaktadır. (Alexander ve Mindness, 2005).

2.2. OPTİMİZASYON

Optimizasyon temel bir tanımlama ile verilen kısıtlar altında en iyi çözümün bulunması işidir (Rao, 2009). Günümüzde işletmeler, büyük ekonomik kazançların optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilebileceğinin farkına varmışlardır. Yöneticilerin en önemli sorunu belirsizlik ortamında alınan kararların tutarlı olup olmayacağıdır. Ayrıca artan rekabet şartları içerisinde karlılıklarını korumak ve devamlılıklarını sağlamak isteyen firmalar için maliyetlerin en aza indirilmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur. Yönetimde kararların klasik yöntemlerle verilemeyeceği, modern işletme yönetiminde kantitatif yöntemlerin çok önemli olduğu anlaşılmış ve işletmenin faaliyet alanlarını oluşturan pazarlama, üretim, yatırım, finansman, stoklama, fiyat, istihdam, rekabet, ulaşım gibi konularda oluşan yönetici kararlarında optimizasyon modellerinden yararlanılmaya başlanılmıştır (Ergülen ve diğ., 2005). Optimizasyon teknikleri sistemlerin performansını iyileştirmek amacıyla mühendislik, fizik, matematik, ekonomi, yönetim, sosyal bilimler ve politika gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Antoniou ve Lu, 2010; Elmas, 2011).

Optimizasyon problemlerinin çözümü belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde matematiksel ifadelerle veya kurallara dayanan algoritmalarla mümkün olmaktadır. Tüm optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir metot yoktur ve kullanılan metotlar gerçek çözümü bulmayı garanti etmezler. Ancak kabul edilebilir hızda kabul edilebilir ölçüde en iyi çözümün bulunmasında genel olarak başarılıdırlar (Coşkun, 2007). Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler, optimizasyon problemlerinin matematiksel olarak modellenerek, elde edilen çözümleri gerçek hayata yansıtma olanağı vermiştir. Optimizasyon teknikleri öncelikle doğrusal modellerle başlamış, fakat bazı problemlerde doğrusal modellerin yetersiz kalmasından dolayı doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir. Birçok optimizasyon problemi matematiksel olarak Eşitlik 2.1, Eşitlik 2.2, Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4'de verilen genel formlarda yazılabilir (Yang, 2010; Kıncaid, 2007; Klein, 2007).

$$\text{Amaç fonksiyonu: Minimize (Maksimize) } f_i(x), (i=1,2,\dots,M) \quad (2.1)$$

$$\text{Kısıt fonksiyonu: } \emptyset_j(x)=0, (j=1,2,\dots,J) \quad (2.2)$$

$$\text{Kısıt fonksiyonu: } \beta_k(x) \leq 0, (k=1,2,\dots,K) \quad (2.3)$$

$$\text{Karar değişkenleri: } X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad (2.4)$$

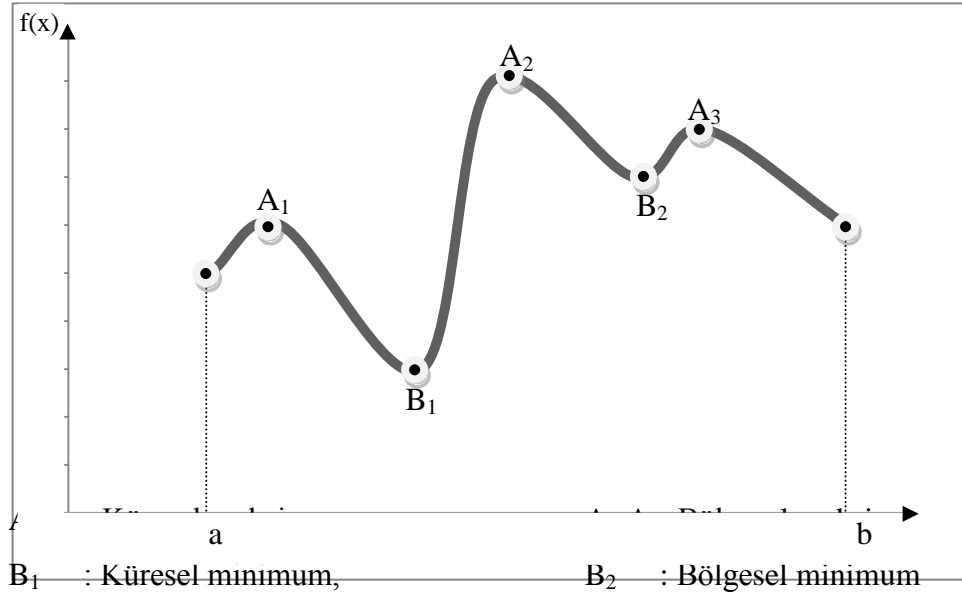
Burada;

$f_i(x)$, $\emptyset_j(x)$ ve $\beta_k(x)$: Dizayn vektörünün fonksiyonlarıdır.

Problem için sınırlamaları sağlayan mümkün tüm çözümlerin oluşturduğu bölge, araştırma yapılabilecek uygun (feasible) çözüm bölgesi olarak adlandırılır. Optimum (en iyi) çözüm, en küçük yapılacak problem durumunda uygun bölgede en düşük amaç fonksiyonu değerine sahip çözümken, en büyük yapılacak problem durumunda ise en büyük amaç fonksiyon değerine sahip çözümdür. $f(x)$ amaç fonksiyonu, $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ çözümü için (Eşitlik 2.5) ile verilen şartı uygun bölge (S) içindeki tüm muhtemel çözümler (x) için sağlıyor ise $f(x)$ fonksiyonu x^* 'de küresel minimuma sahiptir denilir (Karaboğa, 2004; Koole, 2010).

$$f(x^*) \leq f(x) \quad (2.5)$$

Eğer Eşitlik 2.5 uygun bölge içerisinde, x^* 'in dar bir komşuluğu (N) içindeki tüm muhtemel çözümler için sağlanıyorsa $f(x)$ fonksiyonu x^* 'de bölgesel minimuma sahiptir denir. Şekil 2.1 tek değişkenli $f(x)$ fonksiyonu için bölgesel ve küresel optimum (minimum) noktalarını göstermektedir (Rao, 2009).



Şekil 2.1: Bir fonksiyonun bölgesel ve küresel minimum noktaları (Rao, 2009)

Literatürde optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması ile ilgili kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Genel yapı itibarıyla problemlerin farklı özelliklerine göre farklı sınıflandırma sistemleri mevcuttur (Yang, 2010). Buna göre;

- Amaç fonksiyonunun tek veya birden fazla olması durumuna göre tek amaçlı yada çok amaçlı optimizasyon problemi olarak,
- Kısıtlamaların olmadığı problemler kısıtlamasız optimizasyon, kısıtlamaların olduğu problemler ise kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak,
- Amaç fonksiyonu ve parametreler doğrusal ise doğrusal optimizasyon problemi, doğrusal değil ise doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak, değişkenleri negatif olmayan tamsayı değerler alan bir doğrusal programlama problemi tamsayı, değilse tamsayı olmayan programlama problemi olarak, quadratik amaç fonksiyonuna ve doğrusal sınırlama fonksiyonlarına sahip bir problem, quadratik programlama problemi olarak,
- Ayrık niceliklerin optimal olarak düzenlenmesi, gruplanması, sıraya konulması veya seçilmesi problemi ayrık optimizasyon problemi olarak, tasarım değişkenlerinin veya parametrelerinin alacağı değerler sürekli değerler ise bu tür problemler sürekli optimizasyon problemi olarak,
- Belirlilik durumuna göre ise stokastik ve deterministik olarak tanımlanırlar.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde farklı teknikler kullanılmaktadır. Genellikle optimizasyon algoritmaları deterministik ve stokastik olarak tanımlanırlar. Deterministik algoritmalar kesin kuralları olan, değişkenleri ve fonksiyonları tekrarlı algoritmalarıdır. Stokastik algoritmalarda ise rastlantısallık ilkesi benimsenmiştir. Sezgisel ve metasezgisel (Sezgi ötesi) olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Sezgisel ve metasezgisel algoritmalar deneme yanılma yoluyla çözüme gitmektedir. Sezgisel algoritmaların küresel çözümü bulmada yetersiz kaldığı durumlarda son yıllarda büyük gelişmeler gösteren metasezgisel algoritmalar devreye girer (Yang, 2010). Farklı uygulamaları kapsayan optimizasyon problemi çözüm teknikleri sosyal aktiviteleri içeren gerçek verilerden sağlanan bilgilerden türetilmiştir (Thai ve Pardalos, 2012).

1. Deterministik Algoritmalar

- Doğrusal programlama
- Doğrusal hedef programlama
- Deterministik doğrusal olmayan programlama
- Deterministik dinamik programlama
- Tamsayı doğrusal programlama

2. Stokastik Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar

- Olasılıklı dinamik programlama
- Karar analizi ve oyun teorisi
- Stokastik hedef programlama

Meta sezgisel algoritmalar

- Tabu araştırma algoritmaları
- Genetik algoritmalar
- Karınca koloni algoritmaları
- Yapay sinir ağları
- Bulanık mantık

2.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Taşocaklarından üretilen ve beton agregası olarak kullanılan malzemelerdeki kalite değişimlerini en aza indirmek için harmanlama yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla problem bir harmanlama optimizasyon problemidir. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda harmanlama optimizasyon problemlerinin çözümünde doğrusal programlamanın geniş bir kullanım alanı bulduğu görülmüştür. Easa ve diğ. (1985-a) beton agregası harmanlamasında, Easa ve diğ. (1985-b) asfalt agregası harmanlamasında, Qinghua ve diğ. (2010) cevher harmanlamasında, Yin ve diğ. (2000) kömür harmanlamasında ve Lee ve Olson (1983) asfalt agregası harmanlamasında doğrusal programlama yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca beton agregası kalite parametrelerinin harmanlama sırasındaki değişimleri incelenmiş ve ilişkinin doğrusal olduğu deneylerle belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan deneylerin sonuçları EK 1' de

verilmektedir. Bu nedenlerle bu çalışma kapsamında harmanlama optimizasyon probleminin çözümü amacıyla doğrusal programlama kullanılarak bir harmanlama modeli geliştirilmiştir.

Optimizasyon tekniklerinden en çok bilinen ve kullanılanlardan biri doğrusal programlamadır. Günümüzde karşılaşılan birçok problem doğrusal olmayan parametreler içermesine rağmen, matematik programlama alanında doğrusal programlama optimizasyon yöntemi birçok problemin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır (Laurent ve Rendl, 2006; Alp, 2008).

Matematik programlama alanındaki çalışmalara, birkaç bin yıl önce doğrusal eşitliklere sahip modellerin gerçek dünya problemlerinin çözümünde kullanılmasıyla başlamıştır (Murty, 2007). Doğrusal programlamanın ilk kuramsal tartışması matematikçi L.V. Kantorovich tarafından yapılmıştır. 1947 yılında matematikçi G.B. Dantzig tarafından simpleks metot bulunmuş ve Dantzig'in bu yorum ve çalışmaları J. V. Neumann, L. Hurwicz ve T.C. Koopmans gibi ekonomist ve matematikçiler tarafından desteklenmiş ve bugün "Simpleks" adıyla tanımlanan yöntemle ulaşılmıştır (Schrijver, 2006). Kuhn ve Tucker tarafından yapılan çalışmalar sonucunda dualite teorisi ortaya konulmuş ve 1984 yılında Karmarkar metodu geliştirilmiştir (Rao, 2009).

Özellikle gelişen bilgisayar olanakları, bu tekniği bugün işletmelerin her aşamasında çok karmaşık olabilen sorunların çözümünde dahi başarı ile kullanılabilir duruma getirmiştir. Doğrusal programlama, belli doğrusal eşitsizliklerin kısıtlayıcı koşullar altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimumlaştırmak biçiminde tanımlanabilir. Buradaki optimumlaştırma, belli bir amaca en düşük maliyetle ulaşmak ya da belli kaynaklarla en yüksek kârı sağlamak anlamındadır. Bütünüyle matematiksel temellere dayanan ve ulaşılan sonuçlarda kişisel etkileri ortadan kaldıran doğrusal programlamadaki doğrusallık, matematiksel modelde kullanılan eşitlik ya da eşitsizlik takımlarının ve aynı zamanda amaç fonksiyonunun 1. derece olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan doğrusal programlamanın bir özelliği de, matematikte (n) tane bilinmeyen, birbirinden bağımsız (n) tane doğrusal denklemle çözülebildiği halde, doğrusal programlamada (n) tane bilinmeyen (n)'den daha az denklemle çözülebilir olmasıdır (Yalgın, 1984).

Doğrusal programlama modelinin kurulması

Endüstride karşılaşılan birçok problem doğrusal programlama modeli ile çözülebilmektedir (Leung ve Chan, 2009). Doğrusal programlama mühendislik dizaynlarında, yağ endüstrisinde, karışım problemlerinde, iş planlamalarında, harmanlama problemlerinde, beslenme problemlerinde, ulaşım modellemede, üretim planlamada, dağıtım problemlerinde ve birçok optimizasyon uygulamalarında sıklıkla kullanılan güçlü bir matematiksel programlama tekniğidir (Yang, 2010; Murty, 2007).

Doğrusal programlama modelinin üç temel elemanı vardır (Taha, 2000);

- Belirlenecek karar değişkenleri
- Optimum kılınacak amaç (hedef)
- İçinde bulunulan kısıtlar

Doğrusal programlama kısıtlı kaynaklarından doğan kısıtlar altında, doğrusal bir amaç fonksiyonu oluşturarak karar verilmesini sağlar. Doğrusal programlama ile bulunması istenen değerlere karar değişkenleri denir. Karar değişkenleri X_1, X_2, \dots, X_n gibi simgeler ile belirtilirler. Modeli geliştirmede ilk adım karar değişkenlerinin açıkça belirlenmesidir. Karar değişkenleri belirlendikten sonra, amaç fonksiyonu oluşturulur. Doğrusal programlama problemlerinde, X_1, X_2, \dots, X_n değişkenlerinin amaç fonksiyonu adı verilen bir doğrusal Z fonksiyonu bulunur. Problemin amacı isteğe bağlı olarak Z 'yi maksimum veya minimum yapan X_1, X_2, \dots, X_n değişkenlerinin belirlenmesidir. Modelin son elemanı ise hammadde ve talep gibi konularla ilgili olarak içinde bulunulan duruma ait kısıtlamalardır. İşletmenin sahip olduğu bu sınırlı kaynaklar b_1, b_2, \dots, b_i şeklinde gösterilebilir.

Doğrusal programlama modelinin genel matematiksel tanımı aşağıdaki şekildedir. Amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapan X_1, X_2, \dots, X_n karar değişkenlerinin değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Eşitlik 2.6, Eşitlik 2.7, Eşitlik 2.8) (Dantzig, 1963).

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } Z = \max(\min) f(X_j) = \sum_{j=1}^n C_j * X_j \quad (2.6)$$

$$\text{Kısıt Fonksiyonu: } \sum_{j=1}^n a_{ij} * X_j \geq, =, \leq b; i=1,2,\dots,m \quad (2.7)$$

$$\text{Kısıt Fonksiyonu: } X_j \geq 0 \quad ; j=1,2,3\dots n \quad (2.8)$$

Model bütünüyle incelendiğinde, aslında amaç fonksiyonunu maksimum yada minimum yapan optimum uygun çözümün aranması gerekmektedir. Optimum uygun çözüm aranırken birçok uygun çözümle karşılaşılabilir. Dolayısıyla, optimum çözümü bulacak sistematik yöntemler kullanılmalıdır. Doğrusal programlama modellerinde amaç ve kısıt fonksiyonlarının tümün doğrusal olması gerekmektedir. Doğrusallık varsayımları aşağıda tanımlanan özelliklerle ilgilidir (Taha, 2000).

- Orantılı olma: Bu özellik her bir karar değişkeninin gerek amaç fonksiyonuna gerekse de tüm kısıtlara etkisinin, söz konusu değişkenin değeriyle doğru orantılı olması gerektiğini ifade eder.
- Katkı: Bu özellik de, kısıtlardaki ve amaç fonksiyonundaki tüm değişkenlerin toplam katkısının bu değişkenlerin tekil katkılarından oluşması gerekmektedir.

Doğrusal programlamanın diğer varsayımları aşağıda belirtilmiştir (Sarker ve Newton, 2008);

- Bölünebilirlik varsayımı: karar değişkenleri reel ya da tamsayı sayılardan oluşur.
- Toplanabilirlik varsayımı: Üretim faaliyetleri tarafından kullanılan üretim faktörleri toplamının kullanılan toplam faktör miktarına eşit olması koşuldur.
- Sınırlılık varsayımı: Üretim faaliyetlerinin ve üretim faktörlerinin sayı bakımından sınırlı olma koşulu.
- Pozitif olma koşulu: Sadece pozitif değişkenlere izin verilir.

Doğrusal programlama modeli içerisinde, Kısıtların \leq ya da \geq oluşuna göre dolgu değişkeni ve artık değişken adıyla ortaya çıkan özel değişkenler vardır. Ayrıca pozitif, negatif ve sıfır değerleri alabilen sınırlandırılmamış değişkenlerde bulunmaktadır (Taha, 2000).

- Dolgu değişkeni: \leq tipi kısıtlarda, normalde sağ taraf kısıta ait kaynağın limitini gösterirken, sol taraf da bu sınırlı kaynağın modeldeki farklı faaliyetlerde kullanımını gösterir. Dolgu değişkeniyle gösterilen kısım ise, faaliyetlerin kullanımından sonra artan kaynak miktarını gösterir.
- Artık değişken: \geq şeklindeki kısıtlar normalde minimum gereksinimi ifade eder. Bu durumda artıklık, sol tarafın minimum gereksinimi aşması halini ifade eder.
- Sınırlandırılmamış değişken: Herhangi bir gerçel değeri alabilen değişkenlere denir.

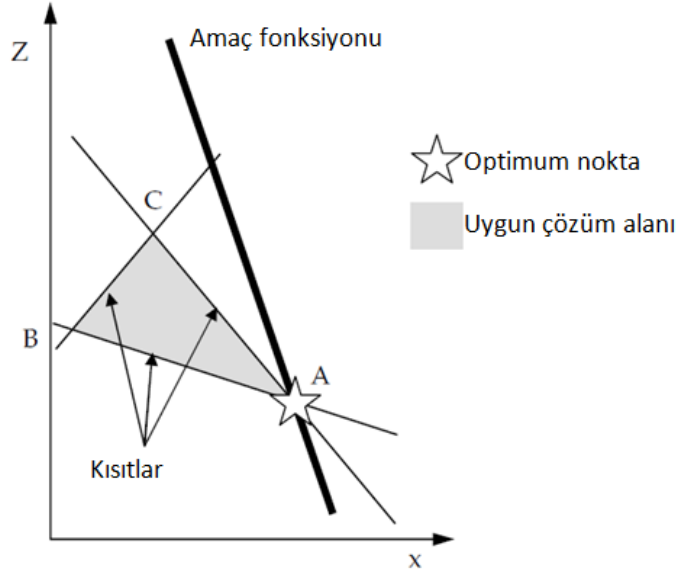
Doğrusal programlama uygulamalarında optimum çözümleri elde edebilmek için geliştirilen modelin çok iyi olması gerekmektedir (Murty, 2007). Doğrusal programlama uygulamalarında iki değişkenli modeller grafik yöntem ile fazla sayıda değişkene sahip modellerde ise simpleks metot gibi tekniklerle çözüme gidilmektedir. Bu çözümler kısaca aşağıda incelenmiştir.

2.3.1. Grafik Çözüm

Doğrusal programlama probleminin optimum çözümleri daima çözüm uzayının köşe noktalarından biriyle ilişkilidir. Bu nokta matematiksel olarak en uç nokta adıyla bilinir. Grafik yöntemde iki temel adım vardır (Taha, 2000);

- Modelin tüm kısıtlarının sağlandığı uygun çözümleri içeren bir çözüm uzayının belirlenmesi,
- Çözüm uzayındaki tüm noktalar arasından optimum çözümün bulunması.

şekil 2.2’ de doğrusal programlama modelinin grafik çözümleri gösterilmiştir. Buna göre kısıt fonksiyonları AB, BC ve AC doğruları olarak grafik üzerinde çizilmiş ve çözüm alanı kısıt fonksiyonlarına göre belirlenmiştir. AB doğrusunun temsil ettiği kısıt fonksiyonunun üst tarafı, BC ve CA doğrusunun temsil ettiği kısıt fonksiyonlarının alt tarafı çözüm uzayı içinde yer almaktadır. Kısıt fonksiyonları ile çözüm alanının belirlenmesinin ardından amaç fonksiyonu grafik üzerinde gösterilmiş ve amaç fonksiyonunun çözüm alanı bölgesindeki değeri optimum nokta olarak belirlenmiştir (Diwekar, 2003).



Şekil 2.2: Doğrusal programlama modelinin grafik çözümü (Diwekar, 2003)

2.3.2. Simpleks Çözüm

Grafiksel çözüm iki değişkenli problemlerin çözümünde kullanılır ancak doğrusal programlama problemlerinde genellikle birçok değişken olabilmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde simpleks metot gibi optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır (Diwekar, 2003). 1947 yılında George B. Dantzig tarafından bulunan simpleks metot, bilgisayar paket yazılımlarına bağlı olarak geliştirilmiştir (Murty, 2007). İlk olarak modelde bulunan eşitsizlik halindeki kısıtların dolgu ya da artık değişkenler kullanmak suretiyle eşitliklere dönüştürülerek modelin standart doğrusal programlama haline gelmesi sağlanmalıdır. Model standart doğrusal programlama haline geldikten sonra doğrusal eşitlikler haline gelmiş kısıtların eşzamanlı temel çözümleri yapılır. Bu temel çözümler çözüm uzayındaki en uç noktaların hepsini tam olarak tanımlamaktadır. Simpleks algoritması, bu temel çözümler içinden optimum olanının yerini saptamak üzere tasarlanmıştır (Taha, 2000). Doğrusal programlamada kullanılan simpleks algoritmaları uygun bölgedeki uç noktaları deneyerek sürekli amaç fonksiyonunu iyileştirir ve optimum çözüme ulaşır. Simpleks yöntemin adımları şöyle yazılabilir (Diwekar, 2003);

- Tüm kısıtlar ve amaç fonksiyonu standart doğrusal model haline getirilir,
- Bir modelin standart hale gelmesi için; Değişkenlerin negatif olmaması koşulunu içeren kısıtların dışındaki tüm kısıtlar, negatif olmayan sağ tarafa sahip

eşitlikler haline dönüşmüş olmalıdır, tüm değişkenlerin sıfır ya da pozitif olması (negatif olmaması) gerekir, amaç fonksiyonu maksimum ya da minimum olabilir,

- Uygun bir başlangıç temel çözümü belirlenir,
- Optimumluk koşulu kullanılarak giren değişken belirlenir,
- Uygunluk koşulu kullanılarak bir çıkan değişken belirlenir,
- Uygun Gauss-Jordan hesaplamalarını kullanarak yeni temel çözüm belirlenir.

\leq (veya \geq) şeklindeki bir eşitsizlik, sol tarafına bir dolgu (veya artık) değişkeni ilavesiyle eşitlik haline getirilebilir (Eşitlik 2.9, Eşitlik 2.10, Eşitlik 2.11, Eşitlik 2.12).

$$x_1 + x_2 \leq y \quad (2.9)$$

eşitsizliği,

$$x_1 + x_2 + s_1 = y \quad (2.10)$$

eşitliğine eşdeğerdir. Burada $s_1 \geq 0$ olup, dolgu değişkeni adını alır.

$$x_1 + x_2 \geq y \quad (2.11)$$

eşitsizliği,

$$x_1 + x_2 - s_1 = y \quad (2.12)$$

eşitliğine eşdeğerdir. Burada $s_1 \geq 0$ olup, artık değişken adını alır.

Bir eşitliğin sağ tarafı mutlaka negatif olmama koşuluna uymalıdır. Gerekirse bunu sağlamak için eşitlik (-1) ile çarpılabilir. Sınırlandırılmamış bir x değişkeni, negatif olmayan iki değişken cinsinden aşağıda gösterildiği gibi ifade edilebilir (Eşitlik 2.13).

$$x_j = x_j^+ - x_j^-, \quad x_j^+, x_j^- \geq 0 \quad (2.13)$$

Bir değişkenin yerine başka değişkenler kullanılması işlemi tüm kısıtları ve amaç fonksiyonunu da etkileyecektir. Problem x_j^+ ve x_j^- cinsinden değişkenlerle çözüldükten sonra, orijinal değişkenin değeri tersi bir işlemle belirlenmelidir (Taha, 2000). Bir $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonunun maksimizasyonu, $-f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonunun

minimizasyonu eşdeğerdir. Her iki problemde aynı x_1, x_2, \dots, x_n optimum değerlerine sahiptir. Standart hale gelmiş doğrusal programlama formülasyonu n bilinmeyenli (ya da değişkenli) m tane doğrusal eşitlik ($m < n$) içerir. Bu n adet değişken iki kümeye ayrılır;

- Sıfır değerini alacak $n - m$ adet değişken,
- m tane eşitliğin çözülmesiyle değeri belirlenecek, artakalan m adet değişken.

Bu m adet değişken tek bir çözüm vermekteyse bu durumu sağlayan değişkenler temel değişkenler adını alacak, kalan $(n-m)$ adet sıfır değerli değişken de temel dışı değişken diye adlandırılacaktır. Bu durumda tekil çözümle sonuçlanan durum "temel çözümü" de içermektedir. Tüm değişkenlerin negatif olmayan değerler aldığını varsayarsak, bu durumda temel çözüm uygundur. Aksi halde uygun değildir (Taha, 2000).

Simpleks algoritması, uygun temel çözümler üzerinde yoğunlaşarak optimumun yerini belirlemek üzere tasarlanmıştır. Daima uygun bir temel çözümle başlayan Simpleks yöntem daha sonra amaç fonksiyonunun daha da iyileştirildiği başka bir uygun temel çözüm aramaya başlar. Mevcut temel dışı değişkenlerden birinin sıfır olan değerinde bir artış olmasıyla daha iyi başka bir uygun temel çözüm bulunabilir. Mevcut sıfır değerli değişkenin değerinin pozitif olabilmesi, mevcut temel değişkenlerden birinin temel çözümden çıkması (sıfır değerli temel dışı değişken haline gelmesi) ile mümkündür. Çünkü yeni çözümün mutlaka m temel değişkeni içermesi ancak böyle mümkün olabilmektedir. Simpleks yöntemde, seçilmiş olan sıfır değerli değişkene çözüme giren değişken, çözüm dışı kalması istenen temel değişkene de çıkan değişken adı verilir. Giren ve çıkan değişkenlerin seçiminde kuralları belirlerken optimumluk ve uygunluk koşullarına başvurulur (Taha, 2000; Diwekar, 2003).

Optimumluk koşulu: Bir maksimizasyon (minimizasyon) probleminde giren değişken, z satırındaki en büyük negatif (pozitif) katsayıya sahip temel dışı değişkendir. Eşitlik durumunda değişkenlerden herhangi biri seçilir. Optimuma ulaşıldığında, z satırındaki tüm temel dışı değişkenlerin katsayıları negatif olmama (pozitif olmama) koşuluna uymuşlardır.

Uygunluk koşulu: Gerek maksimizasyon gerekse de minimizasyon problemlerinde çıkan değişken, negatif olmayan oranlardan en küçüğüne sahip temel değişken olarak belirlenir, eşitlik durumunda ise değişkenlerden herhangi biri seçilir

Simpleks Yöntem hesaplamaları yinelemelidir. Dolayısıyla, bir sonraki tabloyu oluşturmak için gerekli sabit koşullar ve hesaplamalar mevcut (şimdiki) tablo üzerinde yapılır. Bundan dolayı da, birbirini izleyen tablolardan yineleme (iterasyon) diye söz edilir (Taha, 2000; Murty, 2007).

Uygun dolgu değişkenleri olmayan doğrusal programlama problemleri için başlangıç uygun temel çözümü oluşturma prosedürleri içinde en yaygın olanı, yapay değişkenler kullanmaktır. Bu değişkenlerin başlangıçtaki birinci yinelemede dolgu değişkeni rolü oynadığı varsayılır. Daha sonraki yinelemelerde yapay değişkenler ortadan kaldırılır (Taha, 2000; Murty, 2007).

Duyarlılık analizi: Doğrusal programlama probleminin çözümündeki model parametrelerinde değişiklik yapılması halinde bu değişikliğin etkisinin ne olacağını araştırılması duyarlılık analizi adıyla anılır. Duyarlılık analizi, optimum çözümün dinamik davranışları üzerinde durmamızı sağlayan etkin bir hesaplama yöntemidir. Duyarlılık analizi model parametrelerindeki kesikli değişimlerle ilgilenmektedir. Önceden belirlenmiş sürekli fonksiyonlara göre parametrelerin değişim göstermesi ise bu durumun genelleştirilmiş halidir (Taha, 2000).

Dual problem, primal problemden doğrudan türetilebilen matematiksel tanımla yakından ilgilidir. Birçok doğrusal programlama işleminde dual, optimizasyonun anlamına (maksimizasyon veya minimizasyon), kısıtların tipine (\leq , \geq veya $=$) ve değişkenlerin işaretine (negatif olmama veya sınırlandırılmama) bağlı olarak primalin çeşitli durumları için tanımlanmıştır. Dual problemin kısıtları ve değişkenleri primal problemden simetrik olarak aşağıdaki gibi oluşturulabilir (Taha, 2000);

- m tane primal kısıt denkleminin her biri için bir dual değişken tanımlanmıştır,
- n tane primal değişkenin her biri için bir dual kısıt tanımlanmıştır,

- Dual kısıtın sol taraf katsayıları ilgili primal değişkenin kısıt katsayılarına (sütun halinde) eşittir. Sağ taraf sabiti ise aynı primal değişkenin amaç fonksiyonu katsayısına eşittir,
- Dualin amaç fonksiyonu katsayıları primal kısıt denklemlerinin sağ tarafına eşittir.

Bu bilgiler Tablo 2.1’de özetlenmiş olup, y_1, y_2, \dots, y_m , dual değişkenleri göstermektedir.

Tablo 2.1: Dual ve primal değişkenler

Dual Değişkenler	Primal değişkenler						
	x_1	x_2	...	x_j	...	x_n	
	c_1	c_2	...	c_j	...	c_n	
y_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}	b_1
y_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}	b_2
.
.
y_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}	b_m
				j.dual			Dual’in
				kısıtı			amacı

Primal ve dual problemler arasındaki ilişki o kadar yakındır ki, bir problemin optimum çözümü diğer problemin optimum simpleks tablosundan kolaylıkla elde edilebilir. Primal probleme kaynak dağıtım modeli olarak bakıldığında, n ekonomik faaliyete ve m adet kaynağa sahip olduğu görülür. C_j ‘ler j faaliyetindeki birim karı gösterir. Maksimum kullanımı b_i olan i kaynağı, j faaliyetinin birimi başına a_{ij} birimlik bir hızla kullanılmaktadır. Optimumluk (maksimum getiri) kaynakların tamamının kullanımında gerçekleşir. Bu durumda girdi (kaynakların değeri), çıktıya (kar) eşittir. Girdi, çıktıyı aştığında sistem optimum değildir (Taha, 2000).

2.4. İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI

Bu çalışma kapsamında agrega harmanlama modeli kullanılarak bulunan harman oranlarının beton özellikleri üzerinde etkisinin tespiti amacıyla, istatistiksel deney tasarımı kullanılarak söz konusu taşocaklarının farklı bölgelerinden üretilen agregalar ile beton örnekler hazırlanmıştır ve bu örnekler üzerinde betonun mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Buna göre farklı formasyonlardan üretilen

agregaların beton üretiminde farklı oranlarda kullanılması halinde betonun mekanik özelliklerinden basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranının ne ölçüde etkileneceği belirlenecektir. İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak, farklı formasyonların beton üretiminde farklı oranlarda birlikte kullanımı halinde betonun mekanik özelliklerinden basma ve çekme dayanımının tahmininde kullanılabilecek ampirik formüller geliştirilmiş ve doğrusal programlama kullanılarak bulunan agrega harman oranlarının betonun basma ve çekme dayanımlarını nasıl etkilediği belirlenmiştir. Böylece harmanlama modeli ile bulunan harman oranları ile üretilecek olan betonların mekanik özellikleri, istatistiksel deney tasarımı yöntemi ile tahmin edilecek ve betonun mekanik özelliklerinin harmanlama modelindeki kısıt değerlerinin değişimlerinden ne ölçüde etkilendiği ortaya konulacaktır.

Buna göre minitab paket programı kullanılarak beton üretiminde kullanılacak deney tasarımı karışım dizaynı yapılmıştır. Karışım dizaynı modeli olarak hem doğrusal hem de kuadratik yaklaşıma uygun olan simpleks merkez yöntemi seçilmiştir. Böylece farklı agrega kullanımı açısından agregaların birbirlerinden etkileşiminin etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu taş ocaklarından alınan 3' er farklı agrega için beton üretiminde kullanılacak 3' er adet 2' li karışım dizaynı, 1' er adette üçlü karışım dizaynı oluşturulmuştur.

İstatistiksel deney tasarımı (İDT) deney birimlerinin maruz kalacağı kontrol altındaki durumların düzenlenmesiyle ilgilidir ve değişik koşullarda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediğini araştırmak için gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlenmelerini veren istatistik dalıdır. İDT, 1920 yılında Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Fisher deney birimlerinden elde edilen gözlem değerlerine yine kendisi tarafından geliştirilen varyans analizi uygulayarak araştırma konusu olan faktör veya faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemeye çalışmıştır. Fisher' in ilk denemeleri böcek ilaçlarının tarım üretimine olan etkisini belirlemektir. Yaptığı çalışmalarla tarım üretiminde sadece ilaçlamanın etkili olmadığı, üretimi etkileyen başka faktörlerinde olduğunu ortaya koymuştur. İlk olarak tarım alanında kullanımı yaygınlaşan bu teknik daha sonra hayvancılık, eczacılık, mühendislik gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur (Antony, 2003; Şenoğlu ve Acıtaş, 2010; Çömlekçi, 2003).

2.4.1. İstatistiksel Deney Tasarımının Temel ilkeleri

İDT’de kontrol edilebilir deneysel değişkenlere bağımsız değişken ya da faktör denir. Faktörler nitel veya nicel değişken olabilir. Deney birimleri, denemelerin rastgele olarak atandığı varlıklar olarak tanımlanır. Deney birimlerinin, hakkında bilgi elde edilmek istenen karakteristik özelliklerine yanıt veya bağımlı değişken adı verilir, Bağımlı değişken nitel olabileceği gibi nicel de olabilir. Deney birimleri arasındaki kontrol edilemeyen farklılıklara deneysel hata denir. Bloklama, rastgeleleştirme ve tekrar İDT’nin ilkeleridir. Bu ilkeler deneysel hatanın azaltılması için kullanılırlar (Montgomery, 1997; Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Bloklama: Aralarında farklar bulunan deney birimlerinin kendi içinde homojen kendi aralarında heterojen olacak biçimde gruplara bölünmesine bloklama adı verilir (Cox ve Reid, 2000).

Rastgeleleştirme: Deney birimleri arasında çevresel koşullardan kaynaklanan farklılıklar her zaman mevcuttur. Bu farklılıklar rastgeledir. Denemeler, deney birimlerine rastgele olarak atanmaz ise deneme etkileri arasındaki farklar ile hatanın tahmin değerleri yanı olur. Deney birimleri arasındaki farklılıkların, ölçüm değerleri üzerindeki sistematik etkisini kontrol altına almak için rastgeleleştirme yapılır. Rastgeleleştirme, deney birimlerinin denemelere atanma olasılıklarının eşit olmasını sağlar (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Tekrar: Denemelerin atandıkları deney birimi sayısına tekrar denir. Tekrar sayısının artması deneysel hatanın küçülmesine, dolayısıyla deneme etkilerine ait tahminlerin ve testlerin hassasiyetinin artmasına yol açar. Bununla birlikte, fazla sayıda tekrar yapmak teorik olarak istenen bir durum olmakla beraber pratikte deneyin maliyetinin deneye ayrılan bütçeyi aşması, istenilen sayıda ve özellikte deney birimine ulaşamaması v.b. sorunlara yol açabilir. Optimum tekrarlama sayısı, istatistik teorisi ve maliyet hesapları birlikte düşünülerek yapılmalıdır. Deney birimleri arasındaki homojenlik ne kadar fazla ise tekrarlama sayısı da o denli az olmalıdır. Çünkü deneysel hata, deney birimleri arasındaki farklılıkların bir ölçüsü olarak ifade edilir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

2.4.2. Faktöriyel Tasarım

Deneyde birden fazla faktör olduğu durumlarda, faktör düzeylerinin kombinasyonları deneme olarak adlandırılır. Bu gibi birden fazla faktörün mevcut olduğu deneylerde temel amaç, faktörlerin ana etkileri ile beraber etkileşim etkilerini de test etmektir. Fisher tarafından önerilen Faktöriyel deneyler veya birçok kaynakta belirtildiği gibi faktöriyel tasarımlar, iki ya da ikiden fazla faktörün ana etkilerini ve etkileşim etkilerini aynı anda araştırmak için kullanılan oldukça popüler tasarımlardır. Özellikle mühendislik alanında yaygın bir kullanıma sahiptirler. Faktöriyel tasarımlar, zaman ve para tasarrufu sağlamak bakımından, her seferinde bir tane faktörün etkisini araştıran geleneksel tasarımlara göre çok daha etkindirler. Bunun yanı sıra, faktörler arasındaki etkileşim veya etkileşimleri araştırmak bakımından da her seferinde bir tane faktörün etkisini araştıran tasarımlara göre avantaj sağlarlar (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Faktöriyel tasarımların uygulamada en yaygın olarak kullanılanı 2^k faktöriyel tasarımıdır. 2^k faktöriyel tasarımda, 2 düzey sayısını, k ise faktör sayısını gösterir. Faktörlerin düzeyleri genellikle (a_0, a_1) , $(0,1)$, (düşük, yüksek) veya $(-1,1)$ gibi sembollerle ifade edilir. Her biri iki düzeye sahip, iki faktör olduğunda, 2^k faktöriyel tasarım, 2^2 faktöriyel tasarım adını alır. 2^2 faktöriyel tasarımda,

$(-1, -1)$, $(-1, 1)$, $(1, -1)$ ve $(1, 1)$ şeklinde gösterilen toplam $2^2 = 4$ tane deneme vardır. Bu denemeler,

- $(-1, -1)$: 1. ve 2. faktörün düşük düzeyde,
- $(-1, 1)$: 1.faktörün düşük ve 2. faktörün yüksek düzeyde,
- $(1, -1)$: 1.faktörün yüksek ve 2. faktörün düşük düzeyde,
- $(1, 1)$: 1. ve 2. faktörün yüksek düzeyde,

olduğunu ifade eder.

3^k 4^k , 5^k , v.b. faktöriyel tasarımlar için de faktör kombinasyonları veya denemeler benzer şekilde ifade edilebilir.

2.4.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Deney tasarımı prosesinin son aşaması deney sonuçlarının analizi aşamasıdır. Ürün ya da prosesin performansını hangi faktörlerin hangi derecelere etkilediği kararını vermek için deney sonuçlarının çözümlenmesi gerekir. Literatürde bu amaçla kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden bazıları doğası gereği öznel iken bazıları da nesnel karar üretme araçlarıdır. Varyans analizi (ANOVA), en nesnel yöntem olduğu için deneysel sonuçların yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde baskın olarak kullanılan istatistiksel yöntemdir (Ross, 1996).

Varyans analizi, üç ya da daha fazla grup ortalaması arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Grup ortalamalarının karşılaştırılması, deneyin sonunda bağımlı değişkende meydana gelen değişkenliğin ne kadarının faktör(ler)den, ne kadarının hatadan, v.b. kaynaklandığının belirlenmesi, bir başka deyişle toplam varyansın bileşenlerine ayrılması yardımıyla yapılır. Rassal grup tasarımı, rassal blok tasarımı ve karmaşık tasarımlar olmak üzere 3 farklı tasarım yöntemi mevcuttur (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Bir bağımsız değişken olduğu durum rassal grup tasarımı (bir yönlü anova), iki bağımsız değişken olduğu durum ise rassal blok tasarımı (iki-yönlü anova) olarak adlandırılır. Ayrıca çeşitli kısıtlamaların olduğu karmaşık tasarımlarda varyans analizi yöntemlerindedir. Eğer varyans analizi sonucunda grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilirse, analizin devamında çoklu karşılaştırma testleri yapılarak hangi gruplar arasında farklılık olduğu tespit edilmeye çalışılır. Toplam varyasyonun bileşenleri, kalite değişkenini etkileyen faktörlerden kaynaklanan varyasyon, etkileşimlerden kaynaklanan varyasyon ve hatalardan kaynaklanan varyasyondur. Bir-yönlü ANOVA için matematiksel model Eşitlik 2.14, Eşitlik 2.15 ve Eşitlik 2.16' da verilmiştir.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}, \quad i=1,2,\dots,a; \quad j=1,2,\dots,n \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

y_{ij} : i. denemedeki y. gözlem değerini,

μ : Genel ortalama,

τ_i : i. denemenin etkisi,

ϵ_{ij} : Rastgele hata terimleri.

$$y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} \text{ ve } \bar{y}_i = (y_i/n), \quad i = 1, 2, \dots, a \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15 sırasıyla i. denemedeki gözlemlerin toplamını ve ortalamasını gösterir.

Ayrıca, $N = an$ toplam gözlem sayısını göstermek üzere;

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \text{ ve } \bar{y}_{..} = (y_{..}/N) \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16 sırasıyla tüm gözlemlerin toplamı ve tüm gözlemlerin ortalaması olarak tanımlanır. Bir-yönlü ANOVA modeli için veri yapısı Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2: Bir-yönlü ANOVA modeli için veri yapısı

Denemeler	Gözlemler					
	1	2	...	n	Toplam	Ortalama
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
.
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{an}	$y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$
					$y_{...}$	$\bar{y}_{...}$

Model varsayımları: ANOVA tekniği kullanılarak yapılan analizler bazı temel varsayımlara dayanır. Bu varsayımlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Varsayım ϵ_{ij} hata terimleri 0 ortalama ve σ^2 varyans ile normal dağılıma sahiptir.
2. Varsayım hata terimlerinin varyansları homojendir.
3. Varsayım hata terimleri birbirinden bağımsızdır.

Hipotez testi:

Modelde, amaç denemeler arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını sınamaktır. Bu durum için sıfır hipotezi, üç farklı şekilde ifade edilebilir;

H_0 : Denemeler arasında anlamlı bir fark yoktur,

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a = \mu$

Açıktır ki, hipotezler birbirine denktir. Hipotezi sınamak için kullanılan test istatistiği toplam değişkenliğin bir ölçüsü olan genel kareler toplamının (SS) parçalanışına dayanır. Hipotez genel kareler toplamının, deneme kareler toplamı ve hata kareler toplamı olarak bileşenlerine ayrılmasıyla elde edilen test istatistiği yardımıyla sınanır (Eşitlik 2.17, Eşitlik 2.18, Eşitlik 2.19, Eşitlik 2.20).

Eğer;

$$SS_{\text{Toplam}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \quad (2.17)$$

$$SS_{\text{Deneme}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \quad (2.18)$$

$$SS_{\text{Hata}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 \quad (2.19)$$

denirse,

$$SS_{\text{Toplam}} = SS_{\text{Deneme}} + SS_{\text{Hata}} \quad (2.20)$$

olarak ifade edilir.

SS_{Toplam} , SS_{Deneme} ve SS_{Hata} sırasıyla gözlemlere, denemelere ve hata terimlerine ait varyansların paylarını ifade eder. SS değerleri, ilgili serbestlik derecelerine bölüldüğünde kareler ortalaması (MS) elde edilir. Hipotezi sınamak içinse F test istatistiği kullanılır (Eşitlik 2.21).

$$F_{\text{Deneme}} = \frac{SS_{\text{Deneme}}/(a-1)}{SS_{\text{Hata}}/(N-a)} = \frac{MS_{\text{Deneme}}}{MS_{\text{Hata}}} \quad (2.21)$$

F_{Deneme} test istatistiğinin değeri, α anlam düzeyinde a-1 ve N-a serbestlik dereceli F tablo değerinden daha büyükse sıfır hipotezi reddedilir (Eşitlik 2.22). Bir başka deyişle,

$$F_{\text{Deneme}} > F_{\alpha; a-1; N-a} \quad (2.22)$$

ise "Denemeler arasında anlamlı bir farklılık vardır" denir.

Bir olayın ortaya çıkma şansının olasılığının çok küçük olduğunu kabul etmek için gereken kanıtların miktarı anlamlılık veya α anlam düzeyi olarak isimlendirilir. İstatistiksel çalışmalarda anlamlılık seviyesinin seçilmesi araştırmacıya bağlıdır ama

geleneksel olarak birçok uygulamada seçilen anlamlılık seviyesi %5 olmaktadır ve buna tek neden geleneksel kullanıştır (Stigler, 2008).

Yukarıda elde edilen bilgiler ışığında bir-yönlü ANOVA tablosu Tablo 2.3'de gösterildiği gibi oluşturulur.

Tablo 2.3: Bir yönlü ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler (SS)	Toplamı	Kareler (MS)	Ortalaması	F istatistiği
Denemeler	a-1	SS_{Deneme}		MS_{Deneme}		F_{Deneme}
Hata	N-a	SS_{Hata}		MS_{Hata}		
Genel	N-1	SS_{Toplam}				

2.4.4. Karışım Dizaynı

Birçok ürün, bazı maddelerin karışımından meydana gelir ve bu tür ürünlere ait kalite kontrol parametrelerinin istenilen değerlerde olabilmesi için, ürünü oluşturan bileşenlerin oranlarının ne olacağını belirlemek önemli bir problemdir. Karışım deneylerinde, ürünün özellikleri ile ürünü oluşturan bileşen oranları arasındaki ilişki incelenir ve ürünün özellikleri üzerinde hangi bileşenlerin daha etkili olduğuna karar verilir. Karışım deneyleri ile ilgili çalışmalar 1953 yılında Quenouille tarafından başlatılmış ve Scheffe 'nin 1958 yılındaki makalesi tüm çalışmalara öncülük etmiştir. Scheffe 1958 yılında simpleks kafes tasarımını ortaya koymuş, 1962 yılında Gorman ve Hinman simpleks kafes tasarımını geliştirmiş ve 1963 yılında ise Scheffe simpleks merkez tasarımını ortaya koyarak karışım dizaynının temellerini atmıştır. İzleyen yıllarda Scheffe modellerine katkıda bulunan çalışmalar, Draper ve Lawrence (1965), Mclean ve Anderson (1966), Thomson ve Myers (1968), Lambrakis (1969), Cain ve Price (1986) gibi çeşitli bilim adamları tarafından ortaya konulmuştur (Scheffe, 1958; Scheffe, 1963; Lambrakis, 1968; Lambrakis, 1969-a; Lambrakis, 1969-b; Mclean ve Anderson, 1966; Cornell, 2011; Draper ve Lawrence, 1965; Thomson ve Myers, 1968; Gorman ve Hinman, 1962; Cain ve Price, 1986).

Karışım deneylerinin amacı, ürün özelliklerini (yanıt) karışım oranları cinsinden temsil edebilecek bir model bulmaktır. Genel karışım probleminde, yanıt sadece karışımdaki bileşenlerin oranlarına bağlıdır, karışımın miktarına bağlı değildir. Karışımda yer alan

maddelerin oranları “bileşen oranı” olarak adlandırılır. Bileşen oranları ile ilgili kısıtlar Eşitlik 2.23 ve 2.24’de verilmiştir (Scheffe, 1958; Dunsmore ve Ward, 1993; Liu ve Neudecker, 1997).

$$0 \leq X_i \leq 1, \quad i=1,2,\dots,q \quad (2.23)$$

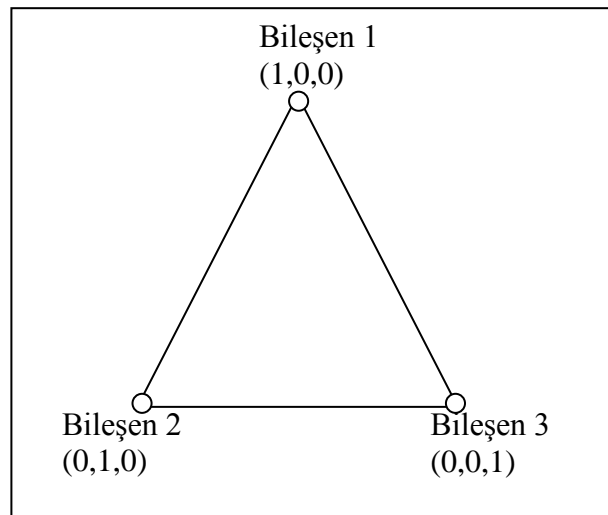
$$\sum_{i=1}^q X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_q = 1 \quad (2.24)$$

Burada;

q: Karışımdaki bileşenlerin sayısı

X_i : i ' inci bileşenin oranı

Bir bileşenden oluşan karışımlar “saf karışım” olarak adlandırılır. Saf karışımlar çok bileşenli karışımların karşılaştırılmasında kullanılırlar. Eşitlik 2.23 ve 2.24’deki kısıtlamalar nedeniyle faktör uzayı, faktöriyel deneylerdeki faktör uzayından farklıdır. Üç bileşen için ($q=3$) faktör uzayı, bir eşkenar üçgen ve dört bileşen için ($q=4$) faktör uzayı, bir dört yüzlüdür. Şekil 2.3’ de üç bileşen için faktör uzayı verilmiştir (Cornell, 2011; Scheffe, 1958).



Şekil 2.3: Üç bileşen ($q=3$) için faktör uzayı (Scheffe, 1958)

Karışım problemi için koordinat sistemi “simpleks koordinat sistemi” olarak adlandırılır. Şekil 2.3’ de verilen eşkenar üçgenin köşeleri saf bileşeni tanımlar ve

(1,0,0; 0,1,0; 0,0,1) şeklinde gösterilir. Üçgenin içindeki noktaların her biri farklı karışım oranlarını tanımlamaktadır. Örneğin üçgenin merkezi üç bileşeninde eşit oranlarda olduğu karışımı ifade eder ve (1/3,1/3,1/3) şeklinde gösterilir.

Scheffe (1958), tarafından verilen $\{q,m\}$ simpleks kafes tasarımlarında nokta sayısı Eşitlik 2.25’de verilen denklemle belirlenir. Bileşen oranları ise Eşitlik 2.26’ da verilen denklemle bulunur.

$$\binom{q+m-1}{m} = \frac{(q+m-1)!}{m!(q-1)!} \quad (2.25)$$

$$X_i = (0), (1/m), (2/m), \dots, 1; \quad i=1, 2, \dots, q \quad (2.26)$$

Burada;

q: bileşen sayısı,

m: kullanılan polinomial modelin derecesi

X_i: i.bileşenin karışımında aldığı oran

Örneğin 3 bileşenli (q=3) 2. dereceden (m=2) bir simpleks kafes tasarımında Eşitlik 2.25 kullanılarak nokta sayısı 6 olarak bulunur. Bileşenlerin karışımında alacağı oranlar ise Eşitlik 2.26 kullanılarak, (0),(1/2) ve (1) olarak bulunur. Buna göre belirlenen 6 noktadaki karışım oranları aşağıdaki şekilde tasarlanır (Eşitlik 2.27).

$$(X_1, X_2, X_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2) \quad (2.27)$$

Burada ,

X₁: 1.bileşenin karışımında aldığı oran,

X₂: 2.bileşenin karışımında aldığı oran,

X₃: 3.bileşenin karışımında aldığı oran,

Buna göre tasarım 3 adet saf karışım ((1,0,0),(0,1,0),(0,0,1)) ve 3 adet ikili karışım ((1/2,1/2,0),(1/2,0,1/2),(0,1/2,1/2)) oluşmaktadır. $\{q,m\}$ simpleks kafes tasarımlarının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir, (Cornell, 2011).

Avantajları;

- Kafes, simpleks üzerindeki noktaların simetrik ve uniform bir düzeninden meydana gelir ve bu nedenle de sistemdeki her bir bileşene eşit ağırlık verilir,

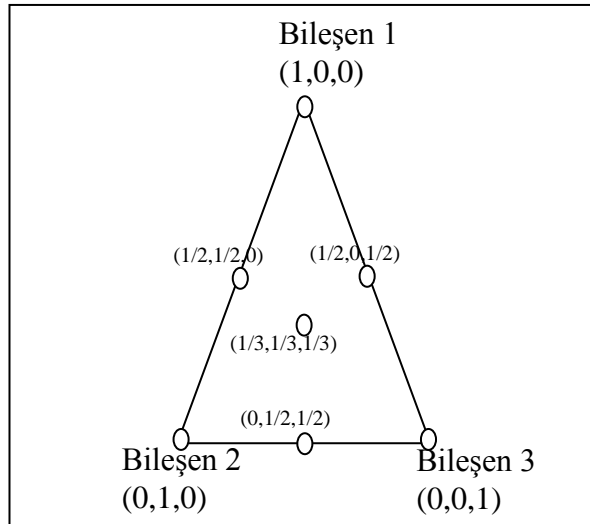
- Bileşen kombinasyonlarını hesaplamak oldukça kolaydır,
- Regresyon modeli katsayıları, kafes noktalarındaki gözlemlerin ortalamalarından kolaylıkla hesaplanabilir.

Dezavantajları;

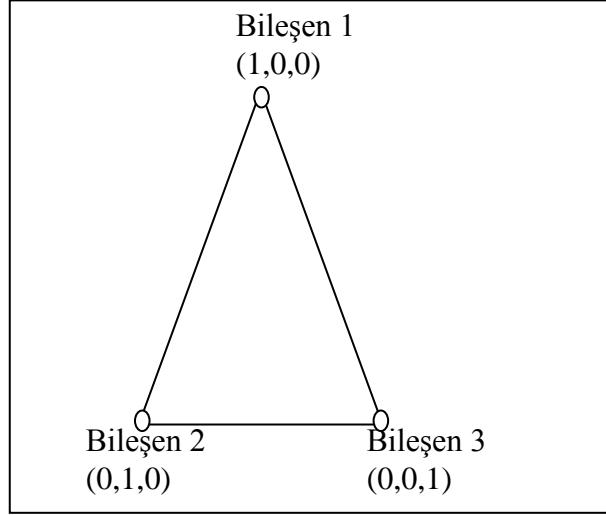
- $\{q,m\}$ simpleks kafesinin q bileşenlerin en fazla m tanesinden meydana gelmesi nedeniyle tamamen sınırlı bir tasarımıdır,
- q 'nun büyük değerleri ve $m \geq 2$ için kafes noktalarının sayısı fazladır. Bu da deney sayısını artırmaktadır.

q bileşenli tasarımlar ile yapılan deneyler için simpleks kafes tasarıma alternatif bir tasarım, Scheffe (1963), tarafından önerilen, q adet bileşenin bütün mümkün alt setlerini içeren karışımları tanıtan ve $2^q - 1$ adet noktaya sahip olan simpleks merkez tasarımıdır. Tasarım noktalarının q adedi $(1,0,0,\dots,0)$ ' in permütasyonlarından, $\binom{q}{2}$ adedi $(1/2,1/2,0,\dots,0)$ 'in permütasyonlarından, $\binom{q}{3}$ adedi $(1/3,1/3,1/3,0,\dots,0)$ 'in permütasyonlarından,..., ve merkez noktası $(1/q,1/q,\dots,1/q)$ ' dan oluşmaktadır.

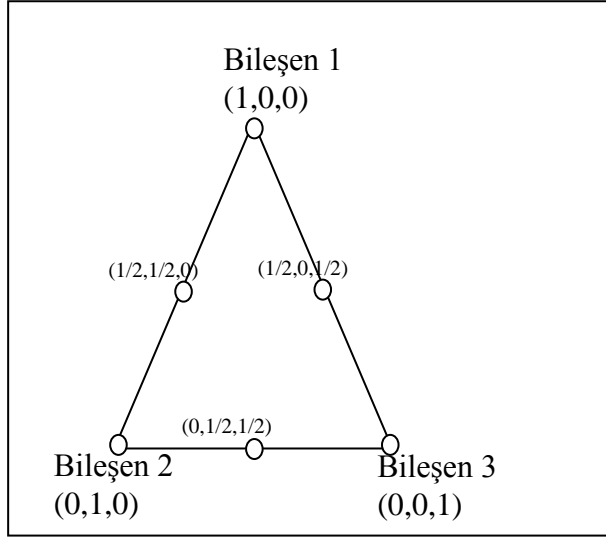
Şekil 2.4'de üç bileşen için simpleks merkez, Şekil 2.5'de simpleks kafes 1.derece ve 2.6'da ise simpleks kafes 2.derece tasarımlar verilmektedir (Cornell, 2011).



Şekil 2.4: Üç bileşen için simpleks merkez tasarım



Şekil 2.5: Üç bileşen için simpleks kafes 1.derece tasarım



Şekil 2.6: Üç bileşen için simpleks kafes 2.derece tasarım

Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi 3 bileşenden oluşan simpleks merkez tasarımı için 7 nokta belirlenmiştir. Buna göre tasarım 3 adet saf karışım, 3 adet ikili karışım ve 1 adet üçlü karışımdan oluşmaktadır. Simpleks merkez tasarım maksimum dördüncü dereceden regresyon denklem tahminlerine uygun bir tasarımdır. Şekil 2.5 'den de görüldüğü gibi 3 bileşenden oluşan simpleks kafes 1.derece tasarımı için 3 nokta belirlenmiştir. Buna göre tasarım 3 adet saf karışımdan oluşmaktadır. Simpleks kafes 1.derece tasarım maksimum birinci dereceden (doğrusal) regresyon denklem tahminlerine uygun bir tasarımdır. Şekil 2.6' dan da görüldüğü gibi 3 bileşenden oluşan 2.derece simpleks kafes tasarımı için 6 nokta belirlenmiştir. Buna göre tasarım 3 adet saf karışım ve 3 adet ikili karışımdan oluşmaktadır. Simpleks kafes 2.derece tasarım maksimum ikinci dereceden regresyon denklem tahminlerine uygun bir tasarımdır.

2.4.4.1. Karışım Deneylerinin Analizi

Karışım deneylerinde ürünün istenilen özellikleri yanıt (η) ile ifade edilmektedir. Yanıt bileşen oranlarına (X_1, X_2, \dots, X_q ; q:faktör seviyesi) bağlıdır (Eşitlik 2.28, Eşitlik 2.29, Eşitlik 2.30).

$$0 \leq X_i \leq 1, \quad i=1, \dots, q \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^q X_i = 1 \quad (2.29)$$

Kısıtlarını sağlayan

$$\eta = \eta(X_1, X_2, \dots, X_q) \quad (2.30)$$

Karışım deneylerinde model, alışılmış regresyon modellerinden farklıdır. Scheffé (1958), $\{q, m\}$ karışım tasarımlarında kullanmak amacıyla kanonik polinomların kullanılmasını önermiştir (Snee, 1973). Kanonik form, standart polinomlardaki terimlere $X_1 + X_2 + \dots + X_q$ kısıtı uygulanarak elde edilir. Eşitlik 2.31'de iki bileşen için doğrusal model, Eşitlik 2.32'de iki bileşen için ikinci derece (kuadratik) model, Eşitlik 2.33'de iki bileşen için üçüncü derece (kübik) model ve Eşitlik 2.34'de ise iki bileşen için dördüncü dereceden model verilmiştir (Cornell, 2011).

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i \quad (2.31)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j \quad (2.32)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i < j} \delta_j \cdot X_j \cdot (X_i - X_j) \quad (2.33)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i < j} \delta_j \cdot X_j \cdot (X_i - X_j) + \sum_{i < j} v_j \cdot X_j \cdot (X_i - X_j)^2 \quad (2.34)$$

Burada;

β_i : Saf bileşenlerin yanıt değerine bağlı olan katsayı değeri;

X_i : 1. Bileşen oranları, $0 \leq X_i \leq 1$, $i=1, \dots, q$; q: faktör seviyesi,

X_j : 2. Bileşen oranları, $0 \leq X_j \leq 1$, $j=1, \dots, q$; q: faktör seviyesi,

β_{ij} : bileşenler arasındaki etkileşim sırasındaki katsayı değeri (ikinci dereceden)

δ_j : bileşenler arasındaki etkileşim sırasındaki katsayı değeri (üçüncü dereceden)

v_j : bileşenler arasındaki etkileşim sırasındaki katsayı değeri (dördüncü dereceden)

Kanonik polinomlardaki katsayı tahminleri yanıtların gözlenen değerlerinin basit fonksiyonlarıdır. Eğer yanıtın pozitif değere sahip olması isteniyorsa ve β_{ij} pozitif bir değer almışsa artış sinerjiktir. Diğer bir ifade ile i ve j bileşenlerinin karışımı sinerjik bir etkiye sahiptir. β_{ij} 'nin negatif bir değer alması durumunda ise karışım antagonistiktir (Cornell,2011). Ayrıca bileşenler arasındaki ilişkinin varlığı korelasyon katsayısına göre de belirlenebilir. 0,7 korelasyon katsayısından yüksek değerler bileşenler arasında güçlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir (Jorion, 2005).

2.5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR

2.5.1. Doğrusal Programlama Endüstriyel Uygulamalar

Optimizasyon tekniklerinden en çok kullanılanlardan biri olan doğrusal programlama günümüzde karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. 1947 yılında matematikçi G.B. Dantzig tarafından simpleks metot'un bulunmasıyla birlikte doğrusal programlama ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Laurent ve Rendl, 2006).

Bunlardan biri olan Percus ve Quinto (1956) tarafından yapılan çalışmada, tahviller için doğrusal programlama kullanarak net faiz maliyetleri hesaplanmıştır. Net faiz maliyetine giren faktörler tanımlanmış ve amaç fonksiyonu net faiz maliyeti minimizasyonu olan bir doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak teklif verenin net faiz maliyetinin minimize eden bir çözüm çalışma kapsamında önerilmiştir.

Barbaro ve Ramani (1986) tarafından yapılan bu çalışmada ise tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanarak birden fazla sayıda pazara yönelik bir maden üretim planlaması yapılmış ve tesis tür ve konumu belirlenmiştir. Bir kömür hazırlama tesisinde uygulanan model sonucunda, üretimde bir çok ürün grubu ve tesis tür ve konumu için optimum çözümler önerilmiştir..

Buehlmann ve diğ. (2000) tarafından yapılan bu çalışmada, ahşap panel üretimi için MS Excel tabanlı bir karar destek sistemi önerilmiştir. Doğrusal programlama ile çalışan

sistem, arz ve fiyat açısından üretim proseslerinin kontrolünde uygulanmış ve bu parametrelerin optimizasyonu sağlanmıştır.

Zhong ve Shi (2002) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, bulanık doğrusal programlama yaklaşımları kullanarak çok kriter ve çok kısıt düzeyli doğrusal programlamada dualite için parametrik bir yaklaşım tanıtılmıştır. Bulanık yaklaşım sonuçları, belli bir aralıkta karar parametreleri ile birlikte üyelik fonksiyonu ve ilişkili optimal çözüm cinsinden belirlenmiştir. Son olarak primal ve dual üyelik fonksiyonları kullanılarak bir bulanık dualite fonksiyonu primal ve dual potansiyel çözümleri için elde edilmiştir.

Kortelevev ve Aleksandrov (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, bir taşocağı için nakliye yollarının optimizasyonunun nasıl yapılacağı ortaya koyulmuştur. Tamamıyla teorik olan bu çalışmada, öncelikle bir taş ocağındaki bölgeler tanımlanmış ve bu bölgeler arasında bulunması gereken bağlantı yolları şematize edilmiştir. Buna göre işletme açısından kontrol odasının, nakliye yollarının ve atık sahasının nerede konumlandırılacağı doğrusal matematiksel modeller yardımıyla belirlenmiş ve böylece maliyetin ne kadar azalabileceği ortaya konmuştur.

Verma ve diğ. (2010) tarafından yapılan bu çalışmada doğrusal hedef programlama kullanılarak bir baraj sistemi modellenmiştir. Buna göre matematiksel modelde, mevcut nehrin kenarındaki rezervuar alanları ve birbirleriyle bağlantıları, rezervuar alanlarının birim zamanda sağladıkları su miktarları, çevrede sulama ihtiyacı olan tarımsal alanların ihtiyaç duyduğu su miktarları ve rezervuar çevrelerindeki dolu savakların kapasiteleri tanımlanmıştır. Hedef programlama tekniklerinden min-max, ağırlıklandırma ve öncelikli hedef programlama teknikleriyle modeller oluşturulmuş ve bunların çözümlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak tarım alanların su ihtiyacını karşılayan çözümler 3 farklı teknik içinde bulunmuş, fakat yapılan karşılaştırmalara göre en uygun modelin öncelikli hedef programlama tekniği olduğu belirlenmiştir.

2.5.2. İstatistiksel Deney Tasarımı Endüstriyel Uygulamalar

1920 yılında Fisher tarafından geliştirilen istatistiksel deney tasarımı ilk olarak tarım alanında yaygınlaşmış, daha sonra hayvancılık, eczacılık, mühendislik gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur.

Eide ve Johnsen (1997) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı karışım dizaynı bir karışımdaki mutajenler arasındaki olası etkileşimleri tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Karışımların bileşimleri karışım dizaynı ile belirlenmiştir ve tasarımda 4 değişken bulunmaktadır. Karışım dizaynında 8 farklı karışım ve ek olarak bir de eş merkez nokta bulunmaktadır. Doz ve tepki eğrilerinin doğrusal kısımları üzerinde iyi tanımlanmış bir aralıkta yapılan geleneksel karışım dizaynı ve her değişkenin eşdeğer dozları ile izobolografik karışım dizaynı olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Sonuç olarak her iki yaklaşımla da gerçekleştirilen karışım tasarımının zaman ve deney sayısından kazanım sağladığı görülmüştür.

Ding ve diğ. (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı ekstrem köşe tasarım yöntemi ile mineral katkılı betonların karışım oranlarının optimizasyonu ortaya konulmuştur. Tüm köşeleri sınır yüzeylerinin ağırlık merkezi olarak seçen bu yöntemle göre tasarlanan 9 nokta ile, beton dayanımı ve Portland çimento-zeolit-uçucu kül bileşim oranları arasındaki ilişki tahmin edilmiştir. Sonuç olarak en küçük kare regresyon analizi ile yapılan değerlendirmelerde 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarını % 6' dan az hata ile tahmin eden yaklaşımlar önerilmiştir.

Muthukumar ve diğ. (2003) tarafından yapılan bu çalışmada, polimer betonda kullanılmak üzere silis agrega karışım oranlarının optimizasyonu istatistiksel teknikler kullanılarak denenmiştir. Altı farklı standart partikül boyutlarındaki yüksek saflıkta silis agregası bu çalışma için seçilmiş ve istatistiksel deney tasarımı karışım dizaynı kullanılarak tasarlanan 54 adet kombinasyonun boşluk içeriği standart teknik uygulayarak deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak yapılan analizler sonucunda minimum boşluk içeriğe sahip optimum bir karışım elde edilmiştir.

Muthukumar ve Mohan (2004) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı karışım dizaynı kullanarak farklı karışımlarda polimer betonları oluşturulmuş

ve karışım oranlarının optimizasyonu yapılmıştır. Polimer betonların oluşturulması sırasında silis agregası, reçine ve mikrofiller kullanılmıştır. Karışım oranlarının optimizasyonu sırasında mekanik özellikler analiz edilmiş ve en uygun mekanik özelliğe sahip karışım oranları tahmin edilmiştir. Ayrıca karışım dizaynı kullanılarak tahmin edilen mekanik özellikler, deneylerle doğrulanmıştır.

Bayramov ve diğ. (2005) tarafından yapılan bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan çelik tel içeriğinin, eğilme halinde çelik tel donatılı betonun kırılma parametrelerine etkisi istatistiksel deney tasarımı yöntemi kullanılarak araştırılmış ve bu parametreler optimize edilerek daha düşük maliyetli beton elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Optimum tasarım için, üç-düzeyle iki faktörlü tam deneysel tasarım, tepki yüzey yöntemi ve çok amaçlı sayısal optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak çelik telin narinliği ve içeriğinin özgül kırılma enerjisi ve karakteristik boya etkisinin belirgin olduğu vurgulanmıştır.

Bondari (2005) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı kullanılarak tarım alanında hipotetik çalışmalar yapılmıştır. 3 ve 4 farklı bileşen ile karışımlar 2. ve 3. dereceden kafes ve merkez tasarımlarla yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Ayrıca farklı kimyasal maddelerin karışımlarının tarım ilaçlarına etkisi araştırılmıştır.

Saikaew (2009) tarafından yapılan bu çalışmada, beton parmaklık malzemesinin basınç dayanımı ve boşluk miktarını etkileyen belirli proses faktörleri için optimum üretim koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu problem çoklu değişkenlerin eş zamanlı optimizasyonunu içerdiğinden, istatistiksel deney tasarımı yöntemi kullanılarak malzemelerin basınç dayanım özellikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak ortalama basınç dayanımı ve minimum boşluk miktarı için tahminsel modeller önerilmiştir.

Yeh (2009) tarafından yapılan bu çalışmada, istenilen beton özellikleri ile tutarlı, uçucu kül ve cüruf içeren beton karışım tasarım analizi, istatistiksel deney tasarımı (İDT), yapay sinir ağları (YSA) ve matematiksel programlama (MP) yöntemleri birleştirilerek yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında İDT ve YSA yöntemleri, işlenebilirlik ve basınç dayanımı üzerindeki bileşenlerin varyasyonlarının etkileşimlerini ve etkileri değerlendirme doğruluğundan ödün vermeyen örneklerin ve karışımların test sayılarını

azaltmak amacıyla kullanılmıştır. MP 'nin kullanım amacı ise, betonu korurken gerekli özellikleri karşılamak için daha düşük maliyette karışımın optimize edilmesidir. Araştırma kapsamında, basınç dayanımları 25, 32,5, 40, 47,5 ve 55 MPa, ve çökmede işlenebilirlik 5, 10, 15, 20, 25 cm olarak belirlenmiş ve toplam 25 karışım oluşturulmuştur. Sonuç olarak mukavemet ve işlenebilirlik özelliklerinin söz konusu modeller ile analiz edilebileceği vurgulanmış ve geç dayanım gereksinimi yüksek dayanımlı betonda baskın bir rol oynarken, erken dayanım gereksinimi, düşük ve orta dayanımlı betonda baskın rol oynadığı bulunmuştur.

Correia ve diğ. (2009) tarafından yapılan bu çalışmada, taze beton mikser tanklarının temizlenmesiyle elde edilen çamurdan kazanılan agrega geri dönüştürülerek farklı su çimento oranlarındaki yeni betonda doğal ince agregaların yerine kullanılmıştır. Sertleşmiş betonun su emmesinin ve 7 ve 28 günlük basma dayanımının FCW (Taze beton atığı) ile su çimento oranının fonksiyonu olarak modellenmesinde 32 faktöriyel deney tasarımı kullanılmış ve elde edilen regresyon denklemleri ve kontur plotları teyit amaçlı deneyler ile birlikte değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sonuçta taze betonun işlenebilirliği FCW içeriğinin artması ile kötüleştiğini fakat su emmesinin (ağırlıkça %5-10), 7 günlük basınç dayanımının (26-36 MPa) ve 28 günlük basınç dayanımının (32-44 MPa) belirtilen aralıkta kalmasıyla FCW'den kazanılan agreganın yeni beton karışımlarında düşük doğal agrega içeriğiyle beraber kullanılabilceğini göstermiştir.

Akalın ve diğ. (2010) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı karışım dizaynı yöntemi ile kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı beton optimizasyonu yapılmıştır. C100/115 beton sınıfında 8 adet farklı kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı beton karışımı 46 deney tekrarı olacak şekilde hazırlanmış ve deney sonuçları optimum bir karışım oranına ulaşmak için analiz edilmiştir

Hadiwidodo ve Mohd (2010) tarafından yapılan bu çalışmada, istatistiksel deney tasarımı Taguchi deney teknikleri kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonda karışım optimizasyonu yapılmıştır. Bu kapsamda, üç seviyeli faktör ve bir ortogonal dizi kullanılarak, iri agrega, kum, çimento, silis dumanı, su ve süperakışkanlaştırıcı miktarları farklı karışımlar hazırlanmış ve karışımlar üzerinde çökme akışı, akış süresi, V-hunisi, L-kutusu ve segregasyon direnci deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak

istatistiksel deney tasarımı tekniği kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton için karışım optimizasyonu yapılmış ve bu tekniğin kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Gayarre ve diğ. (2011) tarafından yapılan bu çalışmada, geri kazanılmış agrega kullanılarak hazırlanan beton karışımların istatistiksel deney tasarımı kullanılarak yoğunluk, absorpsiyon, basma dayanımı, elastisite modülü ve basınç altında su geçirirliği özellikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak geri kazanılmış agreganın yer alma yüzdesi su çimento oranı sabit kaldığından basma dayanımını etkilememiştir. Öte yandan Elastisite modülü ise yer alma yüzdesi %50 değerini geçtiğinde etkilenmektedir.

Chen ve diğ. (2011) tarafından yapılan bu çalışmada, ince agrega yerine atık sıvı kristal cam kumu kullanarak oluşturulan yüksek performanslı geri dönüştürülmüş sıvı kristal cam betonun, karışım tasarım analizi yapılmıştır. İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak yapılan analizlerde, betonun çökme, basınç dayanımı, birim ağırlık, basınç dayanımı, elastisite modülü, ultrases geçiş hızı ve yüzey direnci özellikleri incelenmiştir. Ayrıca farklı su/çimento oranları arasındaki ilişkilerde ortaya konulmuştur. Sonuç olarak yüksek performanslı geri dönüştürülmüş sıvı kristal cam betonu' nun yüzey direnci ve ultrases geçiş hızının referans betonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiş ve farklı su/çimento oranlarının beton basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu istatistiksel açıdan ortaya konulmuştur.

Ayan ve diğ. (2011) tarafından yapılan bu çalışmada, Taguchi istatistiksel deney tasarımı kullanılarak yüksek dayanımlı betonda parametre optimizasyonu yapılmıştır. Taguchi'nin kesirli faktör tasarımı ile 27 deney sonucunda 5 faktörün beton dayanımına nasıl etki ettiği ve optimum faktörleri ortaya konulmuştur. Sonuç olarak kür süresi, kür şekli, bağlayıcı tipi, çelik tel miktarı ve bağlayıcı oranı faktörlerinin 3 düzeyli tasarımı ile en uygun beton tasarım dizaynı oluşturulmuş ve basınç dayanımı optimizasyonu yapılmıştır.

2.6. HARMANLAMA PROBLEMİ VE ÖRNEK UYGULAMALAR

Harmanlama problemi madencilik, rafineri, gıda sanayi, kimya sanayi ve metal sanayi gibi süreç tipi üretim yapan kurumlarda sıkça karşılaşılan bir sorundur. Harmanlama genel olarak ürüne değer katan girdilerin karıştırılması şeklinde tanımlanabilir. İşletme mevcut kaynaklarını son ürünün şartlarını karşılayacak şekilde karıştırarak üretim sürecini işletmektedir (Sakallı, 2010).

Harmanlama bir çok pratik çözümde uygulanan yaygın bir prosestir (Sarker ve Newton, 2008). Harmanlama problemlerinin çözümünde çeşitli optimizasyon teknikleri uygulanmaktadır (Furman ve Pardalos, 2009). Dikkat edilmesi gereken konu karışımın en az maliyetle hazırlanmasıdır. Harmanlama problemi bu sorunun çözülmesi için geliştirilmiş özel bir doğrusal modeldir. Genellikle harmanlama problemleri maliyet optimizasyonuna dayalı doğrusal programlama modelleriyle çözülmektedir (Dutta ve Fourer, 2001).

Harmanlama problemleri tekli ve çoklu karışım olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Tekli harmanlama modeli sadece bir harman için en iyi karışımı bulmayı hedeflemektedir. Çoklu harmanlama modeli ise birden fazla harmanın eş zamanlı olarak optimizasyonunu hedeflemektedir. Harmanlama problemlerinin çözümünde genellikle doğrusal programlama tekniği kullanılmaktadır (Ashayeri ve diğ., 1994). Stigler'in (1945) diyet problemi üzerine yapmış olduğu çalışmadan bu yana literatüre girmiş birçok harmanlama problemi çalışması mevcuttur.

Stigler (1945) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal programlama kullanılarak besin harmanlama problemi çözülmüştür. Bir insanın sağlık açısından günlük tüketmesi gereken besin miktarları kısıt olarak modelde kullanılmış ve amaç fonksiyonu olarak minimum maliyet seçilmiştir. Sonuç olarak iki farklı yıl için minimum maliyeti sağlayan model oluşturulmuş ve hangi besinden ne kadar alınması gerektiği belirlenmiştir.

Charnes ve diğ. (1952) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal programlama kullanılarak motor yağı karışım dizaynı yapılmıştır. Bu kapsamda 3 farklı tür motor

yağı için bunların üretiminde kullanılan 4 çeşit bileşenin harmanlama optimizasyonu yapılmıştır. Maliyetin minimize edildiği harmanlama modeli sonucunda verilen kısıtları sağlayan en uygun harman grupları elde edilmiş ve üretim maliyeti minimize edilmiştir.

Prabhakar (1968) tarafından yapılan bu çalışmada, rafinerilerdeki karışım problemlerinin doğrusal programlama tekniği ile nasıl çözülebileceği ortaya konulmuştur. Bu çalışmaya göre rafinerilerde uç ürün elde edebilmek için hammaddelerin öncelikle gruplandırılması daha sonra karışım stoklarının hazırlanması ve en sonunda ürünlerin elde edilmesinin gerektiği vurgulanmıştır. Tüm bu işlemlerin doğrusal programlama tekniği ile matematiksel çözüm modeli gösterilmiştir. Daha sonra sayısal bir örnek bilgisayarda modellenmiş ve çözümü yapılmıştır. Sonuç olarak doğrusal programlamanın karışım problemlerinde başarılı bir şekilde uygulandığı vurgulanmıştır.

Wilson ve Willis (1985) tarafından yapılan bu çalışmada, harmanlama probleminde doğrusal programlama kullanılarak çözüm yapılmıştır. Amaç fonksiyonunun minimizasyonu olan bu problemde yem sanayinde kullanılan hammaddeler harmanlanmış ve en uygun çözüm bulunmuştur.

Kock ve Sinclair (1987) tarafından yapılan bu çalışmada, mikro bilgisayarlar yardımıyla harmanlama problemlerinin çözülebilirliği ortaya konulmuştur. Doğrusal programlama kullanılarak kurulan model mikrobilgisayarlar yardımıyla çözülmüş ve en uygun karışım değerlerinin belirlenebildiği vurgulanmıştır.

Glen (1988) tarafından yapılan bu çalışmada, tarımda kullanılan böcek ilaçlarının bir harmanlama modeli yapılmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu minimize edilip tüm kısıtlarında sağlandığı bir çözüm bulunmuş ve ilaç firmaları için ortaya konulmuştur.

Beale ve diğ. (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal olmayan programlama kullanılarak 4 farklı ergitme ocağında üretilen sıvı demirin karışım optimizasyonu yapılmıştır. Buna göre oluşturulan modelle ergitme ocağına beslenen malzemenin kimyasal bileşimleri optimize edilmiş ve hangi malzemedен ne oranlarda besleneceği belirlenmiştir.

Ashayeri ve diğ. (1994) tarafından yapılan bu çalışmada, kimyasal böcek ilacı üreten bir firma için harmanlama optimizasyonu çalışması yer almaktadır. 2 farklı tip kimyasal madde üreten firma için amaç fonksiyonu toplam maliyet olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak karma tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak yapılan çözümün etkili sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Shammari ve Dawood (1997) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal programlama modeli kullanılarak boya üretimi yapan bir fabrikada harmanlama optimizasyonu yapılmıştır. Çoklu harmanlama ile farklı 29 hammaddenin belirli kısıtlar dahilinde harmanlaması yapılmış ve maliyetin minimum olması amaçlanmıştır. Sonuç olarak maliyeti minimize eden uygun harmanlama modelleri oluşturulmuştur.

Dutta ve Fourer (2001) tarafından yapılan bu çalışmada, matematik programlama tekniklerinin çelik endüstrisinde 1958' den beri kullanıldığından bahsedilmiş ve bu zamana kadar bu konuda birçok çalışmanın yapıldığı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalar özetlenerek modelin türüne, ürün karışım optimizasyonuna ve harmanlama şekline göre gruplara ayrılmıştır.

Mendez ve diğ. (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, yağ rafineri operasyonlarında karma tamsayılı doğrusal programlama ile harmanlama optimizasyonu yapılmıştır. Bu harmanlama optimizasyonu simultane olarak planlanmış ve doğrusal olmayan parametreler basit denklemlerle bu modelde çözümlenmiştir. Amaç fonksiyonu olarak maliyetin minimizasyonu seçilen modelin hızlı ve kolay çözümlenmesi bakımından kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Akınç (2008) tarafından yapılan bu çalışmada, harmanlama problemlerinin doğrusal programlama çözümleri sırasında duyarlılık analizinde yaşanan sorunlar belirtilmiştir. Bu çalışmaya göre oluşturulan modelde kullanılan kısıtların harmanlama problemindeki farklı işlem yöntemleri nedeniyle duyarlılık analizinde ele alınamadığı bunda çözümün kısıtlara göre değerlendirilmesi esnasında sorunlar çıkardığı vurgulanmıştır. Bu nedenle harmanlama problemindeki işlemlerin basit matematiksel katsayılarla değiştirilmesi ve böylece kısıtlarında duyarlılık analizinde değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur.

Sakallı ve Birgoren (2009) tarafından yapılan bu çalışmada, doğrusal programlama kullanılarak pirinç karışım dizaynı yapılmıştır. Maliyetin minimizasyonunun hedeflendiği bu çalışmada çoklu ve tekli harman modelleri oluşturulmuş ve çözümlenmeleri yapılmıştır. Ayrıca pirinç endüstrisinin kullanımına yönelik Microsoft Excel tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde, doğrusal programlama modeli kullanılarak oluşturulan harmanlama modelinin pratik kullanımı amaçlanmıştır.

2.6.1 Madencilikte Harmanlama Problemi ve Örnek Uygulamalar

Madencilik sektörü açısından bakıldığında 1960' dan günümüze kadar birçok optimizasyon tekniği, maden planlama ve yönetimi konusunda ortaya çıkan problemlerin çözümünde uygulanmıştır. Bu uygulamalardan bazıları; rezerv hesaplama, açık ocak şev stabilitesi, ocak dizaynı, operasyon maliyetleri, üretim planlama, ekipman seçimi, rehabilitasyon süreçleri, nakliyat ve harmanlama olarak sayılabilir (Cacetta, 2007; Goodwin ve diğ., 2006)

Toklu (2005) tarafından yapılan bu çalışmada, agregaların boyutları dikkate alınarak bir harmanlama optimizasyonu yapılmıştır. Agregada boyut dağılımı probleminin birçok metotla çözülebildiği ve bu metotlar arasında grafik metodu ve ileri bilgisayar metotlarından doğrusal olmayan programlama ve dinamik programlama gibi metotlarının da olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ise çok amaçlı optimizasyon metodu ve genetik algoritma kullanılarak tane boyut dağılımına göre en uygun agrega harmanı oluşturularak amaç fonksiyonu olarak maliyetlerin minimizasyonu belirlenmiş ve bu metotlarla en uygun agrega harman modeli oluşturulmuştur.

Easa ve diğ. (1985-a) tarafından yapılan bu çalışmada, agrega granülometrisi deterministik ve stokastik yöntemlerle optimize edilmiştir. Deterministik olarak kuadratik ve doğrusal yöntem kullanmış ve çözümleri karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak ortalama granülometri eğrisinden sapma miktarı ve maliyet minimizasyonu belirlenmiştir. Ayrıca aynı model stokastik yöntemlerle de denenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak deterministik yöntemlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği fakat doğrusal yöntemin uygulanmasının daha basit olduğundan ve

daha iyi sonuçlar verdiği için tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca ileriki çalışmalarda kısıt sayılarının artırılarak yönteme dahil edilebileceği ortaya konulmuştur.

Easa ve diğ. (1985-b) tarafından yapılan bu çalışmada, özellikle asfalt agregası için granülometri, maliyet, incelik modülü ve plastik limiti dikkate alınarak kuadratik modelleme ile karışım algoritması hazırlanmış ve çözümlenmeleri yapılmıştır. Buna göre karışımda kullanılacak farklı boyutlardaki agrega ürün gruplarının ne kadar oranda kullanılacağı belirlenmiştir. Minimum maliyet amaçlanarak yapılan çalışmada kısıt olarak incelik modülü, granülometri ve plastiklik limiti kullanılmıştır. Oluşturulan modelin kullanıcılar tarafından da istenildiği şekilde kullanılabilmesi amacıyla doğrusal modele nasıl dönüştürüleceği gösterilmiş ve kısıtların ve agrega sayısının artırılarak ileriki çalışmalarda modelin modifiye edilebileceği vurgulanmıştır.

Qinghua ve diğ. (2010) tarafından yapılan bu çalışmada, GIS, GPS ve GPRS kullanarak cevher harmanlama için dinamik bir yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Doğrusal programlama mantığından faydalanılarak oluşturulan bu dinamik sistemle günlük cevher harmanlama planlaması ve ürün kalite kontrol prosesleri eş zamanlı olarak yapılabilmektedir. Yapılan deneylerle de sistemin doğru çalıştığı tespit edilmiştir. Oluşturulan sistemle hedeflenen amaçlar cevher kalitesini gerçek zamanlı olarak kontrol edebilmek, kısa periyotlarda rasyonel ve bilimsel bir cevher harmanlama planlaması otomasyonu oluşturabilmek ve cevher harmanlama için açık ocaktaki üretim ekipmanlarının rota, dağıtım ve yönetim faaliyetlerini optimum bir şekilde yürütebilmektir. Sonuç olarak dinamik yönetim sisteminin kullanılmasıyla cevher tenörünün stabilitesi sağlanmış ve cevherin kalitesinin devamlı kontrolü mümkün olmuştur. Ayrıca doğrusal programlamanın kullanılmasıyla cevher harmanlama sırasında kullanılacak hatalı karışım oranlarının önüne geçilmiş ve harmanlama sırasında insan etkisi en aza indirgenmiştir.

Liu ve Sherali (2000) tarafından yapılan bu çalışmada, Tayvan için önemli elektrik üretim merkezi olan bir termik santralde harmanlama optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu termik santrallerin kömür kaynakları farklı limanlardan gelmekte ve bu kömürlerin özellikleri çok değişkenlik göstermektedir. Liu ve Sherali Kömür kaynaklarının kalitesi, fiyatı ve kapasitesi, her termik santralin ihtiyaç duyduğu kömür

miktarı, çevresel kısıtlar, deniz nakliyatı sırasında kullanılan gemilerin kapasiteleri gibi kısıtlamaları göz önüne alarak optimum olarak hangi kaynaktan hangi termik santrale ne kadar kömür nakledileceğini bulmak için, karma tamsayılı programlama kullanarak çözüme gitmişlerdir. Problemin çözülmesinden sonra yönetim için pratik ve faydalı bir kömür harmanlama modeli oluşturulmuş ve çözümlenmesi yapılmıştır.

Yin ve diğ. (2000) tarafından yapılan bu çalışmada, Çin'deki bir termik santrale beslenen kömür malzemesinin harmanlama optimizasyonu doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılmış ve aralarındaki farklar karşılaştırılmıştır. Buna göre ilk olarak termik santrallere beslenen kömürlerde olması gereken özellikler ve sınır değerleri tanımlanmış ve daha sonra doğrusal programlama ve yapay sinir ağları tanıtılmıştır. Maliyetin minimize edildiği doğrusal programlama modelinde 8 farklı kömür 7 farklı kısıta göre ikili olarak harmanlama modeli kurulmuştur. Yine aynı amaç ve kısıtlara göre yapay sinir ağlarıyla da aynı model kurulmuş ve çözümü yapılmıştır. Bu çalışmaya göre yapay sinir ağlarıyla yapılan çözümün daha optimum sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Bunun nedeni olaraksa kömür harmanının kalitesini etkileyen bazı parametrelerin, kömür içerikleriyle doğrusal bir ilişkide olmadığı gösterilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan ilişki içerisinde olan bu parametreler belirtilmiş ve aralarındaki ilişki ortaya konulmuştur. Sonuç olarak ağırlıklı ortalama prensibine göre çalışan doğrusal programlamanın kömür harmanlamada kullanılmaması gerektiği nedenleriyle birlikte ortaya konulmuştur.

Kumral (2003) tarafından yapılan bu çalışmada, 4 farklı cevher kaynağından elde edilen ürünlerin mineral içeriklerine göre harmanlama optimizasyonu yapılmıştır. Amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu olarak belirlenmiş ve çok amaçlı benzetilmiş tavlama metodu ile model oluşturulmuştur. Modelde ayrıca şans kısıt programlama benzetilmiş tavlama ile beraber kullanılmıştır. Sonuç olarak stokastik modellerden olan çok amaçlı benzetilmiş tavlama metodunun deterministik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Pendharkar ve Rodger (2000) tarafından yapılan bu çalışmada, genetik algoritma kullanılarak kömür madenleri için ürün nakliyesi modellenmiş ve kömür kalitesi, maliyet ve çevresel sorunlar dikkate alınarak bir harmanlama optimizasyonu

geliştirilmiştir. Oluşturulan modelde 2 farklı kalitede kömür üreten madenle çalışılmış. 2 ara karışım noktası ve 2 tane alıcı belirlenmiş ve bunların ulaşım maliyetleri farklı nakliye yöntemlerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm bu parametrelerin genocop adı verilen genetik algoritma yöntemiyle çalışan bilgisayar programına girilmesiyle hangi madenden hangi alıcıya ne kadar oranda kömürün gönderileceği bulunmuştur.

Yeh, I.C. (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, yüksek dayanımlı beton üretimi açısından ürün karışım dizaynı yapılmıştır. Doğrusal olmayan programlama ve yapay sinir ağları kullanılarak yapılan model sonucunda yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılacak en uygun ürün grupları belirlenmiştir.

Lee ve Olson (1983) tarafından yapılan bu çalışmada, asfalt üretiminde kullanılacak agreganın karışım dizaynı hem deterministik hem de stokastik yaklaşımlar kullanılarak yapılmıştır. Maliyet minimizasyonu ve toplam bütçenin de belirli bir değeri aşmamasının amaçlandığı karışım modellerinde agrega tane boyutları da kısıt olarak kullanılmıştır. Ayrıca toplam bütçede, başka bir amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Deterministik modelde doğrusal hedef programlama, stokastik modelde ise stokastik hedef programlama yöntemleri ile çözümlenmeler yapılmış ve sonuç olarak doğrusal programlamanın amaç fonksiyonu açısından daha iyi sonuçlar verdiği ancak stokastik hedef programlamanın da kısıt değerleri açısından daha kesin sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

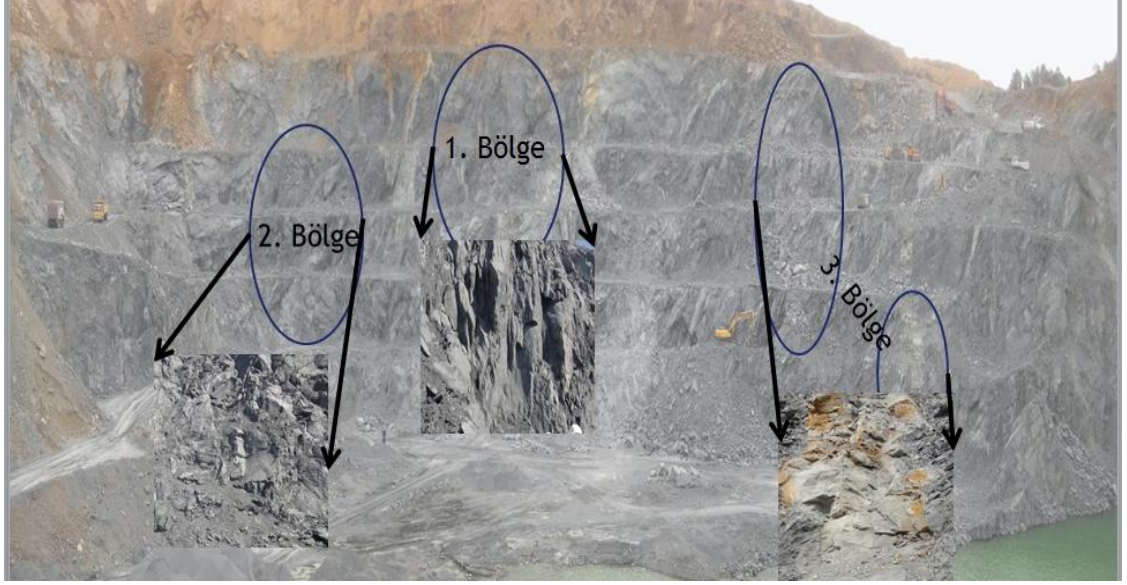
3.1. ÇALIŞMA SAHALARI HAKKINDA GENEL BİLGİ

Bu çalışma kapsamında İstanbul Cendere bölgesinde, beton üretimine yönelik kumtaşı agregası üreten ve İstanbul Çatalca bölgesinde yine beton üretimine yönelik kireçtaşı agregası üreten taşocakları çalışma sahaları olarak belirlenmiştir. Bu sahalarda farklı formasyonların gözlenmesi ve formasyon değişiminin izlenmesi bu sahaların seçilme nedenidir. Bu sahalarda harmanlama çalışmaları için daha uygun koşullara sahiptir. Her iki taşocağında da üretilen agrega malzemesi farklı formasyonlardan olup farklı özelliklere sahiptir. Çalışılan sahalara ait jeoloji ve üretime ait bilgiler gerek yerinde yapılan çalışmalar gerekse önceki çalışmalar yardımıyla belirlenmiştir.

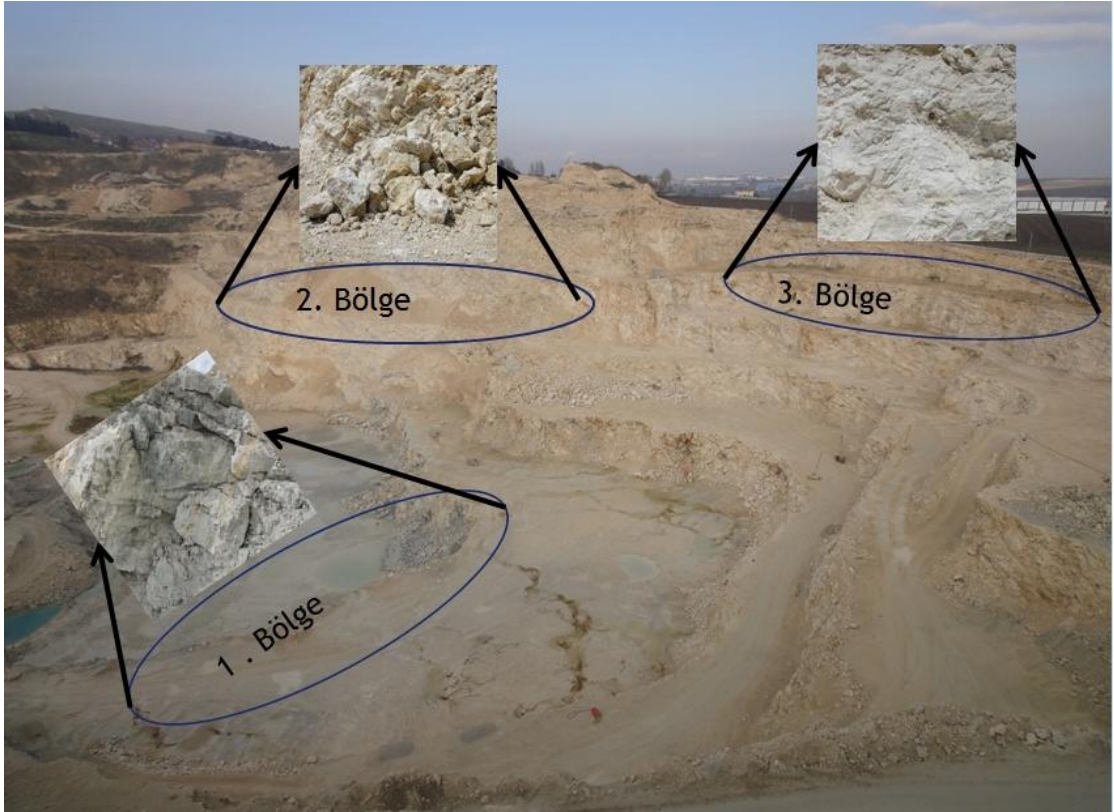
Söz konusu çalışma sahalarında kaya birimlerinin sert ve sağlam yapısı dolayısıyla kazı işlemi delme-patlatma yöntemiyle yapılmaktadır. Patlatma işlemini takiben ekskavatörler vasıtasıyla kamyonlara yüklenen parçalanmış malzeme, kırma-eleme tesisine getirilerek endüstrinin kullanımına uygun boyutlara indirilir.

3.2. SAHA ÇALIŞMALARI

Çalışma kapsamında Cendere ve Çatalca bölgeleri taşocaklarında yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, farklı formasyonda olduğu düşünülen 3'er farklı bölge belirlenmiştir ve bu bölgelerden örnek kayaç numuneleri alınmıştır. Bu bölgeler Cendere bölgesi taşocağı için Şekil 3.1 ve Çatalca bölgesi taşocağı içinse Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.1: Cendere bölgesi taşocağı numune alınan bölgeler



Şekil 3.2: Çatalca bölgesi taşocağı numune alınan bölgeler

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Söz konusu çalışma sahalarında belirlenen 6 farklı bölgeden blok halinde kayaç numuneleri alınmış ve laboratuvara getirilen numuneler üzerinde kayaç tanımlarının yapılabilmesi amacıyla elementel ve petrografik analizler yapılmıştır. Daha sonra farklı bölgelerdeki kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Kaya mekaniği deneylerinden sonra söz konusu sahalardan alınan blok halindeki kayaçlar laboratuvar ortamında agrega ürün boyutuna getirilmiş ve beton agregası uygunluk deneyleri yapılmıştır. Son olarak laboratuvar ortamında hazırlanan agrega ürün grupları kullanılarak beton numuneler hazırlanmış ve beton deneyleri yapılmıştır.

3.3.1. Elementel Analiz

Sahalardan alınan numuneler üzerinde X-ışınları floresan (XRF) spektrofotometresi cihazı kullanılarak, elementel analizler yapılmış ve numunelerin kimyasal içerikleri belirlenmiştir.

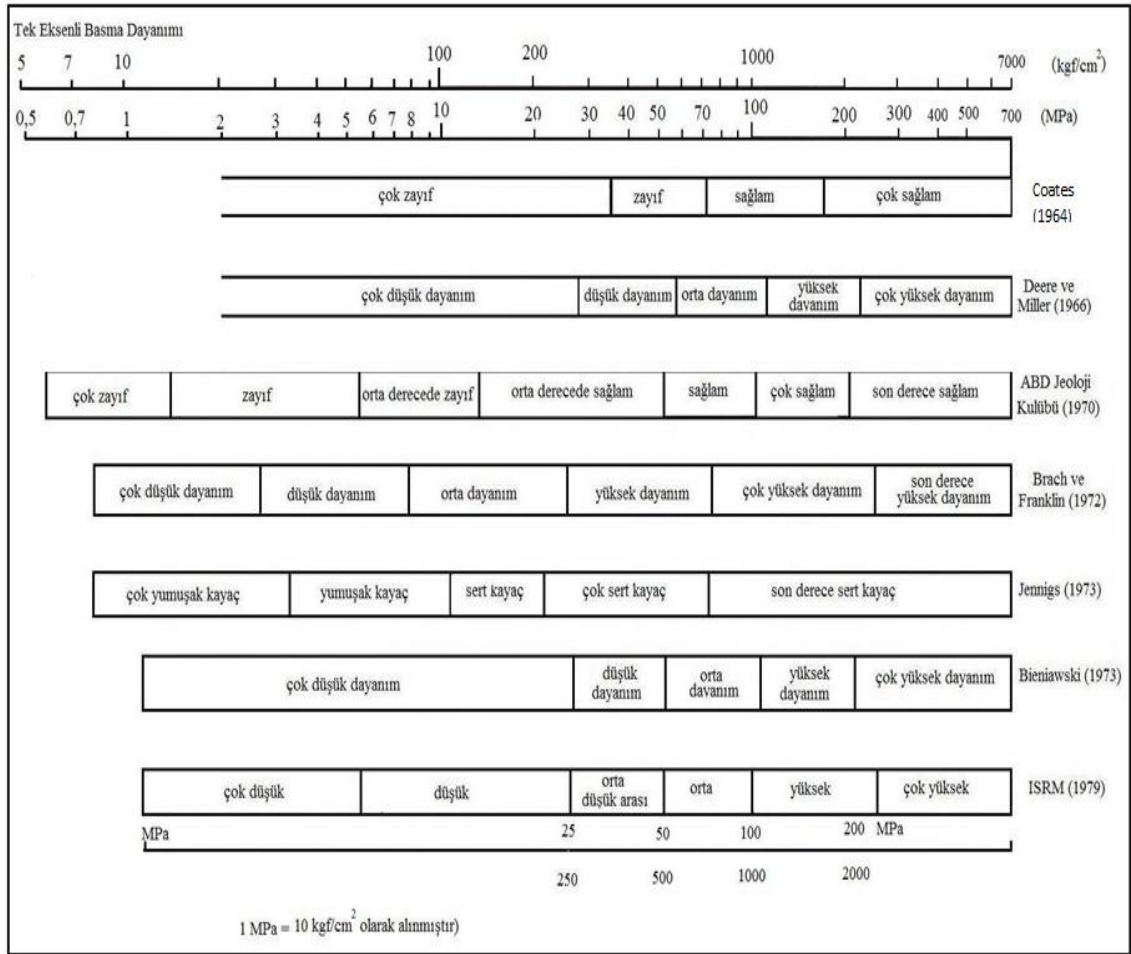
X-ışınları floresan (XRF) spektroskopisi elementel analiz ve kimyasal analiz amacıyla kullanılan bir yöntemdir. X-ışınları ile bombardımana tabi tutulan numuneden elde edilen karakteristik x-ışınları analiz edilerek numunenin kimyasal analizi yapılır.

3.3.2. Petrografik Analiz

Çalışma kapsamında belirlenen taşocaklarının farklı bölgelerinden örnek numuneler alınmış ve bu numunelerden alınan ince kesitler üzerinde yapılan petrografik analizler sonucunda kayaç tipleri belirlenmiştir.

3.3.3. Kaya Mekaniği Deneyleri

Beton üretiminde kullanılan agregaların üretildiği kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenmesi betonun mekanik özellikleri açısından önem arz etmektedir. Agregada dayanıklılığının betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinen bir gerçektir. Şekil 3.3’de tek eksenli basma dayanımına göre çeşitli kayaç sınıflama sistemleri verilmiştir (Bieniawski, 1984).



Şekil 3.3: Tek eksenli basma dayanımına göre kayaç sınıflama sistemleri (Bieniawski, 1984)

Söz konusu çalışma sahalarından alınan farklı formasyonlardaki kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla numuneler üzerinde nokta yükleme, tek eksenli basma ve endirekt çekme dayanım deneyleri yapılmıştır.

Cendere bölgesi 1. 2. ve 3. bölgeler için tek eksenli basma dayanımı deneyi her bölge için en az 30'ar karot numunesi üzerinde yapılmıştır. Çekme dayanımının belirlenmesinde ise endirekt çekme dayanımı deneyi yapılmış yine her bölge için en az 30'ar örnek kullanılmış ve ortalamaları alınmıştır. Çatalca bölgesi taşocağından alınan kayaç malzemesi yapısı dolayısıyla büyük boşluklar içermektedir. Tek eksenli basma ve endirekt çekme dayanımı deneylerinde bu boşlukların deney sonuçlarını etkilemesinin önüne geçilmesi amacıyla, deneyin daha küçük boyutlarda numunelerle yapıldığı nokta yükleme deney yöntemi Çatalca bölgesi 1. 2. ve 3. bölgelerin tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenmesinde tercih edilmiştir. Her bölge için en az 100 örnek üzerinde deneyler yapılmış ve ortalama sonuçları verilmiştir.

3.3.3.1. Nokta Yükleme Deneyi

ASTM D5731 (2008) standardına göre yapılan bu deney, kayanın özelliklerini belirlemek, sınıflamasını yapmak ve kayanın doğal durumunu daha iyi anlamak için yapılan indeks deneylerinden biridir. Deney sonuçlarından dolayı olarak kaya maddesinin basma ve çekme dayanımı da hesaplanabilmektedir.

Çatalca bölgesi taşocağından alınan 3 farklı kayaç grubunun tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla nokta yükleme dayanım deneyi yapılmıştır. Çalışma kapsamında Çatalca bölgesi taşocağından alınan kayaç blokları, boyutları 30 ila 80 mm arasında olacak şekilde çekiç yardımıyla kırılmış ve her bölgeyi temsil eden 100 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Her bir deney numunesi için bulunan sonuçların ortalama değerleri alınarak her bölgenin tek eksenli basma ve çekme dayanım değerleri bulunmuştur.

3.3.3.2. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Cendere bölgesi taşocağından alınan 3 farklı kayaç grubunun tek eksenli basma dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla TS 2028 (1975) deney standardına göre tek eksenli basma dayanımı deneyi yapılmıştır.

TS 2028 deney standardına göre yapılan bu deney, kayaçlardan alınan silindir biçimli numunelerin tek eksenli yükleme ile basma dayanımlarının tayinini kapsar. Basma dayanımı, üzerlerine uygulanan basma yüklerine karşı kayaların kırılmadan önceki, dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Bu deneyde amaç, düzgün geometrik biçimli kaya örneklerinin (silindir veya prizma şeklinde), tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altındaki dayanım sınırının bulunmasıdır. Kayaların basma dayanımı, hem sınıflama hem de tasarım için gereklidir.

Deneyde kullanılan silindir biçimli Karot örneklerinin boy/çap oranlarının 2,0-2,5 arasında olması gerekmektedir (Şekil 3.4). Deney numuneleri hidrolik presin alt tablasının üzerine yerleştirilir ve 0,3 MPa/s 'lik sabit bir yükleme hızıyla numunelerin kırılması sağlanır (Şekil 3.5). Numunenin tek eksenli basma dayanımı, kırılma sırasında elde edilen en büyük yük değerinin hesaplanan enkesit alanına bölünmesi ile hesaplanır.



Şekil 3.4: Tek eksenli basma dayanımı deneyinde kullanılan karot numuneler



Şekil 3.5: Tek eksenli basma dayanımı deneyi sonucunda kırılan numunelerden bir kısmı

Sahada gözlenen ve bölümlere ayrılan formasyonlardan alınan karot numunelerle yapılan tek eksenli basma dayanımı deneyleri sonucunda, malzemenin tek eksenli basma dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Her formasyondan en az 30 adet karot numunesi alınmış ve her bir deney numunesi için bulunan sonuçların ortalama değeri alınarak her bölgenin tek eksenli basma dayanım değerleri bulunmuştur.

3.3.3.3. Çekme Dayanımının Dolaylı Metotla Tayini Deneyi (Brazilian)

Beton üretiminde agrega çekme dayanımı beton malzemenin çekme dayanımını büyük ölçüde etkilediğinden oldukça önem arz eder. Agregaların çekme dayanımı arttıkça bu agregalardan üretilen beton malzemelerinde çekme dayanımı artmaktadır. Cendere bölgesi taşocağından alınan 3 farklı kayaç grubunun tek eksenli çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla TS 7654 (1989) deney standardına göre kayaçların çekme dayanımının dolaylı metotla tayini deneyi yapılmıştır.

Sahada gözlemlenen üç farklı formasyondan alınan numunelere yapılan endirekt çekme dayanımı deneyi sonucunda, malzemenin maksimum çekme dayanımı değeri hesaplanmıştır. Her formasyondan en az 30 adet karot numunesi alınmıştır (Şekil 3.6).

Her bir deney numunesi için bulunan sonuçların ortalama değeri alınarak her bölgenin tek eksenli çekme dayanım değeri bulunmuştur.



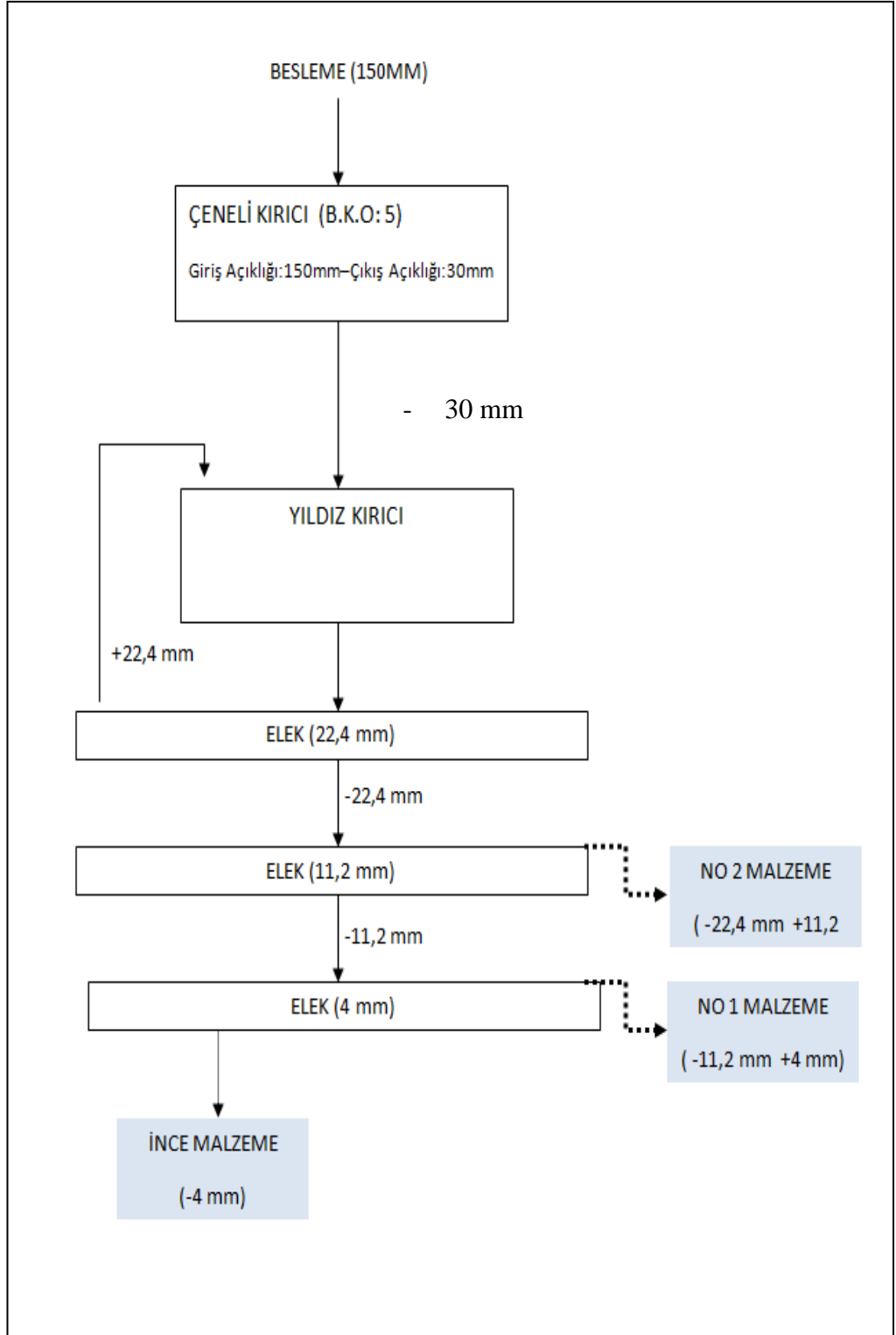
Şekil 3.6: Endirekt çekme dayanımı deneyinde kullanılan numuneler

3.3.4. Agrega Deneyleri

Söz konusu taşocaklarından alınan agrega numunelerinin laboratuvarında uygun boyutlara getirilebilmesi amacıyla bir akım şeması hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında (boyut küçültme-sınıflandırma) laboratuvar ortamında üretilecek olan agrega malzemeleri özelliklerinin boyut ve şekil olarak taşocaklarından üretilen agrega malzemeleri özelliklerine yakın olması planlanmıştır. Laboratuvarında yapılan bu işlem sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, beton kullanımında önemli parametrelerden biri olan agrega yassılık değerlerinin taşocaklarından üretilen agrega malzemeleriyle farklılıklar göstermesidir. Bunun en büyük nedeni boyut küçültme işlemi sırasında seçilen kırıcı tipidir. Sadece çeneli kırıcı kullanımıyla agrega malzemelerinin yassılık değerlerinin oldukça yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında çeneli kırıcıya ek olarak yıldız kırıcı kullanılmıştır. Çekiçli kırıcılara benzer özellikte olan bu kırıcıların, kırma ekipmanları yıldız biçiminde ve giriş ve çıkış açıklıkları taşocaklarından üretilen agrega ürün grupları boyutlarına göre tasarlanmıştır.

İstanbul Çatalca bölgesi ve Cendere bölgesi taşocaklarının farklı bölgelerinden alınan blok kayaç numuneleri laboratuvar ortamında kırma-eleme işlemleri sonucu agrega ürün

gruplarına ayrılmıştır. Farklı kayalardan yapılan üretimlerde aynı akım şeması kullanılmıştır. Öncelikle sahadan alınan blok numuneler çekiç yardımıyla yaklaşık 150 mm boyutuna getirilmiştir. Şekil 3.7'den de görüleceği üzere birincil kırıcı olarak çeneli kırıcı tercih edilmiş ve çeneli kırıcı işlemini takiben malzeme yıldız kırıcıya beslenmiştir. Çeneli kırıcıya beslenen malzeme yaklaşık 150 mm ve kırıcı çıkış açıklığı 30 mm boyutlarındadır. Yıldız kırıcı çıkışı malzeme 22,4 mm boyutlu elek kullanılarak elenmiş ve elek üstü malzeme tekrar yıldız kırıcıya beslenmiştir. 22,4 mm boyut altı malzeme 11,2 mm boyutlu eleğe beslenmiş ve 11,2 mm elekten geçen malzeme 4 mm boyutlu eleğe beslenmiştir. Eleme işlemi sonucunda 0-4 mm (No 0), 4-11,2 mm (No 1) ve 11,2-22,4 mm (No 2) boyut aralıklarına sahip agrega ürün grupları elde edilmiştir. Elek boyutları belirlenirken standartlar ve literatürde kullanılan beton agregası boyut dağılımları dikkate alınmıştır.



Şekil 3.7: Kırma – Eleme işlemleri sırasında kullanılan akım şeması

Kırma- eleme işlemleri sonucunda istenilen agrega ürün grubu boyutuna getirilen farklı formasyonlardaki agregalar üzerinde ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen betona uygunluk deneyleri yapılmıştır. Tablo 3.1’de çalışma kapsamında yapılan deneyler ve ilgili standartları verilmiştir.

Tablo 3.1: Beton agregası uygunluk deneyleri

Deney adı	İlgili Standartlar
Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deneyler	
Darbe dayanımı değerinin belirlenmesi deneyi	BS 812-112
Kırılma değerinin belirlenmesi deneyi	BS 812-110
Parçalanma direncinin belirlenmesi (Los Angeles) deneyi	TS EN 1097-2
Aşınmaya karşı direncin belirlenmesi (Mikro Deval) deneyi	TS EN 1097-1
Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini deneyi	TS EN 1097-6
Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini deneyi	TS EN 1097-3
Birim ağırlık tayini deneyi	TS 3529
Geometrik Özelliklerini Belirleyen Deneyler	
Tane büyüklüğü dağılımı tayini (eleme metodu) deneyi	TS EN 933-1
Tane şekli tayini yassılık endeksi deneyi	TS EN 933-3
Çok ince malzeme içeriği deneyi	TS EN 933-1
İnce tanelerin tayini - kum eşdeğeri deneyi	TS EN 933-8
İnce malzeme tayini - metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9
Kimyasal Özelliklerini Belirleyen Deneyler	
Organik madde tayini deneyi	TS EN 1744-1
Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi	ASTM C1260

3.3.4.1. Agrega Darbe Dayanımı Değerinin Belirlenmesi Deneyi

BS 812-112 standardına göre yapılan bu deney, agregaların darbeli yüklere karşı direncinin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Agrega darbe dayanımı değeri ne kadar küçük ise agreganın mekanik etkilere o derece dayanımlıdır sonucu çıkarılır. BS 812-112 standardında, darbe değeri %30'dan yüksek olan agregaların beton üretiminde kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir.

3.3.4.2. Agreganın Kırılma Değerinin Belirlenmesi Deneyi

Agreganın kırılma katsayısı deneyi, BS 812-110 standardına göre kademeli olarak uygulanan basınç kuvveti altında agreganın kırılmaya karşı göstereceği dayanımı ölçmek için yapılır.

Agreganın kırılma dayanımı değeri ne kadar küçük ise agreganın mekanik etkilere o derece dayanımlıdır sonucu çıkarılır. BS 812-110 standardında, betonun mekanik etkilere karşı dayanım gösterebilmesi için darbe dayanımı değerinin %30' dan daha düşük değerlerde olması gerektiği belirtilmiştir.

3.3.4.3. Parçalanma Direncinin Belirlenmesi (Los Angeles) Deneyi

Los Angeles deneyi, TS EN 1097-2 standardına göre agregaların parçalanmaya karşı dayanıklılığını tespit etmek için yapılır. Beton yapımında kullanılan agregalar fiziksel etkilerden dolayı kırılmaya ve parçalanmaya maruz kalırlar. Bu yüzden agregaların parçalanmaya dayanıklı olması istenir. Los Angeles katsayısı değerinin düşük olması malzemenin parçalanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Tablo 3.2'de TS 706 EN 12620+A1 standardına göre 500 devir için Los Angeles katsayıları ve kategorileri verilmiştir.

Tablo 3.2: En büyük Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620)

Los Angeles Katsayısı	Kategori (LA)
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
> 50	LA _{Beyan}
Serbest	LA _{NR}

Tablo 3.2’de verilen kategoriler agregaya ait Los Angeles katsayısının, bir değerler aralığı veya bir sınır değeri olarak ifade edilir. Bu değer LA_{Beyan} kategorisi olarak beyan edilir.

3.3.4.4. Aşınmaya Karşı Direncin Belirlenmesi (Mikro Deval) Deneyi

Micro deval deneyi, TS EN 1097-1 standardına göre agregaların aşınmaya karşı direncinin ölçülmesini sağlar. Beton yapımında kullanılan agregalar fiziksel etkilerden dolayı aşınmaya maruz kalırlar. Bu yüzden agregaların aşınmaya dayanıklı olması istenir. Micro Deval katsayısı değerinin düşük olması malzemenin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Tablo 3.3’ de TS 706 EN 12620+A1 standardına göre Micro-Deval katsayıları ve kategorileri verilmiştir.

Tablo 3.3: En yüksek aşınmaya karşı direnç değerlerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620)

Mikro-Deval Katsayısı	Kategori (M_{DE})
≤ 10	M_{DE10}
≤ 15	M_{DE15}
≤ 20	M_{DE20}
≤ 25	M_{DE25}
≤ 35	M_{DE35}
> 35	$M_{DEBeyan}$
Serbest	M_{DENR}

Tablo 3.3’de verilen kategoriler agregaya ait Micro Deval katsayısının, bir değerler aralığı veya bir sınır değeri olarak ifade edilir. Bu değer $M_{DEBeyan}$ kategorisi olarak beyan edilir.

3.3.4.5. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini Deneyi

Tane yoğunluğu ve su emme deneyi, agregalarda tane yoğunluğu (birim hacim kütlesi) ve su emme oranının tayinini sağlar. Bu deneyin yapılmasında TS EN 1097-6 standardı kullanılır.

Tane yoğunluğu ile kayaç dayanımı arasında bir ilişki olduğu bilinen bir gerçektir. Ancak betonda kullanım açısından agrega tane yoğunluğu ile ilgili standartlarda belirtilen bir sınır değeri bulunmamaktadır. Su emme değerinin ise %1’den küçük olduğu durumlarda beton karışımına olan etkisi çok az olabilir. Ancak su emme değeri

%3'ten büyük olduğu durumlarda karışım üzerindeki olumsuz etkisi büyük olabilir (Alexander ve Mindness, 2005).

3.3.4.6. *Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini Deneyi*

TS EN 1097-3 standardına göre yapılan bu deney, kuru agregaların gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin belirlenmesini sağlar. Betonda kullanım açısından gevşek yığın yoğunluğu ile ilgili standartlarda belirtilen bir sınır değeri bulunmamaktadır.

3.3.4.7. *Birim Ağırlık Tayini Deneyi*

Birim ağırlık deneyi; TS 3529 standardına göre agreganın gevşek ve sıkışık olarak kapladığı hacmi belirlemek için yapılır. Birim ağırlık deneyi gevşek ve sıkışık olmak üzere iki çeşittir. Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığının BS 812 (1975) standardında 1,2 – 1,8 Mg/m³ arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Betonda kullanım açısından birim ağırlık ile ilgili TS 3529 standardında belirtilen bir sınır değeri bulunmamaktadır.

3.3.4.8. *Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini (Eleme Metodu) Deneyi*

TS EN 933-1 standardına göre yapılan bu deney, elek analizi ile agregaların tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi için verilen metodu kapsar. En büyük agrega tane boyutuna göre deney numunesi miktarı seçilir ve uygun yöntemlerle azaltılır.

Dağılım özelliğini belirlemede kullanılan yöntemlerden biri olan incelik modülü, standart elekler üzerine kalan tane boyutlarının kümülatif olarak toplamından alt limitin (63 µm veya 75 µm) çıkarılmasıyla elde edilen sayının 100'e bölünmesiyle elde edilir. Kural olarak aynı incelik modülüne sahip tane boyut dağılımları yakın oranlarda karışım suyuna ihtiyaç duyacaklardır. Öte yandan karışım suyu ihtiyacı sadece ortalama tane boyuna bağlı olmamakta ve daha çok tane boyut dağılımındaki 300 µm altı gibi daha ince malzemelerin yüzdesi ile kontrol edilmektedir. ABD beton pratiğinde ince agrega için incelik modülünün 2,3 değerinden küçük olması ve kum kaynakları arasındaki incelik modül farklarının 0,2'den büyük olması istenmez (ASTM C33). Tablo 3.4'de ince agrega için incelik modülü sınıfları verilmektedir (Alexander ve Mindness, 2005).

Tablo 3.4: Agrega incelik modülü sınıfları (Alexander ve Mindness, 2005)

İncelik Modülü	İncelik Durumu
<1	Çok ince
1 – 2	İnce
2 – 2,9	Orta
2,9 – 3,5	İri
>3,5	Çok İri

3.3.4.9. Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi Deneyi

Yassılık indeksi deneyi, TS EN 933-3 standardına göre agrega içindeki yassı malzeme oranını tespit etmek için yapılır.

Agregadaki yassı malzeme oranının çok olması betonda pürüzlü bir yüzeye ve su ihtiyacının artmasına neden olur. Karayollarında ise yassı agrega oranının çok olması yolun dayanım özelliklerinin düşük olmasına sebep olur. 8 mm' den büyük agrega tanelerinde kusurlu tanelerin oranı % 50'den fazla olmamalıdır. Bunun için agregaların tane boyutları mümkün olduğunca orantılı olmalıdır. Tablo 3.5'de TS 706 EN 12620+A1 standardına göre yassılık endeksleri ve kategorileri verilmiştir.

Tablo 3.5: En büyük yassılık endeks değerlerine göre kategoriler (TS 706 EN 12620+A1)

Yassılık İndeksi	Kategori (FI)
≤ 15	FI ₁₅
≤ 20	FI ₂₀
≤ 35	FI ₃₅
≤ 50	FI ₅₀
>50	FI _{Beyan}
Serbest	FI _{NR}

Tablo 3.5'de verilen kategoriler agregaya ait yassılık indekslerinin, bir değerler aralığı veya bir sınır değeri olarak ifade edilir. Bu değer FI_{Beyan} kategorisi olarak beyan edilir.

3.3.4.10. Çok İnce Malzeme İçeriği Deneyi

Çok ince madde oranı deneyi, TS EN 933-1 standardına göre agreganın yıkanması sonrasında içindeki kil ve silt gibi yabancı maddelerin miktarını belirlemek amacıyla yapılır.

TS EN 933-1'e uygun olarak tayin edilmiş olan çok ince malzemenin muhtevası, Tablo 3.6'da belirtilen ilgili kategoriye uygun olarak beyan edilmelidir.

Tablo 3.6: Çok ince malzeme muhtevasının en yüksek değerlerine göre belirlenmiş kategoriler (TS 706 EN 12620+A1)

Agrega	0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde	Kategori (f)
İri Agregalar	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	f_{Beyan}
	Serbest	f_{NR}
Karışık Agregalar	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	f_{Beyan}
	Serbest	f_{NR}
İnce Agregalar	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	f_{Beyan}
	Serbest	f_{NR}

Tablo 3.6'da verilen kategoriler agregaya ait çok ince malzeme muhtevasının, bir değerler aralığı veya bir sınır değeri olarak ifade edilir. Bu değer f_{Beyan} kategorisi olarak beyan edilir.

3.3.4.11. İnce Tanelerin Tayini - Kum Eşdeğeri Deneyi

Kum eşdeğeri deneyi, TS EN 933-8 standardına göre ince agregalarda ve diğer boyut gruplarına dahil agregalarda, (0-2) mm aralığının kum eşdeğerinin tayini için kullanılır.

Beton kullanımı açısından kum eşdeğerliği değerinin yüksek olması betonun mekanik özelliklerini olumlu olarak etkilemektedir. Tablo 3.7'de kum eşdeğerliği için önerilen değerler verilmektedir (Durmuş ve diğ., 1988).

Tablo 3.7: Kum eşdeğerliği için önerilen değerler (Durmuş ve diğ., 1988)

Kum Eşdeğerliği Değeri (SE)	Agrega Niteliği
SE<60	Killi kum, rötre ve şişme tehlikesi var, kaliteli betonlarda kullanılmamalıdır
60< SE<70	Hafif killi kum, yaygın olarak kullanılan betonlarda kabul edilebilir.
70< SE<80	Temiz kum, düşük oranda ince kil içerdiğinden yüksek kaliteli betonlar için uygun olmaktadır.
SE>80	Çok temiz kum, ince kil yok denecek kadar az olduğundan bu durum betonun plastisitesinin azalmasına neden olmaktadır.

3.3.4.12. İnce Malzeme Tayini - Metilen Mavisini Deneyi

TS EN 933-9 standardına göre yapılan “Metilen Mavisini Adsorpsiyonu” metodu, ince agrega malzemesinin kil içeriği açısından beton üretiminde kullanımının uygun olup olmadığının belirlenmesinde kullanılır.

Metilen mavisini değeri yüksek olması ince agregada bulunan kil içeriğinin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda karma suyunun artması ve rötre çatlaklarına neden olduğundan betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Standartlarda betonda kullanım açısından metilen mavisini değeri ile ilgili bir sınır değeri bulunmamaktadır.

3.3.4.13. Organik Madde Tayini Deneyi

Agrega içerisindeki organik maddeler (çürümüş çeşitli bitki ve hayvansal artıklar v.b.) betonun sertleşmesini geciktirebilir veya önleyebilir. Agregada içerisinde yer alan organik maddeler beton kalitesini düşüren önemli etmenlerden bir tanesidir. Organik madde tayini deneyi ile genel olarak doğal agregada içinde betona zararlı olabilecek organik madde oranı tespit edilmektedir. Organik madde tayini deneyinde TS EN 1744-1 standardı kullanılmaktadır.

3.3.4.14. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

Bu deney, agrega malzemesinin betonda kullanımının alkali - silika reaksiyonları riski açısından değerlendirilebilmesi amacıyla ASTM C1260 deney standardına göre yapılır.

ASTM C1260 standardına göre toplam 16 gün süren deney sonucunda, genişleme yüzdeleri aşağıdaki şekilde değerlendirilir;

- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,10 değerinin altındaysa agregalar zararsız davranış göstermektedir.
- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,20 değerinin üstündeyse agregalar potansiyel olarak zararlı genleşme gösterirler.
- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,10 ile %0,20 değerinin arasındaysa agregalar, şantiye koşullarında hem zararlı hem de zararsız davranış gösterebilir. Bu sebeple, agregalar hakkında karara varmadan önce ek deneyler yardımıyla genleşmelerin sebebinin araştırılması ve ölçümlerin 28 güne kadar uzatılması önerilmektedir.

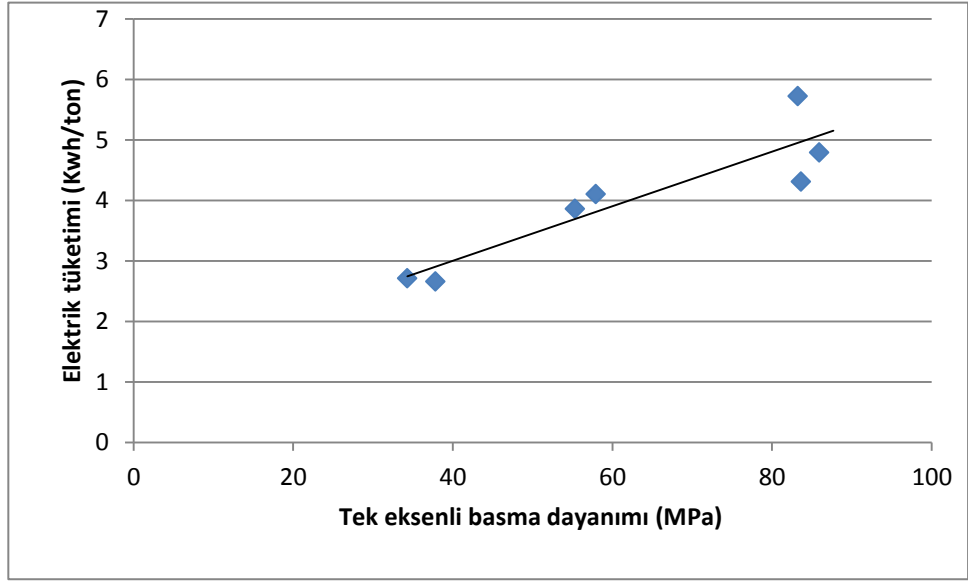
3.4. AGREGA ÜRETİM MALİYETİ

Üretim maliyetleri açısından bakıldığında taşocaklarındaki enerji tüketimleri 4 grupta toplanabilir;

- Patlayıcı madde kullanımı sırasında, ocakta patlatmalı kazı işlemlerinde kullanılan ANFO ve dinamit türü patlayıcılar yer almaktadır.
- Dizel yakıtla çalışan araçların tükettiği enerji, tüm araçların kullandığı yakıt yer almaktadır.
- Elektrik tüketimi, ocakta bulunan kırma – eleme tesisinin, ocaktaki suyun tahliyesinde kullanılan pompanın ve yönetim binalarındaki elektrik kullanımları yer almaktadır.
- İşçilik

Söz konusu taşocaklarında yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan maliyetin, patlatma paternlerinin her formasyonda aynı uygulanması sebebiyle farklı formasyonlardaki üretimler açısından değişmediği gözlemlenmiştir. Yine dizel yakıt ve işçilik kaynaklı maliyetlerinde formasyon farklılığından etkilenmediği belirlenmiştir. Ancak taşocaklarındaki kayaç değişimleri kırma-eleme tesisinin tükettiği elektrik miktarını, dolayısıyla da elektrik tüketimi kaynaklı maliyetleri artırmaktadır. Şekil 3.8’de Kırma-eleme tesisi elektrik tüketim değerleriyle, kayaç tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur (Başçetin ve diğ., 2011-b). Bu nedenle farklı formasyonlardaki agrega üretim

maliyetlerinin belirlenmesinde boyut küçültme işlemine harcanan enerji miktarları dikkate alınmıştır. Laboratuvarda yapılan boyut küçültme işlemine harcanan enerji miktarı her kayaç için ayrı ayrı ölçülmüş ve üretim maliyeti hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır. Laboratuvarda yapılan boyut küçültme işlemi sırasında Şekil 3.9'da verilen deney düzeneği yardımıyla çeneli kırıcının birim enerji tüketim değerleri her formasyon için ayrı ayrı ölçülmüştür



Şekil 3.8: Kırma-eleme tesisi elektrik tüketim değerleriyle, kayaç tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki (Başçetin ve diğ., 2011)



Şekil 3.9: Boyut küçültme işlemi sırasında yapılan enerji tüketim ölçümü

3.5. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM

Çalışma kapsamında uygulanan yöntem aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Çalışma sahalarının belirlenmesi :

Çalışma sahalarının belirlenmesi sırasında üretimin farklı formasyonlardan yapıldığı taşocakları özellikle seçilmiştir.

- Belirlenen sahalardan numune alınması :

Numune alımı sırasında öncelikle ocak genelindeki farklı bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgelerden numune alınmıştır.

- Petrografik ve elementel analiz:

Belirlenen sahaların farklı bölgelerinden alınan kayaç numunelerinin tanımlanması amacıyla petrografik ve elementel analizler yapılmıştır.

- Kaya mekaniği deneyleri:

Belirlenen çalışma sahalarından alınan farklı formasyonlardaki kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla aşağıda verilen kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.

- Nokta yükleme deneyi
- Tek eksenli basma deneyi
- Endirekt çekme dayanım deneyi

- Agrega deneyleri :

Laboratuvara getirilen farklı formasyonlardaki kayaç numuneleri öncelikle agrega ürün boyutlarına getirilmiş ve daha sonra beton agregası kullanımı açısından uygunluğunun belirlenmesi amacıyla ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen beton agregası deneyleri yapılmıştır.

- Agrega üretim maliyetinin belirlenmesi :

Laboratuvarda yapılan boyut küçültme işlemine harcanan enerji miktarı her kayaç için ayrı ayrı ölçülmüş ve agrega birim üretim maliyeti hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır.

- Agrega üretiminde harmanlama modelinin oluşturulması :

Taşocaklarındaki en önemli sorunlardan biri malzeme kalitesinin devamlı olarak değişmesidir. Bunun en büyük nedeni ocak içerisinde üretim yapılan yerlerdeki kayaç değişimleridir. Böylece beton santraline beslenen agrega malzemesinin kalitesi

değişmekte ve üretilen betonun özellikleri doğrudan etkilenmektedir. Harmanlama modelinin oluşturulması sırasında beton üretiminde kullanılacak agregaların ürün kalitesini kontrol eden parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler belirlenirken beton üretiminde kullanılacak agregalar ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlardan faydalanılmıştır. Aşağıda beton üretiminde kullanılacak agregaların ürün kalitesini kontrol eden parametreler sıralanmıştır.

- Tek eksenli basma dayanımı
- Tek eksenli çekme dayanımı
- Darbe değeri
- Kırılma değeri
- Los Angeles katsayısı
- Micro Deval katsayısı
- Tane yoğunluğu
- Su emme oranı
- İncelik modülü değeri
- Yassılık indeksi
- Çok ince malzeme içeriği
- Kum eşdeğeri
- Metilen mavisi değeri

Geliştirilen modelde kısıt fonksiyonları olarak agrega ürün kalitesini belirleyen parametreler, amaç fonksiyonu olarak da yine işletmeler için önemli bir parametre olan üretim maliyeti minimizasyonu tanımlanmıştır. Her taşocağı için ayrı ayrı kurulan modellerin çözümüyle birlikte amaç fonksiyonunu minimize eden ve kısıt fonksiyonlarını sağlayan ikili ve üçlü ürün harman grupları oluşturulmuştur.

- Beton üretiminde agrega karışım dizaynının yapılması :

Bu çalışma kapsamında toplam 24 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Karışım hesaplamalarında mutlak hacim metodu kullanılmış ve tüm karışımlardaki çimento miktarı sabit tutulmuştur (400 kg/m^3). Karışımlarda CEM I tipi katkısız çimento kullanılmıştır. Ayrıca su\çimento oranı tüm karışımlarda 0,54 ve slump miktarıda 9-10 arasında olacak şekilde karışım dizaynları oluşturulmuştur. Beton karışım tasarımı yapılırken yaygın kullanım alanına sahip C30 sınıfında geleneksel tip beton üretimi amaçlanmış ve karışımdaki oranlar deneme betonları hazırlanarak doğrulanmıştır. Her

karışımından 6 adet (15x15x15 cm) boyutlarında küp numuneler hazırlanmış ve kür tankında 7 ve 28 gün kürlenmiştir. Yoğunlukları belirlenen numunelerin 2'si 7 gün kürlenmiş ve bu numunelere basma dayanımı deneyi yapılmıştır. 28 gün kürlenmiş Numunelerin 2'sine basma dayanımı ve diğer ikisine de yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca her numunenin ultrasonik ses geçirgenliği p ve s dalga hızları ölçülmüş ve elastisite modülleri ve poison oranları hesaplanmıştır. Her karışımın çökme değerleri belirlenmiştir.

4.BULGULAR

4.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI

Giriş bölümünde de açıklandığı gibi bu çalışmanın hedeflerinden biri farklı özelliklerdeki agregaları harmanlayarak istenilen özellikte bir malzeme elde edilmesini sağlayacak yenilikçi bir modelin geliştirilmesidir. Bu nedenle bu çalışmada farklı özelliklere sahip uygun agrega ocakları belirlenmeye çalışılmıştır. İstanbul Cendere bölgesinde, beton üretimine yönelik kumtaşı agregası üreten Cendere bölgesi taşocağı ve İstanbul Çatalca bölgesinde, beton üretimine yönelik kireçtaşı agregası üreten Çatalca bölgesi taşocağı çalışma sahaları olarak belirlenmiştir.

4.1.1. Petrografik ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Söz konusu çalışma sahalarında belirlenen 6 farklı bölgeden blok halinde kayaç numuneleri alınmış ve laboratuvara getirilen numuneler üzerinde kayaç tanımlarının yapılabilmesi amacıyla kimyasal ve petrografik analizler yapılmıştır. Tablo 4.1’de Çatalca bölgesi taşocağından, Tablo 4.2’de ise Cendere bölgesi taşocağından alınan numunelerin elementel analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.1: Çatalca bölgesi taşocağından alınan numunelerin elementel analiz sonuçları

Bölgeler	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Çatalca bölgesi 1.Bölge	50,1	0,67	0,47	0,35	0,3	0,16	0,12
Çatalca bölgesi 2.Bölge	50,9	1,37	0,56	0,39	1,02	0,04	0,03
Çatalca bölgesi 3.Bölge	53,9	0,68	0,3	0,32	0,32	0,04	0,06

Tablo 4.2: Cendere bölgesi taşocağından alınan numunelerin elementel analiz sonuçları

Bölgeler	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Cendere bölgesi 1.Bölge	1,15	52,7	14,6	4,65	19,9	0,1	0,2
Cendere bölgesi 2.Bölge	3,43	61,2	9,44	2,72	16,9	0,15	0,22
Cendere bölgesi 3.Bölge	7,67	52,1	9,03	5,3	18,2	0,08	0,65

Cendere bölgesi taşocağında sahada gerçekleştirilen çalışmalar ile baskın olarak belirlenen 3 bölgeden alınan temsili örnekler petrografik analize tabi tutulmuştur. Cendere bölgesi taşocağında 1.bölgede bulunan kumtaşları grimsi-yeşil renkli, orta ve ince taneli olarak gözlenmiştir. Cendere bölgesi 1. bölgede bulunan kayaların analizinde kayaç parçalarının daha fazla olduğu, klorit ve serisitle beraber kil bağlayıcının bulunduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda Cendere bölgesi taşocağı 1. bölge olarak ifade edilen formasyonun meta kumtaşı olarak tanımlanabileceği belirtilmiştir. Folk' a göre değerlendirildiğinde feldspatik arenit olarak tanımlanmaktadır.

Cendere bölgesi taşocağı 2. bölgeden alınan numunelerin analizleri kayaç içerisinde bol miktarda kuvars bulunduğunu göstermektedir. Kayaç örneklerinin incelenmesiyle tane boyutu iri olarak tespit edilmiştir. Bağlayıcı olarak kil matriksi bulunmaktadır ve klorit oranı ise yüksek olarak ifade edilmiştir. Kayaç örneklerinin içerisinde çok fazla kırık çatlak bulunmaktadır ve bu kırık ve çatlaklar kalsit ile dolmuştur. Yapılan incelemelerde kuvars ve feldspat içeriğine rastlanmıştır. Kayaçların basınç etkisi altında kaldığına dair bulgulara rastlanmıştır. Yapılan petrografik analizin sonucunda Cendere bölgesi 2. bölgede yer alan kayaçlar arkozik kumtaşı olarak belirtilmiştir.

Cendere bölgesi taşocağında 3. bölgede yer alan kayaların analizinde ilk olarak plajyoklas ve amfibollere rastlanmıştır. İkincil minerallerde epidotlaşma tespit edilmiştir. Kayaçlar opak mineraller ve kuvars içermektedir. Kayaçlar holokristalin ve porfirik dokulu olarak gözlenmiş, dokuda alterasyon bulgularına rastlanmıştır. Yapılan petrografik analiz sonucunda kayaç diyabaz olarak tanımlanmıştır.

Çatalca bölgesinde bulunan Çatalca bölgesi taşocağında ise yine 3 dominant bölge bulunmaktadır. 1. Bölgeden alınan temsili numunelerin analizinde ilk olarak taneli bileşenler, fosiller, fosil kavkıları ve intraklas parçalarına rastlanmıştır. Kayacın spartik çimentolu olduğu tespit edilmiştir. Kayaç içerisinde mercanlar tespit edilmiştir. Kayacın eosin dönemine ait olduğuna dair bulgulara rastlanmıştır. Kayacın dokusu mikritik olarak gözlenmiştir. Kayacın sığ ve çalkantılı bir ortamda oluştuğuna dair izlere rastlanmıştır. Daha ince taneli ve boşluklu bir yapı gözlenmiştir. Folk'a göre kayaç biosparit olarak tanımlanmaktadır.

Çatalca bölgesi taşocağı 2. bölge incelendiğinde kayacın oluşumunun daha sığ bir kesimde gerçekleştiği ve kayacın daha fazla rekristalizasyona uğradığı tespit edilmiştir. Çatalca bölgesi 3.bölge'nin analizinde ise kayaç örneklerinin daha az kil içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan petrografik analiz sonucunda kayaçlar fosilli kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Sonuç olarak, Çatalca bölgesi 1. bölgeden alınan numunelerin fosilli kireçtaşı olduğu, Çatalca bölgesi 2.bölgeden alınan numunelerin de fosilli kireçtaşı olduğu fakat içerdiği kil miktarının fazla olduğu, Çatalca bölgesi 3.bölge'den alınan numunelerin yine fosilli kireçtaşı olduğu fakat içerdiği kil miktarının oldukça az olduğu, Cendere bölgesi 1.bölge'den alınan numunelerin metakumtaşı olduğu, Cendere bölgesi 2.bölge'den alınan numunelerin kumtaşı olduğu ve Cendere bölgesi 3.bölgeden alınan numunelerin diyabaz olduğu yapılan petrografik ve elementel analizler sonucunda belirlenmiştir.

4.1.2. Kaya Mekaniği Deney Sonuçları

Belirlenen çalışma sahalarından alınan farklı formasyonlardaki kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla; nokta yükleme deneyi, tek eksenli basma deneyi ve endirek çekme dayanım deneyi yapılmıştır. Tablo 4.3' de söz konusu taşocaklarından alınan numunelere ait ortalama tek eksenli basma ve tek eksenli çekme dayanımları verilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm kaya mekaniği deney sonuçları EK 2' de verilmiştir.

Cendere bölgesi 1., 2. ve 3. bölgeler için tek eksenli basma dayanımı deneyi her bölge için en az 30'ar karot numune üzerinde yapılmış ve ortalama sonuçları verilmiştir. Çekme dayanımının belirlenmesinde ise endirek çekme dayanımı deneyi yapılmış yine her bölge için en az 30'ar örnek kullanılmış ve ortalamaları alınmıştır. Çatalca bölgesi 1., 2. ve 3. bölgeler içinse tek eksenli basma dayanımı ve çekme dayanımının belirlenmesinde nokta yükleme deney yöntemi kullanılmış, her bölge için en az 100 örnek üzerinde deneyler yapılmış ve ortalama sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. 3: Ortalama tek eksenli basma dayanımları, çekme dayanımları ve ISRM 1979'a göre kayaç sınıflamaları

Bölge adı	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
Cendere bölgesi 1.bölge	82,1	5,9
Cendere bölgesi 2. Bölge	55,3	4,2
Cendere bölgesi 3.bölge	108,1	7,3
Çatalca bölgesi 1. Bölge	62,4	3,6
Çatalca bölgesi 2.bölge	73,9	4,2
Çatalca bölgesi 3.bölge	75,4	4,3

Tablo 4.3' den de görüleceği üzere farklı bölgelere ait basma ve çekme dayanımları oldukça uyumludur. Tek eksenli basma dayanımı 70 MPa üzerindeki kayalar Coates (1964) , Jennings (1973) ve Brach ve Franklin (1972) tarafından sağlam kayaç olarak nitelendirilmektedir (Bieniawski, 1984). Buna göre Cendere bölgesi 1.bölge, Cendere bölgesi 3.bölge, Çatalca bölgesi 2.bölge ve Çatalca bölgesi 3.bölge kayaçları sağlam kayaç olarak tanımlanabilir. Kayaç dayanımının artması betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak en uygun agreganın 108,1 MPa' lık tek eksenli basma, 7,3' lük çekme dayanımıyla Cendere bölgesi taşocağı 3.bölge olduğu görülmektedir. Cendere bölgesi 2.bölge ise 55,3 MPa' lık basma ve 4,2'lik çekme dayanımıyla en düşük sonucu vermiştir.

4.1.3. Beton Agregası Deney Sonuçları

Laboratuvara getirilen farklı formasyonlardaki kayaç numuneleri öncelikle agregata ürün boyutlarına getirilmiş ve daha sonra beton agregası kullanımı açısından uygunluğunun belirlenmesi amacıyla ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen beton agregası deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan tüm agregata deney sonuçları EK 3' de verilmiştir.

4.1.3.1. Agregata Darbe Dayanımı Değeri

BS 812-112 standardına göre yapılan agregata darbe deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agregata darbe değerleri Tablo 4.4' de verilmiştir. Darbe değerlerinin bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.4: Agregada darbe deneyi sonuçları

Bölge adı	Agregada Darbe Değeri (%)
Cendere bölgesi 1.bölge	16,82
Cendere bölgesi 2. Bölge	22,99
Cendere bölgesi 3.bölge	13,07
Çatalca bölgesi 1. Bölge	32,63
Çatalca bölgesi 2.bölge	29,02
Çatalca bölgesi 3.bölge	28,93

Tablo 4.4' den de görüldüğü gibi agregada darbe değeri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın %13,07'lik değeriyle Cendere bölgesi taşocağı 3.bölge olduğu görülmektedir. BS 812-112 standardına göre beton üretiminde kullanılacak agregaların darbe dayanım değerlerinin %30 sınır değerini aşmaması gerekmektedir. Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölgenin ise belirtilen sınırını aştığından agregada kırılma değeri açısından beton üretiminde kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.1.3.2. Agregada Kırılma Değeri

BS 812-110 standardına göre yapılan agregada kırılma değerinin belirlenmesi deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agregada kırılma değerleri Tablo 4.5' de verilmiştir. Kırılma değerlerinin bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.5: Agregada kırılma deneyi sonuçları

Bölge adı	Agregada Kırılma Değeri (%)
Cendere bölgesi 1.bölge	14,84
Cendere bölgesi 2. Bölge	20,06
Cendere bölgesi 3.bölge	12,37
Çatalca bölgesi 1. Bölge	31,24
Çatalca bölgesi 2.bölge	29,46
Çatalca bölgesi 3.bölge	29,36

Tablo 4.5' den de görüldüğü gibi agregada kırılma değeri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın %12,37'lik değeriyle Cendere bölgesi taşocağı 3.bölge olduğu görülmektedir. BS 812-110 standardına göre beton üretiminde kullanılacak agregaların kırılma değerlerinin %30 sınır değerini aşmaması

gerekmektedir. Çatalca bölgesi taşocağı 1. bölgenin ise BS 812-110 standardında belirtilen %30 sınırını aştığından agrega kırılma değeri açısından beton üretiminde kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.1.3.3. *Agrega Parçalanma Direnci (Los Angeles) Katsayısı*

TS EN 1097-2 standardına göre yapılan agrega Parçalanma direncinin belirlenmesi (Los Angeles) Deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega Los Angeles katsayıları ve TS 706 EN 12620'ya göre belirlenen Los Angeles katsayı kategorileri Tablo 4.6' da verilmiştir. Agregası Los Angeles katsayılarının bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.6: Parçalanma direncinin belirlenmesi (Los Angeles) deney sonuçları

Bölge adı	Agrega Los Angeles Katsayıları (500 devir)	Kategori (LA)
Cendere bölgesi 1.bölge	13,27	LA ₁₅
Cendere bölgesi 2. Bölge	16,25	LA ₂₀
Cendere bölgesi 3.bölge	11,83	LA ₁₅
Çatalca bölgesi 1. Bölge	29,43	LA ₃₀
Çatalca bölgesi 2.bölge	27,72	LA ₃₀
Çatalca bölgesi 3.bölge	25,63	LA ₃₀

Beton ve karayolu yapımında kullanılan agregalar fiziksel etkilerden dolayı kırılmaya ve parçalanmaya maruz kalırlar. Bu yüzden agregaların parçalanmaya dayanıklı olması istenir. Los Angeles katsayısı değerinin düşük olması malzemenin parçalanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda Tablo 4.6' dan da görüldüğü gibi agrega Los Angeles katsayıları açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın 11,83'lük değeriyle Cendere bölgesi taşocağı 3.bölge olduğu görülmektedir.

4.1.3.4. *Agrega Aşınma Direnci (Micro Deval) Katsayısı*

TS EN 1097-1 standardına göre yapılan agrega Aşınmaya karşı direncin belirlenmesi (Mikro Deval) deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega Micro Deval katsayı değerleri ve TS 706 EN 12620'ya göre belirlenen Micro Deval katsayı kategorileri Tablo 4.7' de verilmiştir. Micro Deval katsayılarının bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.7: Aşınmaya karşı direncin belirlenmesi (Mikro Deval) deney sonuçları

Bölge adı	Agrega Mikro Deval Katsayısı	Kategori (M_{DE})
Cendere bölgesi 1.bölge	31,88	M_{DE35}
Cendere bölgesi 2. Bölge	30,58	M_{DE35}
Cendere bölgesi 3.bölge	13,44	M_{DE15}
Çatalca bölgesi 1. Bölge	22,98	M_{DE25}
Çatalca bölgesi 2.bölge	14,68	M_{DE15}
Çatalca bölgesi 3.bölge	13,48	M_{DE15}

Beton ve karayolu yapımında kullanılan agregalar fiziksel etkilerden dolayı aşınmaya maruz kalırlar. Bu yüzden agregaların aşınmaya dayanıklı olması istenir. Mikro Deval katsayısı değerinin düşük olması malzemenin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda Tablo 4.7' den de görüldüğü gibi agrega Mikro deval Katsayısı açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın 13,44 ve 13,48 değerleriyle Cendere bölgesi ve Çatalca bölgesi taşocakları 3.bölge olduğu görülmektedir.

4.1.3.5. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı

TS EN 1097-6 standardına göre yapılan agrega tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini deney sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega tane yoğunluğu ve su emme oranları Tablo 4.8' de verilmiştir. Tane yoğunluğu ve su emme oranlarının bulunması sırasında her deney ince (0- 4 mm) ve iri agrega (11,2-22,4) numuneleri üzerinde 2 'şer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 8: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini deney sonuçları

Bölge adı	Tane Yoğunluğu (g/cm^3)	Su Emme Oranı (%)
Cendere bölgesi 1.bölge	2,76	0,74
Cendere bölgesi 2. Bölge	2,75	0,86
Cendere bölgesi 3.bölge	2,79	1,51
Çatalca bölgesi 1. Bölge	2,71	3,5
Çatalca bölgesi 2.bölge	2,73	3,08
Çatalca bölgesi 3.bölge	2,70	1,84

Tane yoğunluğu ile kayaç dayanımı arasında bir ilişki olduğu bilinen bir gerçektir. Ancak betonda kullanım açısından agrega tane yoğunluğu ile ilgili standartlarda belirtilen bir sınır değer bulunmamaktadır. Su emme değerinin ise %1'den küçük olduğu durumlarda beton karışımına olan etkisi çok az olabilir. Ancak su emme değeri

%3'ten büyük olduğu durumlarda karışım üzerindeki olumsuz etkisi büyük olmaktadır. Buna göre, Tablo 4.8' den de görüldüğü gibi su emme değeri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın %0,74 değeriyle Cendere bölgesi taşıacağı 1.bölge olduğu görülmektedir. Literatürde kabul edilen % 3'lük su emme sınır değeri açısından bakıldığında ise Çatalca bölgesi taşıacağı 1. bölgenin beton üretiminde kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Agregaların yoğunluk değerlerine bakıldığında 2,70-2,79 g/cm³ arasında değiştiği ve birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4.1.3.6. Gevşek Yığın Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi

TS EN 1097-3 standardına göre yapılan agrega gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini deney sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacim değerleri Tablo 4.9' da verilmiştir. Gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacim değerlerinin bulunması sırasında her deney ince (0 - 4 mm) ve iri agrega (4 - 22,4 mm) numuneleri üzerinde 2 'şer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 9: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini deney sonuçları

Bölge adı	Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m ³)	Boşluk hacmi (%)
Cendere bölgesi 1.bölge	1,42	48,55
Cendere bölgesi 2. Bölge	1,47	46,55
Cendere bölgesi 3.bölge	1,44	48,39
Çatalca bölgesi 1. Bölge	1,34	50,55
Çatalca bölgesi 2.bölge	1,38	49,45
Çatalca bölgesi 3.bölge	1,41	47,58

Tablo 4.9' dan da görüldüğü gibi gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi değeri açısından farklı bölgelerin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ve beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın 1,47 Mg/m³ gevşek yığın yoğunluğu ve %46,55 boşluk hacmi değeriyle Cendere bölgesi taşıacağı 2.bölge olduğu görülmektedir. Betonda kullanım açısından gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi ile ilgili standartlarda belirtilen bir sınır değer bulunmamaktadır.

4.1.3.7. Birim Ağırlık Değeri

TS 3529 standardına göre yapılan agrega birim ağırlık tayini deney sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega sıkışık birim ağırlık

değerleri Tablo 4.10’ da verilmiştir. Birim ağırlık değerlerinin bulunması sırasında her deney ince (0 - 4 mm) ve iri agrega (4 - 22,4 mm) numuneleri üzerinde 2 ‘şer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.10: Birim ağırlık tayini deney sonuçları

Bölge adı	Sıkışık Birim ağırlık değerleri (Mg/m ³)
Cendere bölgesi 1.bölge	1,62
Cendere bölgesi 2. Bölge	1,61
Cendere bölgesi 3.bölge	1,62
Çatalca bölgesi 1. Bölge	1,53
Çatalca bölgesi 2.bölge	1,55
Çatalca bölgesi 3.bölge	1,58

Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığının BS 812 (1975) standardında 1,2 – 1,8 Mg/m³ arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Tablo 4.10’ dan da görüldüğü gibi tüm bölgelerin birim ağırlık değerleri sınır değerler arasındadır.

4.1.3.8. Tane Büyüklüğü Dağılımı ve İncelik Modülü

TS EN 933-1 standardına göre yapılan agrega tane büyüklüğü dağılımı tayini (eleme metodu) deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin tane büyüklüğü dağılım değerleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 kullanılarak ASTM C33’e göre farklı formasyonlardaki ince malzeme (0-4mm) için agrega incelik modülü değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.12)

Tablo 4.11: Tane büyüklüğü dağılımı tayini deney sonuçları

Malzeme	Bölge adı	Elek aralığı (mm) %									
		22.4	16.0	11.2	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
		% Geçen									
No 2 malzeme (11.2- 22.4mm)	Cendere bölgesi 1.bölge	100	18,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cendere bölgesi 2. Bölge	100	36,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cendere bölgesi 3.bölge	100	19,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 1. Bölge	100	38,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 2.bölge	100	19,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 3.bölge	100	27,8	-	-	-	-	-	-	-	-
NO 1 malzeme (4-11.2 mm)	Cendere bölgesi 1.bölge	100	100	100	68,4	-	-	-	-	-	-
	Cendere bölgesi 2. Bölge	100	100	100	74,3	-	-	-	-	-	-
	Cendere bölgesi 3.bölge	100	100	100	64,5	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 1. Bölge	100	100	100	73,7	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 2.bölge	100	100	100	72,2	-	-	-	-	-	-
	Çatalca bölgesi 3.bölge	100	100	100	77,4	-	-	-	-	-	-
İnce malzeme (0-4mm)	Cendere bölgesi 1.bölge	100	100	100	100	100	55,9	36,9	25,2	16,2	10,9
	Cendere bölgesi 2. Bölge	100	100	100	100	100	61,5	39,6	26,6	16,6	10,8
	Cendere bölgesi 3.bölge	100	100	100	100	100	55,9	35,2	24,7	15,4	10
	Çatalca bölgesi 1. Bölge	100	100	100	100	100	58	36,8	26	17,5	12,8
	Çatalca bölgesi 2.bölge	100	100	100	100	100	58,7	38,3	26,8	18	12,6
	Çatalca bölgesi 3.bölge	100	100	100	100	100	61	38,2	26	16,8	11,8

Tablo 4.12: İnce Malzeme (0-4mm) agrega incelik modülü değerleri

Bölge adı	Agrega incelik modülü değerleri
Cendere bölgesi 1.bölge	3,55
Cendere bölgesi 2. Bölge	3,45
Cendere bölgesi 3.bölge	3,59
Çatalca bölgesi 1. Bölge	3,49
Çatalca bölgesi 2.bölge	3,46
Çatalca bölgesi 3.bölge	3,46

Tablo 4.12’den de görüldüğü gibi ASTM C33 standardında belirtilen beton üretiminde kullanımı açısından ince agrega için incelik modülünün 2,3 değerinden büyük olması koşulu tüm bölgeler için sağlanmaktadır. Ayrıca Cendere bölgesi 2.bölge, Çatalca bölgesi 1., 2. ve 3. bölgeler agrega incelik modülü açısından “iri” sınıfına girmektedir. Cendere bölgesi 1. ve 3. bölgeler ise “çok iri” sınıfında yer almaktadırlar.

4.1.3.9. Yassılık Endeksi Değeri

TS EN 933-3 standardına göre yapılan agrega tane şekli tayini yassılık endeksi deney sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega yassılık endeksi değerleri ve TS 706 EN 12620’ya göre belirlenen yassılık endeksi kategorileri Tablo 4.13’de verilmiştir. Yassılık endeksi değerlerinin bulunması sırasında her deney 2 ‘şer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4.13: Tane şekli tayini yassılık endeksi deney sonuçları

Bölge adı	Yassılık Endeksi değeri (%)	Kategori (FI)
Cendere bölgesi 1.bölge	25,98	FI ₃₅
Cendere bölgesi 2. Bölge	27,83	FI ₃₅
Cendere bölgesi 3.bölge	16,18	FI ₂₀
Çatalca bölgesi 1. Bölge	14,34	FI ₁₅
Çatalca bölgesi 2.bölge	15,69	FI ₂₀
Çatalca bölgesi 3.bölge	17,51	FI ₂₀

Agregadaki yassı malzeme oranının çok olması betonda pürüzlü bir yüzeye ve su ihtiyacının artmasına neden olur. Tablo 4.13’ den de görüldüğü gibi yassılık endeksi değeri açısından beton üretiminde kullanılacak en uygun agreganın %14,34 değeri ile Çatalca bölgesi taşocağı 1. bölge olduğu görülmektedir.

4.1.3.10. Çok İnce Malzeme İçeriği

TS EN 933-1 standardına göre yapılan agrega çok ince malzeme içeriği deney sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega çok ince malzeme içeriği değerleri ve TS 706 EN 12620'ya göre belirlenen kategorileri Tablo 4.14'de verilmiştir. Çok ince malzeme içeriği değerlerinin bulunması sırasında her deney 2 'şer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 14: Çok ince malzeme içeriği deney sonuçları

Bölge adı	Çok İnce Malzeme İçeriği (%)	Kategori (f)
Cendere bölgesi 1.bölge	3,78	f ₁₁
Cendere bölgesi 2. Bölge	4,89	f ₁₁
Cendere bölgesi 3.bölge	3,4	f ₁₁
Çatalca bölgesi 1. Bölge	5,91	f ₁₁
Çatalca bölgesi 2.bölge	5,71	f ₁₁
Çatalca bölgesi 3.bölge	5,32	f ₁₁

Agrega içeriğindeki kil ve silt gibi yabancı maddelerin varlığı beton karışımının özellikleri ve su ihtiyacı açısından problem arz etmektedirler. Tablo 4.14' den de görüldüğü gibi çok ince malzeme içeriği değeri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın %3,4 değeriyle Cendere bölgesi taşocağı 3. bölge olduğu görülmektedir.

4.1.3.11. Kum Eşdeğeri

TS EN 933-8 standardına göre yapılan agrega ince tanelerin tayini - kum eşdeğeri deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega kum eşdeğerleri Tablo 4.15'de verilmiştir. Kum eşdeğerlerinin (SE) bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 15: İnce tanelerin tayini - kum eşdeğeri deney sonuçları

Bölge adı	Kum Eşdeğeri
Cendere bölgesi 1.bölge	68,1
Cendere bölgesi 2. Bölge	70,5
Cendere bölgesi 3.bölge	67
Çatalca bölgesi 1. Bölge	61,4
Çatalca bölgesi 2.bölge	60
Çatalca bölgesi 3.bölge	71

Beton kullanımı açısından kum eşdeğerliği değerinin yüksek olması betonun mekanik özelliklerini olumlu olarak etkilemektedir. Tablo 4.15' den de görüldüğü gibi agrega kum eşdeğerleri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın 71 değeriyle Çatalca bölgesi taşocağı 3.bölge olduğu görülmektedir. Geleneksel beton üretimi açısından literatürde kabul edilen 60 sınır değeri tüm bölgelerde sağlanmaktadır.

4.1.3.12. Metilen Mavisi Değeri

TS EN 933-9 standardına göre yapılan agrega ince malzeme tayini - metilen mavisi deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega metilen mavisi değerleri Tablo 4.16'da verilmiştir. Metilen mavisi değerlerinin bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 16: İnce malzeme tayini - metilen mavisi deney sonuçları

Bölge adı	Metilen mavisi değeri (g/kg)
Cendere bölgesi 1.bölge	0,75
Cendere bölgesi 2. Bölge	1
Cendere bölgesi 3.bölge	2,75
Çatalca bölgesi 1. Bölge	2,25
Çatalca bölgesi 2.bölge	6,75
Çatalca bölgesi 3.bölge	1,5

Tablo 4.16' dan da görüldüğü gibi agrega metilen mavisi değeri açısından beton üretiminde kullanılabilir en uygun agreganın 0,75 değeriyle Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge olduğu görülmektedir. Metilen mavisi değerinin yüksek olması ince agregada bulunan kil içeriğinin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda karma suyunun artması ve rötre çatlaklarına neden olduğundan betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Standartlarda betonda kullanım açısından metilen mavisi değeri ile ilgili bir sınır değeri bulunmamaktadır.

4.1.3.13. Organik Madde İçeriği

TS EN 1744-1standardına göre yapılan agrega organik madde tayini deneyi sonucunda iki farklı ocak için toplam 6 farklı bölgeden alınan malzemelerin agrega organik madde içerikleri Tablo 4.17'de verilmiştir. Organik madde içeriklerinin bulunması sırasında her deney 2 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 17: Organik madde tayini deney sonuçları

Bölge adı	Organik madde içerikleri
Cendere bölgesi 1.bölge	Yok
Cendere bölgesi 2. Bölge	Yok
Cendere bölgesi 3.bölge	Yok
Çatalca bölgesi 1. Bölge	Yok
Çatalca bölgesi 2.bölge	Yok
Çatalca bölgesi 3.bölge	Yok

Tablo 4.17' den de görüldüğü gibi agrega Organik Madde içeriği açısından tüm bölgeler beton üretiminde kullanılabilir.

4.1.3.14. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deney Sonucu

ASTM C1260 standardına göre yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonucunda, alkali silis reaksiyonu potansiyeli olduğu düşünülen Cendere bölgesi taşocağı agregaları ile oluşturulan harç çubuklarının 16 gün sonundaki uzama miktarları Tablo 4.18' de verilmiştir. Uzama miktarlarının bulunması sırasında harç çubuklarından 3' er adet hazırlanmış ve uzama ölçümlerinin ortalamaları alınmıştır.

Tablo 4. 18: Hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçları

Bölge adı	Uzama miktarları (%)
Cendere bölgesi 1.bölge	0,28
Cendere bölgesi 2. Bölge	0,27
Cendere bölgesi 3.bölge	0,03

Tablo 4.18' den de görüldüğü gibi Cendere bölgesi Taşocağı 1. Bölge ve 2. Bölge' nin uzama miktarlarının ASTM C1260 standardında belirtilen %0,20 sınır değerinden fazla olması nedeniyle alkali silis reaksiyonu açısından potansiyel olarak zararlı genleşme gösterirler. 3. Bölge ise bu sınır değerinin altında uzama gösterdiğinden alkali silis reaksiyonu açısından potansiyel olarak zararsız olarak nitelendirilebilir.

4.2. AGREGA ÜRETİM MALİYETİNİN BELİRLENMESİ

Laboratuvarda yapılan boyut küçültme işlemine harcanan elektrik enerjisi miktarı her bölge için ayrı ayrı ölçülmüş ve agrega birim üretim maliyeti hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır. Enerji ölçüm cihazıyla ölçülen bu değerler Tablo 4.19' da verilmiştir. Ölçümler sırasında her bölge için 100' er kg aynı boyutta numune

kullanılmış ve kırıcının saatlik tükettiği enerji miktarı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında alınan tüm enerji ölçümleri ve hesaplamaları EK 4’ de verilmiştir.

Tablo 4.19: Boyut küçültme işlemi sırasında harcanan enerji miktarları

Bölge adı	Enerji miktarı (Kwh/ton)
Cendere bölgesi 1.bölge	1,58
Cendere bölgesi 2. Bölge	1,14
Cendere bölgesi 3.bölge	1,78
Çatalca bölgesi 1. Bölge	1,19
Çatalca bölgesi 2.bölge	1,65
Çatalca bölgesi 3.bölge	1,66

Söz konusu taşocaklarında yapılan gözlemler ve firma beyanları da dikkate alınarak elektrik tüketimi hariç ortalama agrega üretim maliyeti ton başına 4,5 TL olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.19’daki enerji miktarları kullanılarak her bölge için agrega birim maliyetleri hesaplanmıştır. Birim maliyetleri hesaplamalarında elektrik enerjisi fiyatı 1TL/Kwh olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalar sırasında Cendere bölgesi ve Çatalca bölgesi taşocakları bölgelerinin maliyetleri ocak bazında ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre Cendere bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri Tablo 4.20’ de ve Çatalca bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri ise Tablo 4.21’ de verilmiştir.

Tablo 4.20: Cendere bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri

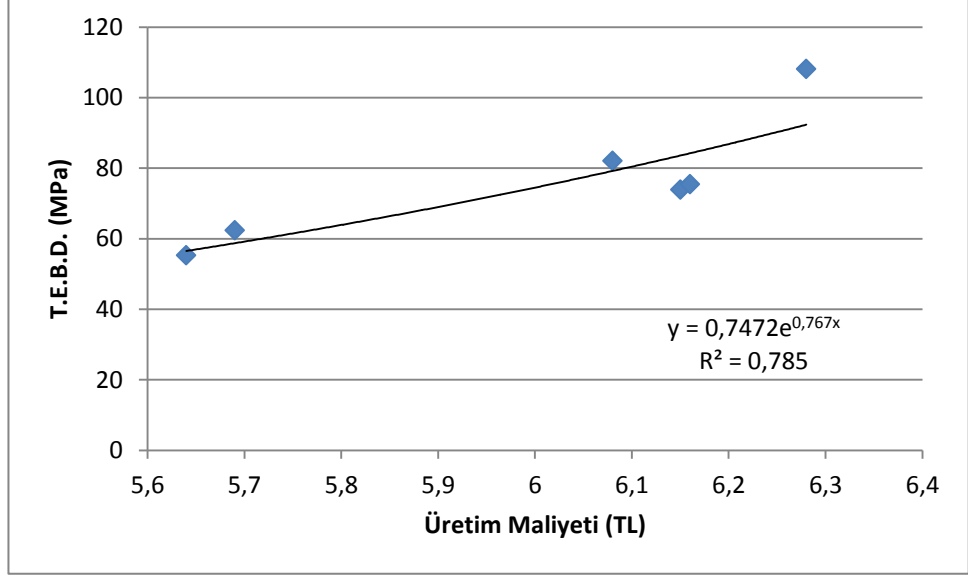
Bölge adı	Üretim maliyetleri (TL/Ton)
Cendere bölgesi 1.bölge	6,08
Cendere bölgesi 2. Bölge	5,64
Cendere bölgesi 3.bölge	6,28

Tablo 4.21: Çatalca bölgesi taşocağı için üretim maliyetleri

Bölge adı	Üretim maliyetleri (TL/Ton)
Çatalca bölgesi 1. Bölge	5,69
Çatalca bölgesi 2.bölge	6,15
Çatalca bölgesi 3.bölge	6,16

Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’den de görüldüğü gibi agrega üretim maliyeti açısından en yüksek değeri 6,28 TL ile Cendere bölgesi 3.bölge agregası vermektedir. En düşük maliyet değeri ise 5,64 TL ile Cendere bölgesi 2. bölge agregasına aittir. Ayrıca tüm

bölgelere ait basma dayanım değerleriyle üretim maliyetleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Şekil 4.1’ de kayaç basma dayanım değeri ve agrega üretim maliyeti arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizi verilmiştir.



Şekil 4.1: Tek eksenli basma dayanımı ile üretim maliyeti arasındaki ilişki

Şekil 4.1’den de görüldüğü gibi tek eksenli basma dayanım değeri ile üretim maliyeti arasında yüksek korelasyon katsayısına ($r=0,89$) sahip bir ilişki bulunmaktadır.

4.3. AGREGA ÜRETİMİNDE HARMANLAMA MODELİ

Bu çalışma kapsamında harmanlama optimizasyon probleminin çözümü amacıyla doğrusal programlama kullanılarak bir harmanlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde kısıt fonksiyonları olarak agrega ürün kalitesini belirleyen parametreler, amaç fonksiyonu olarak da yine işletmeler için önemli bir parametre olan üretim maliyeti minimizasyonu tanımlanmıştır. Her taşocağı için ayrı ayrı kurulan modellerin çözümüyle birlikte amaç fonksiyonunu minimize eden ve kısıt fonksiyonlarını sağlayan ikili ve üçlü ürün harman grupları oluşturulmuştur.

Doğrusal programlama kullanılarak oluşturulan ikili ve üçlü harman modelleri Eşitlik 4.1, ve Eşitlik 4.2’ de verilmiştir.

İkili harmanlama için oluşturulan doğrusal programlama modeli :

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (A_{ij} * E_i) + (A_{ji} * E_j) \quad (4.1)$$

$$(A_{ij} * TB_i) + (A_{ji} * TB_j) \geq TB_s$$

$$(A_{ij} * TC_i) + (A_{ji} * TC_j) \geq TC_s$$

$$(A_{ij} * AIV_i) + (A_{ji} * AIV_j) \leq AIV_s$$

$$(A_{ij} * ACV_i) + (A_{ji} * ACV_j) \geq ACV_s$$

$$(A_{ij} * LA_i) + (A_{ji} * LA_j) \leq LA_s$$

$$(A_{ij} * MD_i) + (A_{ji} * MD_j) \leq MD_s$$

$$(A_{ij} * Y_i) + (A_{ji} * Y_j) \geq Y_s$$

$$(A_{ij} * Sem_i) + (A_{ji} * Sem_j) \leq Sem_s$$

$$(A_{ij} * in_i) + (A_{ji} * in_j) \geq in_s$$

$$(A_{ij} * F_i) + (A_{ji} * F_j) \leq F_s$$

$$(A_{ij} * i_i) + (A_{ji} * i_j) \leq i_s$$

$$(A_{ij} * Se_i) + (A_{ji} * Se_j) \geq Se_s$$

$$(A_{ij} * Se_i) + (A_{ji} * Se_j) \leq Se_s$$

$$(A_{ij} * M_i) + (A_{ji} * M_j) \leq M_s$$

$$A_{ij} \geq 0$$

$$A_{ij} + A_{ji} = 1$$

$$i \neq j$$

Burada;

i, j	: 1. ve 2. bölgeler,
$E_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın birim maliyeti,
$TB_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen kayacın tek eksenli basma dayanımı değeri,
$TC_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen kayacın tek eksenli çekme dayanımı değeri,
$AIV_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın darbe değeri,
$ACV_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın kırılma değeri,
$LA_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın Los Angeles katsayısı değeri,
$MD_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın Micro deval değeri,
$Y_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın tane yoğunluğu değeri,
$Sem_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın su emme değeri,
$\dot{I}n_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın incelik modülü değerleri,
$F_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın yassılık endeksi değeri,
$\dot{I}i_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın çok ince malzeme içeriği değeri,
$Se_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın kum eşdeğeri ,
$M_{i \text{ veya } j}$	: i .yada j . bölgeden üretilen agreganın metilen mavisisi değeri,
A_{ij}	: i . bölgeden üretilen agreganın j . bölgeden üretilen agrega ile yaptığı karışımında aldığı oran,
TBs	: Tek eksenli basma dayanımı sınır değeri,
TCs	: Çekme dayanımı sınır değeri,
$AIVs$	: Darbe sınır değeri,
$ACVs$	: Kırılma sınır değeri,
LA_s	: Los Angeles katsayısı sınır değeri,
MDs	: Micro deval katsayısı sınır değeri,
Y_s	: Tane yoğunluğu sınır değeri,
$Sems$	: Su emme sınır değeri,
$\dot{I}ns$	: İncelik modülü sınır değeri,
F_s	: Yassılık endeksi sınır değeri,
$\dot{I}s$	: Çok ince malzeme içeriği sınır değeri,
$Sesa$	: Kum eşdeğeri alt sınır değeri,
$Sesü$	: Kum eşdeğeri üst sınır değeri,
Ms	: Metilen mavisisi sınır değeri,

üçlü harmanlama için oluşturulan doğrusal programlama modeli :

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 (A_{ijk} * E_i) + (A_{jik} * E_j) + (A_{kij} * E_k) \quad (4.2)$$

$$(A_{ijk} * TB_i) + (A_{jik} * TB_j) + (A_{kij} * TB_k) \geq TB_s$$

$$(A_{ijk} * TC_i) + (A_{jik} * TC_j) + (A_{kij} * TC_k) \geq TC_s$$

$$(A_{ijk} * AIV_i) + (A_{jik} * AIV_j) + (A_{kij} * AIV_k) \leq AIV_s$$

$$(A_{ijk} * ACV_i) + (A_{jik} * ACV_j) + (A_{kij} * ACV_k) \geq ACV_s$$

$$(A_{ijk} * LA_i) + (A_{jik} * LA_j) + (A_{kij} * LA_k) \leq LA_s$$

$$(A_{ijk} * MD_i) + (A_{jik} * MD_j) + (A_{kij} * MD_k) \leq MD_s$$

$$(A_{ijk} * Y_i) + (A_{jik} * Y_j) + (A_{kij} * Y_k) \geq Y_s$$

$$(A_{ijk} * Sem_i) + (A_{jik} * Sem_j) + (A_{kij} * Sem_k) \leq Sem_s$$

$$(A_{ijk} * \dot{I}n_i) + (A_{jik} * \dot{I}n_j) + (A_{kij} * \dot{I}n_k) \leq \dot{I}n_s$$

$$(A_{ijk} * F_i) + (A_{jik} * F_j) + (A_{kij} * F_k) \leq F_s$$

$$(A_{ijk} * \dot{i}_i) + (A_{jik} * \dot{i}_j) + (A_{kij} * \dot{i}_k) \leq \dot{I}s$$

$$(A_{ijk} * Se_i) + (A_{jik} * Se_j) + (A_{kij} * Se_k) \geq Sesa$$

$$(A_{ijk} * Se_i) + (A_{jik} * Se_j) + (A_{kij} * Se_k) \leq Sesü$$

$$(A_{ijk} * M_i) + (A_{jik} * M_j) + (A_{kij} * M_k) \leq Ms$$

$$A_{ijk}, A_{jik}, A_{kij} \geq 0$$

$$A_{ijk} + A_{jik} + A_{kij} = 1$$

$$i \neq j \neq k$$

Burada;

i, j, k	: 1., 2. ve 3. bölgeler,
E_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın birim maliyeti,
TB_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen kayacın basma dayanımı değeri,
TC_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen kayacın çekme dayanımı değeri,
AIV_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın darbe değeri,
ACV_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın kırılma değeri,
LA_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın Los Angeles değeri,
MD_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın Micro deval değeri,
Y_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın yoğunluk değeri,
Sem_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın su emme değeri,
\dot{I}_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın incelik modülü değeri,
F_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın yassılık endeksi değeri,
\dot{I}_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın çok ince malzeme değeri,
Se_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın kum eşdeğeri ,
M_i veya j veya k	: i, j . yada k . bölgeden üretilen agreganın metilen mavisini değeri,
A_{ijk}	: i . bölgeden üretilen agreganın j . ve k . bölgeden üretilen agregalar ile yaptığı karışımında aldığı oran,
TBs	: Tek eksenli basma dayanımı sınır değeri,
TCs	: Çekme dayanımı sınır değeri,
AIVs	: Darbe sınır değeri,
ACVs	: Kırılma sınır değeri,
LA _s	: Los Angeles katsayısı sınır değeri,
MD _s	: Micro deval katsayısı sınır değeri,
Y _s	: Tane yoğunluğu sınır değeri,
Sem _s	: Su emme sınır değeri,
\dot{I}_s	: İncelik modülü sınır değeri,
F _s	: Yassılık endeksi sınır değeri,
\dot{I}_s	: Çok ince malzeme içeriği sınır değeri,
Ses _a	: Kum eşdeğeri alt sınır değeri,
Ses _ü	: Kum eşdeğeri üst sınır değeri,
M _s	: Metilen mavisini sınır değeri,

4.3.1. Çatalca Bölgesi Taşocağı Harmanlama Modeli

Çatalca bölgesi taşocağı 3 farklı bölgeye ait agrega ürün grupları ikili ve üçlü şekilde doğrusal programlama modeli kullanılarak harmanlanmıştır. Buna göre 1.bölge - 2.bölge karışımı, 1.bölge - 3.bölge karışımı, 2.bölge - 3.bölge karışımı ve 1.bölge - 2.bölge - 3.bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak maliyetin tanımlandığı bu dört modelin çözümü sırasında kısıt fonksiyonu sınır değerleri standartlar ve literatürde belirtilen değerlere göre belirlenmiştir. Sınır değerlerin belirlenmesinde, agregaların geleneksel beton üretiminde kullanımı ve söz konusu ocaktan üretilen malzeme özellikleri de dikkate alınmıştır. Tablo 4. 22’de harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri verilmiştir.

Tablo 4.22: Çatalca bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri

Deneyler	Çatalca bölgesi	Çatalca bölgesi	Çatalca bölgesi	Sınır Değer
	1.Bölge	2. Bölge	3.Bölge	
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	5,69	6,15	6,16	Minimum
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	62,4	73,9	75,4	>70
Çekme Dayanımı (MPa)	3,6	4,2	4,3	>4
Darbe Değeri (%)	32,63	29,02	28,93	<30
Kırılma Değeri (%)	31,24	29,46	29,36	<30
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	29,43	27,72	25,63	<30
Aşınma Direnci (Micro Deval)	22,98	14,68	13,48	<35
Tane Yoğunluğu (g/Cm ³)	2,71	2,73	2,7	>2,7
Su Emme Oranı (%)	3,5	3,08	1,84	<3
İncelik Modülü Değerleri	3,49	3,46	3,46	>2,3
Yassılık Endeksi Değeri (%)	14,34	15,69	17,51	<35
Çok İnce Malzeme İçeriği	5,91	5,71	5,32	<11
Kum Eşdeğeri	61,4	60	71	60-70
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	2,25	6,75	1,5	<2

Tablo 4.22’den de görüldüğü gibi agrega üretim maliyetinin minimum olması amaçlanmıştır. Tek eksenli basma dayanımı 70 MPa üzerindeki kayalar Coolers (1964) , Shapidiron (1968) ve Brach ve Franklin (1972) kaynaklarında sağlam olarak nitelendirilmektedirler. Bu nedenle tek eksenli basma dayanımı için 70 MPa sınır değer olarak kabul edilmiştir.

Çekme dayanımı açısından standartlarda bir sınır değer olmadığından söz konusu ocaklardan üretilen malzemelerin çekme dayanımı ortalama değerlerine göre 4 MPa sınır değer olarak kabul edilmiştir.

BS 812-112 standardında, betonun mekanik etkilere karşı dayanım gösterebilmesi için darbe dayanımı değerinin %30' dan daha düşük değerlerde olması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle darbe değeri için %30 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

BS 812-110 standardında, betonun mekanik etkilere karşı dayanım gösterebilmesi için kırılma dayanımı değerinin %30' dan daha düşük değerlerde olması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle kırılma değeri için %30 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

TS 706 EN 12620 standardındaki Los Angeles katsayı değerleri açısından söz konusu ocaklardan üretilen malzemelere en uygun sınır değer 30 olduğu belirlenmiştir. Bu değer altında Los Angeles katsayı değerine sahip agregalar LA₃₀ kategorisinde gösterilirler. Bu nedenle Los Angeles katsayı değeri için 30 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

TS 706 EN 12620 standardında Micro Deval katsayı değerleri açısından en yüksek kategori 35'dir. Bu değer altında Micro deval katsayı değerine sahip agregalar M_{DE35} kategorisinde gösterilirler. Bu nedenle Micro deval katsayı değeri için 35 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

Tane yoğunluğu açısından standartlarda bir sınır değer olmadığından söz konusu ocaklardan üretilen malzemelerin yoğunluk değerlerine göre 2,7 g/cm³ sınır değer olarak kabul edilmiştir.

Su emme değerinin %3'den büyük olduğu durumlarda karışım üzerindeki olumsuz etkisinin büyük olabileceği Alexander ve Mindness (2005) kaynağında rapor edilmiştir. Ayrıca söz konusu ocaklardan üretilen malzemelerin su emme ortalama değerlerine göre %3 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

ASTM C33 standardında ince agregalar için incelik modülünün 2,3 değerinden küçük olması istenmez. Bu nedenle incelik modülü değeri için 2,3 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

TS 706 EN 12620 standardında Yassılık endeksi açısından 35 değerinin altında olan agregalar F135 kategorisinde gösterilirler. Bu nedenle Yassılık endeksi için 35 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

TS 706 EN 12620 standardında çok ince malzeme içeriği açısından en yüksek kategori 11'dir. Bu değerinin altında çok ince malzeme içeriğine sahip agregalar f₁₁ kategorisinde gösterilirler. Bu nedenle çok ince malzeme içeriği değeri için %11 sınır değer olarak kabul edilmiştir.

Kum eşdeğeri değerinin 60-70 arasında bir değer alması hafif killi kum olarak nitelendirilir ve geleneksel betonlarda kullanımı kabul edilebilir (Durmuş ve diğ.,1988). Bu nedenle Kum eşdeğeri açısından 60 - 70 aralığı sınır değer olarak kabul edilmiştir.

Standartlarda betonda kullanım açısından metilen mavisi değeri ile ilgili bir sınır değeri olmadığından söz konusu ocaktan üretilen malzemelerin metilen mavisi ortalama değerlerine göre 2 g/Kg sınır değeri olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4.22'deki veriler kullanılarak Çatalca bölgesi taşocağı için 1.bölge-2.bölge karışımı, 1.bölge-3.bölge karışımı, 2.bölge-3.bölge karışımı ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman modeli oluşturulmuştur. 1.bölge – 2.bölge karışım modeli için verilen kısıtlar dahilinde küresel bir çözüm bulunamamıştır. Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri, 1.bölge – 3.bölge karışım modeli için Tablo 4.23 ve Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4.23: Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A13	0,29	0,00
A31	0,71	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	6,02	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	1,64	0,00
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	0,00	0,13
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	3,27	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	18,77	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,03	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	0,68	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,17	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	18,4	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	5,51	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	8,22	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	1,78	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,28	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:		6,02 TL

Tablo 4.23’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 6,02 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A13=0,29$ ve $A31=0,71$ değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 3. Bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %29 oranında, 3. Bölge agregasından ise %71 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.23 İndirgenmiş maliyet sütunundan, ikil modele eklenen aylak ve artık değişkenlerin, ikil modelin en iyi çözümünde aldıkları değerler okunmaktadır. Asıl model 2 değişkenli olduğuna göre ikil model 2 kısıtlı olacak, dolayısıyla ikil modelde 2 tane aylak/artık değişken olacaktır. İndirgenmiş maliyet terimi, en iyi çözümde temelde yer almadığı halde bir değişkenin mutlaka temele girmesi istenirse, değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değerinden ne kadar zarar edileceğini gösterir. Çözümüne göre bu değerlerin ”0” olması, dual modelin kısıtlarının eşitlik halinde yani tam

olarak gerekleŖtiđini gösterir. Bu da asıl modelin eniyi çözümünde deđiŖkenlerin temel deđiŖken olduğunu ve değer aldığını gösterir.

Aylak ve artık deđiŖkenler stnn asıl modelde kısıtlara eklenen aylak veya artık deđiŖkenlerin en iyi zmde aldıkları değerleri gösterir. Aylak ve artık deđiŖkenlere bakıldığında, çekme dayanımı kısıt fonksiyonu, darbe değer kısıt fonksiyonu, kırılma değer kısıt fonksiyonu ve yoğunluk kısıt fonksiyonlarının sıfıra yakın değerler aldığı ve tam olarak gerekleŖtiđi söylenebilir. Bu nedenle bu kısıtlara herhangi bir aylak/artık deđiŖken eklenmez. Yani sınır değerler tam olarak karŖılanmıŖtır. Micro Deval kısıt fonksiyonu, yassılık kısıt fonksiyonu ve kum eŖdeđer alt kısıt fonksiyonlarının kaynakları kullanamama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre oluŖturulan harmanın bu özellikler açısından sınır değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Örneğin Micro Deval kısıtına bakıldığında 18,77 birim kadar kaynakları kullanamamıŖtır. Modelde Micro Deval değerinin 35'den küçük olması istenmiŖ, OluŖturulan harmanın micro deval değer iŖe 16,6 (35-18,77) olmuŖtur.

İkil deđiŖkenler açısından zm yorumlarsak, darbe değer kısıt fonksiyonu sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artıŖın amaç fonksiyonu değerini 0,13 birim arttıracadı, 1 birimlik azalıŖın da amaç fonksiyonu değerini 0,13 birim azaltacağı anlaŖılmaktadır.

Tablo 4.24: Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge harman modeli duyarlılık analizi

Değişken	Değer	İzin verilebilir artış	İzin verilebilir azalış
A13	5,69	0,47	$-\infty$
A31	6,16	$+\infty$	0,47
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	70	1,64	$-\infty$
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	4	0,1	$-\infty$
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	30	0,19	0,68
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	0,1
Los Angeles kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	3,27
Micro Deval kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	18,77
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	2,7	0,03	$-\infty$
Su emme kısıt fonksiyonu	3	$+\infty$	0,68
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	2,3	1,17	$-\infty$
Yassılık kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	18,4
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	11	$+\infty$	5,51
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	60	8,22	$-\infty$
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	70	$+\infty$	1,78
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	2	$+\infty$	0,28

Tablo 4.24'e göre A13 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 5,69'dur ve bu değer en çok 0,47 birim artırılabilir. Ama istenirse eksi sonsuza kadar azaltılabilir. Yani A13 ün amaç fonksiyonu katkısı, $(-\infty, 6,16]$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. A31 içinse tersi söz konusudur. A31'in amaç fonksiyonu katkısı 6,16'dır. Bu değer 0,47 birim azaltılabilir ancak artı sonsuza kadar istenen herhangi bir değer verilebilir. Bu durumda A31'in amaç fonksiyonu katkısı, $[5,69, +\infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. Buna göre Los Angeles kısıt fonksiyonu sınır değeri 3,27 birim, Micro Deval kısıt fonksiyonu sınır değeri 18,77 birim, su emme fonksiyonu sınır değeri 0,68 birim, yassılık kısıt fonksiyonu sınır değeri 18,4 birim, kum eşdeğeri üst kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,78 birim ve ince malzeme kısıt fonksiyonu sınır değeri 5,51 birim azaltılıp istenilen miktarda artırılabilir. Basma dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,64 birim, incelik modülü kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,17 birim ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonu sınır değeri 8,22 birim artırılıp, istenilen miktarda azaltılabilir.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri 2.bölge – 3.bölge karışım modeli için Tablo 4.25 ve Tablo 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.25: Çatalca bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A23	0,1	0,00
A32	0,9	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	6,16	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	5,26	0,00
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	0,29	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	1,06	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	0,63	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	4,17	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	21,4	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,003	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	1,04	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,16	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	17,66	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	5,64	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	9,95	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	0,05	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,00	0,002
Amaç Fonksiyonu değeri:		6,16 TL

Tablo 4.25’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 6,16 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A23=0,1$ ve $A32=0,9$ değerlerini almıştır. Buna göre; 2.bölgeden üretilen agreganın 3. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 2.bölge agregasından %10 oranında, 3. bölge agregasından ise %90 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.25 aylak ve artık değişkenlere bakıldığında, yoğunluk kısıt fonksiyonu, kum eşdeğeri üst kısıt fonksiyonu ve metilen mavisi kısıt fonksiyonlarının sıfıra yakın değerler aldığı ve tam olarak gerçekleştiği söylenebilir. Bu nedenle bu kısıtlara herhangi bir aylak/artık değişken eklenmez. Yani sınır değerler tam olarak karşılanmıştır. Micro

Deval kısıt fonksiyonu ve yassılık kısıt fonksiyonlarının kaynakları kullanamama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre oluşturulan harmanın bu özellikler açısından sınır değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Örneğin Micro Deval kısıtına bakıldığında 21,4 birim kadar kaynakları kullanamamıştır. Modelde Micro Deval değerinin sınır değer olan 35'den küçük olması istenmiş, oluşturulan harmanın micro deval değeri ise 13,6 (35-21,4) olmuştur.

İkil değişkenler açısından çözümü yorumlarsak, metilen mavisi kısıt fonksiyonu sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın amaç fonksiyonu değerini 0,002 birim arttıracığı, 1 birimlik azalışın da amaç fonksiyonu değerini 0,002 birim azaltacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.26: Çatalca bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge harman modeli duyarlılık analizi

Değişken	Değer	İzin verilebilir artış	İzin verilebilir azalış
A23	6,15	0,01	$-\infty$
A32	6,16	$+\infty$	0,01
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	70	5,26	$-\infty$
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	4	0,29	$-\infty$
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	1,06
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	0,63
Los Angeles kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	4,17
Micro Deval kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	21,41
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	2,7	0,003	$-\infty$
Su emme kısıt fonksiyonu	1	$+\infty$	1,04
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	2,3	1,16	$-\infty$
Yassılık kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	17,66
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	11	$+\infty$	5,64
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	60	9,95	$-\infty$
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	70	$+\infty$	0,05
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	1,5	4,41	0,02

Tablo 4.26'ya göre A23 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 6,15'dir ve bu değer en çok 0,01 birim artırılabilir. Ama istenirse eksi sonsuza kadar azaltılabilir. Yani A23 ün amaç fonksiyonu katkısı, $(-\infty, 6,16]$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. A32 içinse tersi söz konusudur. A32'nin amaç fonksiyonu katkısı 6,16'dır. Bu değer 0,01 birim azaltılabilir ancak artı sonsuza kadar istenen herhangi bir değer verilebilir. Bu durumda

A32'nin amaç fonksiyonu katkısı, $[6,16,+\infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. Buna göre darbe değerı kısıt fonksiyonu sınır değerı 1,06 birim, kırılma değerı kısıt fonksiyonu sınır değerı 0,63 birim, Los Angeles kısıt fonksiyonu değerı 4,17 birim, Micro Deval kısıt fonksiyonu sınır değerı 21,41 birim, su emme kısıt fonksiyonu sınır değerı 1,04 birim, yassılık kısıt fonksiyonu sınır değerı 17,66 birim ve ince malzeme kısıt fonksiyonu sınır değerı 5,64 birim azaltılıp istenilen miktarda artırılabilir. Basma dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değerı 5,26 birim, çekme dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değerı 0,29 birim, incelik modülü kısıt fonksiyonu sınır değerı 1,16 birim ve kum eşdeğerı alt kısıt fonksiyonu sınır değerı 9,95 birim artırılıp, istenilen miktarda azaltılabilir.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri 1.bölge – 2.bölge – 3.bölge karışım modeli için ise Tablo 4.27'de verilmiştir

Tablo 4.27: atalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 2.bölge – 3.bölge harman modeli zm

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A123	0,29	0,00
A213	0,00	0,0014
A312	0,71	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	6,02	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	1,64	0,00
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Darbe değerı kısıt fonksiyonu	0,00	0,00
Kırılma değerı kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	3,27	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	18,77	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,003	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	0,68	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,17	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	18,41	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	5,51	0,00
Kum eşdeğerı alt kısıt fonk.	8,22	0,00
Kum eşdeğerı üst kısıt fonk.	1,77	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,28	0,00
Amaç Fonksiyonu değerı:		6,02 TL

Tablo 4.27’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 6,02 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{123}=0,29$, $A_{213}=0$ ve $A_{312}=0,71$ değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 2. ve 3. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %29 oranında kullanılması gerektiği, 2. bölge agregasının karışımda kullanılmaması gerektiği ve 3.bölge agregasından ise %71 oranında karışımda kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Modelin çözümü 2.bölge agregasının kullanılmaması ve karışımın yapılmaması gerektiğini önermektedir. A_{213} değişkeni indirgenmiş maliyet sütununda 0,0014 değerini almıştır. Buna göre değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değeri 0,0014 birim artar. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 2.bölge agregasının maksimum 0,05 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre A_{213} değişkeni pozitiflik kısıtı (>0) modelde sırasıyla 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05 ve 0,06 birim artırılmış 0,06 değerinde modelin bir çözüm vermediği gözlemlenmiştir. Böylece verilen kısıtlar dahilinde 3.bölge agregası karışımda kullanılmak istenirse en fazla %5 oranında kullanılabilir. Buda üretim maliyetini 0,00007 TL ($0,06 \times 0,0014$) artıracaktır.

4.3.2. Cendere Bölgesi Taşocağı Harmanlama Modeli

Cendere bölgesi taşocağı 3 farklı bölgeye ait agrega ürün grupları ikili ve üçlü şekilde doğrusal programlama modeli kullanılarak harmanlanmıştır. Buna göre 1.bölge-2.bölge karışımı, 1.bölge-3.bölge karışımı, 2.bölge-3.bölge karışımı ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak maliyetin tanımlandığı bu dört modelin çözümü sırasında kısıt fonksiyonu sınır değerleri standartlar ve literatürde belirtilen değerlere göre belirlenmiştir. Sınır değerlerin belirlenmesinde, agregaların geleneksel beton üretiminde kullanımı ve söz konusu ocaktan üretilen malzeme özellikleri de dikkate alınmıştır. Tablo 4.28’de harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri verilmiştir. Tablo 4.28’deki veriler kullanılarak Cendere bölgesi taşocağı için 1.bölge-2.bölge karışımı, 1.bölge-3.bölge karışımı, 2.bölge-3.bölge karışımı ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımı olacak şekilde 4 farklı harman modeli oluşturulmuştur. Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri, 1.bölge – 2.bölge karışım modeli için Tablo 4.29 ve Tablo 4.30’da verilmiştir.

Tablo 4.28: Cendere bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri

Deneyleer	Cendere bölgesi	Cendere bölgesi	Cendere bölgesi	Sınır Değer
	1.Bölge	2. Bölge	3.Bölge	
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	6,08	5,64	6,28	Minimum
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	82,1	55,3	108,14	>70
Çekme Dayanımı (MPa)	5,85	4,2	7,33	>4
Darbe Değeri (%)	16,82	22,99	13,07	<30
Kırılma Değeri (%)	14,84	20,06	12,37	<30
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	13,27	16,25	11,83	<30
Aşınma Direnci (Micro Deval)	31,88	30,58	13,44	<35
Tane Yoğunluğu (g/Cm ³)	2,76	2,75	2,79	>2,7
Su Emme Oranı (%)	0,74	0,86	1,51	<3
İncelik Modülü Değerleri	3,55	3,45	3,59	>2,3
Yassılık Endeksi Değeri (%)	25,98	27,83	16,18	<35
Çok İnce Malzeme İçeriği	3,78	4,89	3,40	<11
Kum Eşdeğeri	68,13	70,45	66,99	60-70
Metilen Mavisı Değeri (g/Kg)	0,75	1	2,75	<2

Tablo 4.29: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge – 2.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A12	0,55	0,00
A21	0,45	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	5,88	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	0,00	-0,02
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	1,11	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	10,39	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	12,80	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	15,38	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	3,71	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,06	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	2,21	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,20	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	8,18	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	6,72	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	9,18	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	0,82	0,00
Metilen mavisı kısıt fonksiyonu	1,14	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:		5,88 TL

Tablo 4.29'dan da görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 5,88 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{12}=0,55$ ve $A_{21}=0,45$ değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 2. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %55 oranında, 2. bölge agregasından ise %45 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aylak ve artık değişkenler sütunu asıl modelde kısıtlara eklenen aylak veya artık değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterir. Çözüme göre tek eksenli basma dayanımı "0" değerini aldığından bu fonksiyonun sıkı olarak gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır bu nedenle bu kısıta herhangi bir aylak/artık değişken eklenmez. Yani sınır değer olan 70 MPa tam olarak karşılanmıştır. Diğer değerlere bakıldığında, belirli bir miktara kadar kaynakları kullanamama durumu vardır. darbe değeri kısıt fonksiyonu, kırılma değeri kısıt fonksiyonu, yassılık kısıt fonksiyonu ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonlarının kaynakları kullanamama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu da oluşturulan harmanın bu özellikler açısından sınır değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Örneğin kırılma değeri kısıtına bakıldığında 12,80 birim kadar kaynakları kullanamamıştır. Modelde kırılma değerinin 30'dan küçük olması istenmiş, Oluşturulan harmanın kırılma değeri ise 17,20 (30-12,80) olmuştur.

İkil değişkenler sütunu, ikil (dual) değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterir. İkil değişkenler, modelin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik artış veya azalış yapılırsa amaç fonksiyonu değerinin bu değişiklikten nasıl etkileneceğini gösterir. Amaç fonksiyonu en küçük (min) biçimindeyse kısıtlara karşı gelen ikil değişken değerlerinin -1 ile çarpılması gerekmektedir. Buna göre çözümden, basma dayanımı kısıtı haricindeki kısıtların sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik herhangi bir artışın ya da azalışın amaç fonksiyonu üzerinde, karşı gelen ikil değişken değerleri sıfır olduğu için, hiçbir etkisi olmayacağı anlaşılmaktadır. Ama basma dayanımı 0,02 olduğu için, sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın amaç fonksiyonu değerini 0,02 birim arttıracığı, 1 birimlik azalışın da amaç fonksiyonu değerini 0,02 birim azaltacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.30: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge – 2.bölge harman modeli duyarlılık analizi

Değişken	Değer	İzin verilebilir artış	İzin verilebilir azalış
A12	6,08	$+\infty$	0,44
A21	5,64	0,44	$-\infty$
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	70	12,1	9,50
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	4	1,1	$-\infty$
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	10,39
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	12,80
Los Angeles kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	15,38
Micro Deval kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	3,71
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	2,7	0,06	$-\infty$
Su emme kısıt fonksiyonu	3	$+\infty$	2,20
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	2,3	1,2	$-\infty$
Yassılık kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	8,18
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	11	$+\infty$	6,72
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	60	9,18	$-\infty$
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	70	$+\infty$	0,82
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	2	$+\infty$	0,64

Duyarlılık analizi raporundaki ilk kısım, amaç fonksiyonu katkılarına göre duyarlılık analizi sonuçlarıdır. Burada değişkenin amaç fonksiyonundaki katkısı ile, bu değer eldeki eniyi çözümü değiştirmeden ne kadar arttırılabileceği veya azaltılabileceği görüntülenir. Çözümüne göre A12 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 6,08'dir ve bu değer en çok 0.44 birim azaltılabilir. Ama istenirse artı sonsuza kadar istenen herhangi bir değer verilebilir. Yani A12 nin amaç fonksiyonu katkısı, $[5,64,+\infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. A21 içinse tersi söz konusudur. A21'in amaç fonksiyonu katkısı 5,64'dür. Bu değer eksi sonsuza kadar azaltılabilir ve ancak 0.44 birim arttırılabilir. Bu durumda A21'in amaç fonksiyonu katkısı, $(-\infty,6,08]$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. Kısıt fonksiyonlarının tanımlandığı satırlarda ise her kısıtın sağ taraf sabiti değeri ve eldeki en iyi çözüm takımını değiştirmemek koşuluyla bu değer ne kadar arttırılabileceği veya azaltılabileceği verilir. Örneğin; kırılma değeri kısıt fonksiyonunun sağ taraf sabiti değeri 30'dur ve bu değer en çok 12,80 birim azaltılabilir ama istendiği

kadar arttırılabilir. Yani sınır değer $[17,2, + \infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı değişmez. Bu aralık dışında değişiklik yapılırsa eldeki en iyi çözüm takımı da değişecektir. Buna göre darbe değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 10,39 birim, kırılma değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 12,80 birim, Micro Deval kısıt fonksiyonu sınır değeri 9,27 birim, Los Angeles kısıt fonksiyonu sınır değeri 15,38 birim, su emme kısıt fonksiyonu sınır değeri 2,20 birim, yassılık kısıt fonksiyonu sınır değeri 8,18 birim, kum eşdeğeri üst kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,82 birim, metilen mavisi kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,13 birim ve ince malzeme kısıt fonksiyonu sınır değeri 6,72 birim azaltılıp istenilen miktarda arttırılabilir. Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,11 birim, yoğunluk kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,06 birim, incelik modülü kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,2 birim ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonu sınır değeri 9,18 birim artırılıp, istenilen miktarda azaltılabilir. Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri, 2.bölge – 3.bölge karışım modeli için Tablo 4.31 ve Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.31: Cendere bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A23	0,72	0,00
A32	0,28	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	5,82	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	0	-0,01
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	1,1	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	9,81	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	12,08	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	14,98	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	9,19	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	1,96	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,19	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	10,41	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	6,52	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	9,49	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	0,51	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,51	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:	5,82 TL	

Tablo 4.31'den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 5,82 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{23}=0,72$ ve $A_{32}=0,28$ değerlerini almıştır. Buna göre; 2.bölgeden üretilen agreganın 3. Bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 2.bölge agregasından %72 oranında, 3. Bölge agregasından ise %28 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aylak ve artık değişkenlere bakıldığında, basma dayanımı kısıt fonksiyonunun sıfıra yakın değer aldığı ve tam olarak gerçekleştiği söylenebilir. Bu nedenle bu kısıta herhangi bir aylak/artık değişken eklenmez. Yani sınır değer tam olarak karşılanmıştır. Darbe değeri kısıt fonksiyonu, kırılma değeri kısıt fonksiyonu, Micro Deval kısıt fonksiyonu, ince malzeme kısıt fonksiyonu, yassılık kısıt fonksiyonu ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonlarının kaynakları kullanamama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre oluşturulan harmanın bu özellikler açısından sınır değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Örneğin kırılma değeri kısıtına bakıldığında 12,12 birim kadar kaynakları kullanamamıştır. Modelde kırılma değerinin 30'dan küçük olması istenmiş, Oluşturulan harmanın kırılma değeri ise 17,88 (30-12,12) olmuştur.

İkil değişkenler açısından çözümü yorumlarsak, basma dayanımı kısıt fonksiyonu sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın amaç fonksiyonu değerini 0,01 birim arttıracığı, 1 birimlik azalışın da amaç fonksiyonu değerini 0,01 birim azaltacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.32: Cendere bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge harman modeli duyarlılık analizi

Değişken	Değer	İzin verilebilir artış	İzin verilebilir azalış
A23	5,64	0,64	$-\infty$
A32	6,28	$+\infty$	0,64
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	70	15,49	7,83
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	4	1,1	$-\infty$
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	9,77
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	12,08
Los Angeles kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	14,97
Micro Deval kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	9,19
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	2,7	0,06	$-\infty$
Su emme kısıt fonksiyonu	3	$+\infty$	1,96
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	2,3	1,19	$-\infty$
Yassılık kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	10,41
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	11	$+\infty$	6,53
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	60	9,49	$-\infty$
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	70	$+\infty$	0,51
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	2	$+\infty$	0,51

Tablo 4.32'ye göre A23 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 5,64'dür ve bu değer en çok 0,64 birim artırılabilir. Ama istenirse eksi sonsuza kadar azaltılabilir. Yani A23 ün amaç fonksiyonu katkısı, $(-\infty, 6,28]$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. A32 içinse tersi söz konusudur. A32'nin amaç fonksiyonu katkısı 6,28'dir. Bu değer 0,64 birim azaltılabilir ancak artı sonsuza kadar istenen herhangi bir değer verilebilir. Bu durumda A32'nin amaç fonksiyonu katkısı, $[5,64, +\infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. Buna göre darbe değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 9,77 birim, kırılma değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 12,08 birim, Micro Deval kısıt fonksiyonu sınır değeri 9,19 birim, yassılık kısıt fonksiyonu sınır değeri 10,41 birim, kum eşdeğeri üst kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,51 birim ve ince malzeme kısıt fonksiyonu sınır değeri 6,53 birim azaltılıp istenilen miktarda artırılabilir. Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değeri 1,07 birim, yoğunluk kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,06 birim, incelik modülü kısıt fonksiyonu sınır

değeri 1,19 birim ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonu sınır değeri 9,49 birim artırılıp, istenilen miktarda azaltılabilir.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri, 1.bölge – 2.bölge - 3.bölge karışım modeli için Tablo 4.33’de verilmiştir.

Tablo 4.33: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A123	0,0	0,12
A213	0,72	0,00
A312	0,28	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	5,82	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	0	-0,01
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	1,1	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	9,81	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	12,08	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	14,98	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	9,19	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,1	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	1,96	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,19	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	10,41	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	6,52	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	9,49	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	0,51	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,51	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:		5,82 TL

Tablo 4.33’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 5,82 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{123}=0$, $A_{213}=0,72$ ve $A_{312}=0,28$ değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 2. ve 3. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 2.bölge agregasından %72 oranında kullanılması gerektiği, 1. bölge agregasının karışımında kullanılmaması gerektiği ve 3.bölge agregasından ise %28 oranında karışımında kullanılması gerektiği

sonucuna varılmıştır. Modelin çözümü 1.bölge agregasının kullanılmaması ve karışımın yapılmaması gerektiğini önermektedir. A123 değişkeni indirgenmiş maliyet sütununda 0,12 değerini almıştır. Buna göre değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değeri 0,12 birim artar. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 1.bölge agregasının karışıma istenildiği miktarda katılabileceği sonucuna varılmıştır.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri 1.bölge – 3.bölge karışım modeli için Tablo 4.34’de verilmiştir.

Tablo 4.34: Cendere bölgesi taşıdığı 1.bölge – 3.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A13	1,00	0,00
A32	0,00	0,20
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	6,08	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	12,1	0,00
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	1,85	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	13,18	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	15,16	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	16,73	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	3,12	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,10	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	2,26	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,25	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	9,02	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	7,22	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	8,13	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	1,87	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	1,25	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:	6,08 TL	

Tablo 4.34’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 6,08 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde A13=1 ve A32=0 değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 3. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %100 oranında kullanılması

gerektiği, 3. bölge agregasından ise karışımda kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Modelin çözümü 3.bölge agregasının kullanılmaması ve karışımın yapılmaması gerektiğini önermektedir. A32 değişkeni indirgenmiş maliyet sütununda 0,20 değerini almıştır. Buna göre değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değeri 0,20 birim artar. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 3.bölge agregasının maksimum 0,6 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre A32 değişkeni pozitiflik kısıtı (>0) modelde sırasıyla 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 ve 0,7 birim artırılmış 0,7 değerinde modelin bir çözüm vermediği gözlemlenmiştir. Böylece verilen kısıtlar dahilinde 3.bölge agregası karışımda kullanılmak istenirse en fazla %60 oranında kullanılacaktır. Buda üretim maliyetini 0,12 TL ($0,6 \times 0,2$) artıracaktır.

4.3.3. Cendere Bölgesi-Çatalca Bölgesi Harmanlama Modeli

Bu çalışma kapsamında Cendere bölgesi 1.bölge, Çatalca bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölgelerin ikili ve üçlü ürün harman grupları oluşturulmuştur. 3 farklı bölgeye ait agrega ürün grupları ikili ve üçlü şekilde doğrusal programlama modeli kullanılarak harmanlanmıştır. Model oluşturulurken 1. bölge olarak Cendere bölgesi 1.bölge, 2.bölge olarak Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge olarak Çatalca bölgesi 2.bölge tanımlanmış ve çözümlenmeler bu şekilde yapılmıştır. Buna göre 1.bölge-2.bölge karışımı, 1.bölge-3.bölge karışımı ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımı olacak şekilde 3 farklı harman elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak maliyetin tanımlandığı bu dört modelin çözümü sırasında kısıt fonksiyonu sınır değerleri standartlar ve literatürde belirtilen değerlere göre belirlenmiştir. Sınır değerler agregaların geleneksel beton üretiminde kullanımına göre belirlenmiştir. Tablo 4. 35’de harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri verilmiştir.

Tablo 4.35’deki veriler kullanılarak 1.bölge-2.bölge karışımı, 1.bölge-3.bölge karışımı ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımı olacak şekilde 3 farklı harman modeli oluşturulmuştur.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri, Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışım modeli için Tablo 4.36 ve Tablo 4.37’de verilmiştir.

Tablo 4.35: Çatalca bölgesi-Cendere bölgesi taşocağı harmanlama modelinde kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonu değerleri

Deneyle	Cendere bölgesi	Çatalca bölgesi	Çatalca bölgesi	Sınır Değer
	1.Bölge	1. Bölge	2.Bölge	
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	6,08	5,69	6,15	Minimum
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	82,1	62,4	73,9	>70
Çekme Dayanımı (MPa)	5,85	3,6	4,2	>4
Darbe Değeri (%)	16,82	32,63	29,02	<30
Kırılma Değeri (%)	14,84	31,24	29,46	<30
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	13,27	29,43	27,72	<30
Aşınma Direnci (Micro Deval)	31,88	22,98	14,68	<35
Tane Yoğunluğu (g/Cm ³)	2,76	2,71	2,73	>2,7
Su Emme Oranı (%)	0,74	3,5	3,08	<3
İncelik Modülü Değerleri	3,55	3,49	3,46	>2,3
Yassılık Endeksi Değeri (%)	25,98	14,34	15,69	<35
Çok İnce Malzeme İçeriği	3,78	5,91	5,71	<11
Kum Eşdeğeri	68,13	61,4	60	60-70
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	0,75	2,25	6,75	<2

Tablo 4.36: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A12	0,38	0,00
A21	0,62	0,00
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	5,88	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	0	-0,02
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	0,47	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	3,47	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	5,09	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	6,80	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	8,59	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,03	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	0,56	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,21	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	16,17	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	5,91	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	3,99	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	6,00	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,33	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:		5,88 TL

Tablo 4.36'dan da görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 5,88 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{12}=0,38$ ve $A_{21}=0,62$ değerlerini almıştır. Buna göre; Cendere bölgesi 1.bölgeden üretilen agreganın Çatalca bölgesi 1.bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, Cendere bölgesi 1.bölge agregasından %38 oranında, Çatalca bölgesi 1. Bölge agregasından ise %62 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aylak ve artık değişkenlere bakıldığında, yoğunluk kısıt fonksiyonu ve basma dayanımı kısıt fonksiyonlarının sıfıra yakın değerler aldığı ve sıkı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Bu nedenle bu kısıtlara herhangi bir aylak/artık değişken eklenmez. Yani sınır değerler tam olarak karşılanmıştır. darbe değeri, kırılma değeri, ve yassılık kısıt fonksiyonlarının kaynakları kullanamama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre oluşturulan harmanın bu özellikler açısından sınır değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Örneğin yassılık kısıtına bakıldığında 16,17 birim kadar kaynakları kullanamamıştır. Modelde yassılık değerinin 35'den küçük olması istenmiş, Oluşturulan harmanın kırılma değeri ise 18,83 (35-16,17) olmuştur. İkili değişkenler açısından çözümü yorumlarsak, basma dayanımı kısıt fonksiyonu sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın amaç fonksiyonu değerini 0,02 birim arttıracak, 1 birimlik azalışın da amaç fonksiyonu değerini 0,02 birim azaltacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.37: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge harman modeli duyarlılık analizi

Değişken	Değer	İzin verilebilir artış	İzin verilebilir azalış
A12	6,08	$+\infty$	0,39
A21	5,69	0,39	$-\infty$
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	70	12,1	4,03
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	4	0,47	$-\infty$
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	3,47
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	5,09
Los Angeles kısıt fonksiyonu	30	$+\infty$	6,80
Micro Deval kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	8,59
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	2,7	0,03	$-\infty$
Su emme kısıt fonksiyonu	3	$+\infty$	0,56
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	2,3	1,21	$-\infty$
Yassılık kısıt fonksiyonu	35	$+\infty$	16,17
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	11	$+\infty$	5,91
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	60	3,99	$-\infty$
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	70	$+\infty$	6,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	2	$+\infty$	0,33

Tablo 4.37'ye göre A12'nin amaç fonksiyonu katkısı 6,22'dir. Bu değer 0,56 birim azaltılabilir ancak artı sonsuza kadar istenen herhangi bir değer verilebilir. Bu durumda A12'nin amaç fonksiyonu katkısı, $[5,66,+\infty)$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. A21 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 5,66'dır ve bu değer en çok 0,56 birim artırılabilir. Ama istenirse eksi sonsuza kadar azaltılabilir. Yani A23'ün amaç fonksiyonu katkısı, $(-\infty,6,22]$ aralığında değiştiği sürece eldeki en iyi çözüm takımı ve onların en iyi çözümde aldıkları değerler değişmez. Buna göre darbe değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 3,47 birim, kırılma değeri kısıt fonksiyonu sınır değeri 5,09 birim, Los Angeles kısıt fonksiyonu değeri 6,8 birim, Micro Deval kısıt fonksiyonu sınır değeri 8,59 birim, yassılık kısıt fonksiyonu sınır değeri 16,17 birim, kum eşdeğeri üst kısıt fonksiyonu sınır değeri 6 birim, metilen mavisi kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,33 birim ve ince malzeme kısıt fonksiyonu sınır değeri 5,91 birim azaltılıp istenilen miktarda artırılabilir. Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu sınır değeri 0,47 birim, incelik modülü kısıt

fonksiyonu sınır değeri 1,21 birim ve kum eşdeğeri alt kısıt fonksiyonu sınır değeri 3,99 birim artırılıp, istenilen miktarda azaltılabilir.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri, Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışım modeli için Tablo 4.38’ de verilmiştir.

Tablo.4.38: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A13	1,00	0,00
A31	0,00	0,07
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	6,08	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	12,1	0,00
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	1,85	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	13,18	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	15,16	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	16,73	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	3,12	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,06	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	2,26	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,25	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	9,02	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	7,22	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	8,13	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	1,87	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	1,25	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:	6,08 TL	

Tablo 4.38’den de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 6,08 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde A13=1 ve A31=0 değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 3. Bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %100 oranında kullanılması gerektiği, 3. Bölge agregasından ise karışımda kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Modelin çözümü 3.bölge agregasının kullanılmaması ve karışımın yapılmaması gerektiğini önermektedir. A31 değişkeni İndirgenmiş maliyet sütununda 0,07 değerini almıştır. Buna göre değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç

fonksiyonu değeri 0,07 birim artar. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 3.bölge agregasının maksimum 0,2 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre A31 değişkeni pozitiflik kısıtı (>0) modelde sırasıyla 0,1, 0,2 ve 0,3 birim artırılmış 0,3 değerinde modelin bir çözüm vermediği gözlemlenmiştir. Böylece verilen kısıtlar dahilinde 3.bölge agregası karışımında kullanılmak istenirse en fazla %20 oranında kullanılabilir. Buda üretim maliyetini 0,014 TL (0,07 x 0,2) artıracaktır.

Lingo 9 paket programı kullanılarak yapılan model çözümleri ve duyarlılık analizleri, Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışım modeli için Tablo 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.39: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge harman modeli çözümü

Değişken	Değer	İndirgenmiş maliyet
A123	0,38	0,00
A213	0,62	0,00
A312	0,00	0,23
	Aylak ve artık değişkenler	İkil değişkenler
Amaç fonksiyonu	5,84	-1,00
Basma dayanımı kısıt fonksiyonu	0	-0,02
Çekme dayanımı kısıt fonksiyonu	0,47	0,00
Darbe değeri kısıt fonksiyonu	3,47	0,00
Kırılma değeri kısıt fonksiyonu	5,09	0,00
Los Angeles kısıt fonksiyonu	6,80	0,00
Micro Deval kısıt fonksiyonu	8,59	0,00
Yoğunluk kısıt fonksiyonu	0,03	0,00
Su emme kısıt fonksiyonu	0,56	0,00
İncelik modülü kısıt fonksiyonu	1,21	0,00
Yassılık kısıt fonksiyonu	16,17	0,00
İnce malzeme kısıt fonksiyonu	5,91	0,00
Kum eşdeğeri alt kısıt fonk.	3,99	0,00
Kum eşdeğeri üst kısıt fonk.	6,00	0,00
Metilen mavisi kısıt fonksiyonu	0,33	0,00
Amaç Fonksiyonu değeri:	5,84 TL	

Tablo 4.39’den da görüldüğü gibi amaç fonksiyonu yani agrega üretim maliyeti 5,84 TL olarak bulunmuştur. Tablodaki değer sütunundan asıl modeldeki değişkenlerin en iyi

modelde aldıkları değerler okunmaktadır. Buna göre modelin en iyi çözümünde $A_{123}=0,38$, $A_{213}=0,62$ ve $A_{312}=0,00$ değerlerini almıştır. Buna göre; 1.bölgeden üretilen agreganın 2. ve 3. bölgeden üretilen agrega ile yaptığı harmanda, 1.bölge agregasından %38 oranında kullanılması gerektiği, 3. bölge agregasının karışımında kullanılmaması gerektiği ve 2.bölge agregasından ise %62 oranında karışımında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Modelin çözümü 3.bölge agregasının kullanılmaması ve karışımın yapılmaması gerektiğini önermektedir. A_{213} değişkeni İndirgenmiş maliyet sütununda 0,23 değerini almıştır. Buna göre değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değeri 0,23 birim artar. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 3.bölge agregasının maksimum 0,2 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre A_{312} değişkeni pozitiflik kısıtı (>0) modelde sırasıyla 0,1, 0,2 ve 0,3 birim artırılmış 0,3 değerinde modelin bir çözüm vermediği gözlemlenmiştir. Böylece verilen kısıtlar dahilinde 3.bölge agregası karışımında kullanılmak istenirse en fazla %20 oranında kullanılabilir.

4.3.4. Agregası Üretim Harmanlaması Model Çözümlerinin Karşılaştırılması

Doğrusal programlama kullanılarak yapılan harmanlama modelleri sonucunda, verilen kısıtlara göre Cendere bölgesi Taşocağı için 2, Çatalca bölgesi Taşocağı için 2 ve Cendere bölgesi-Çatalca bölgesi karışımı için 1 harman modeli geliştirilmiştir. Bu modeller sonucu oluşturulan harmanlara ait maliyet ve agrega kalite kontrol parametre değerleri Cendere bölgesi Taşocağı için Tablo 4.40' da, Çatalca bölgesi Taşocağı için Tablo 4.41' de ve Cendere bölgesi-Çatalca bölgesi karışımı içinse Tablo 4.42' de verilmiştir.

Tablo 4.40: Cendere bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol parametre değerleri

Değerler	1.Bölge-2.Bölge	2.Bölge-3.Bölge
	Karışımı	Karışımı
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	5,88	5,82
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	70	70,24
Çekme Dayanımı (MPa)	5,11	5,10
Darbe Değeri (%)	19,61	20,19
Kırılma Değeri (%)	17,2	17,88
Parçalanma Diren.(Los Angeles)	14,62	15
Aşınma Direnci (Micro Deval)	31,29	25,73
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	2,76	2,8
Su Emme Oranı (%)	0,79	0,99
İncelik Modülü Değerleri	3,5	3,49
Yassılık Endeksi Değeri (%)	26,82	24,54
Çok İnce Malzeme İçeriği	17,72	17,53
Kum Eşdeğeri	69,18	69,47
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	0,86	1,49
Karışım oranları	%55 1.Bölge	%72 2.Bölge
	%45 2.Bölge	%28 3.Bölge

Tablo 4.40'dan da görüldüğü gibi agrega üretim maliyeti açısından 5,82 TL/ton değeriyle 2.bölge – 3. Bölge karışımı daha iyi sonuç vermiştir. Agreganın kalitesi parametreleri açısından değerlendirirsek;

- Tek eksenli basma dayanımı açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
- Çekme dayanımı dayanımı açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- Darbe değeri açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- Kırılma değeri açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- Parçalanma direnci açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- Aşınma direnci (Micro Deval) açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
- Tane yoğunluğu açısından 2.bölge-3.bölge ve 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımları,
- Su emme oranı açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- İncelik modülü değerleri açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,
- Yassılık endeksi değeri açısından 2.bölge - 3.bölge karışımı,
- Çok ince malzeme içeriği açısından 2.bölge - 3.bölge karışımı,
- Kum eşdeğeri açısından 2.bölge - 3.bölge karışımı,
- Metilen mavisi değeri açısından 1.bölge-2.bölge karışımı,

daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.41: Çatalca bölgesi harman modelleri maliyet ve agrega kalite kontrol parametre değerleri

Değerler	1.Bölge–3.Bölge	2.Bölge–3.Bölge
	Karışımı	Karışımı
Agrega Üretim Maliyeti (TL/Ton)	6,02	6,16
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	71,64	75,26
Çekme Dayanımı (MPa)	4,1	4,29
Darbe Değeri (%)	30	28,94
Kırılma Değeri (%)	29,9	29,37
Parçalanma Diren.(Los Angeles)	26,73	25,83
Aşınma Direnci (Micro Deval)	16,23	13,6
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	2,73	2,70
Su Emme Oranı (%)	2,32	1,96
İncelik Modülü Değerleri	3,47	3,46
Yassılık Endeksi Değeri (%)	16,6	17,34
Çok İnce Malzeme İçeriği	16,51	16,64
Kum Eşdeğeri	68,22	69,95
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	1,72	2
Karışım oranları	%29 1.Bölge	%10 2.Bölge %90 3.Bölge

Tablo 4.41' den de görüldüğü gibi agrega üretim maliyeti açısından 6,02 TL/ton değeriyle 1.bölge – 3. Bölge karışımı daha iyi sonuç vermiştir. Agreganın kalitesi parametreleri açısından değerlendirirsek;

- Tek eksenli basma dayanımı açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Çekme dayanımı dayanımı açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Darbe değeri açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Kırılma değeri açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Parçalanma direnci açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Aşınma direnci (Micro Deval) açısından 2.bölge -3.bölge karışımı,
 - Tane yoğunluğu açısından 1.bölge -3.bölge karışımı,
 - Su emme oranı açısından 2.bölge–3.bölge karışımı,,
 - İncelik modülü değerleri açısından 1.bölge–3.bölge karışımı,
 - Yassılık endeksi değeri açısından 1.bölge - 3.bölge karışımı,
 - Çok ince malzeme içeriği açısından 1.bölge - 3.bölge karışımı,
 - Kum eşdeğeri açısından 2.bölge - 3.bölge karışımı,
 - Metilen mavisi değeri açısından 1.bölge–3.bölge karışımı,
- daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.42: Cendere bölgesi-Çatalca bölgesi harman modelleri maliyet ve kalite kontrol parametre değerleri

Değerler	Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge	
	Karışımı	
Agrega Üretim Maliyeti	5,88	
Tek Eksenli Basma Day.(MPa)	70	
Çekme Dayanımı (MPa)	4,47	
Darbe Değeri (%)	26,53	
Kırılma Değeri (%)	24,91	
Parçalanma Diren.(Los Angeles)	23,2	
Aşınma Direnci (Micro Deval)	26,41	
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	2,73	
Su Emme Oranı (%)	2,44	
İncelik Modülü Değerleri	3,51	
Yassılık Endeksi Değeri (%)	18,83	
Çok İnce Malzeme İçeriği	5,09	
Kum Eşdeğeri	63,99	
Metilen Mavisı Değeri (g/Kg)	64	
Karışım oranları	%38 Cendere bölgesi 1.Bölge	
	%62 Çatalca bölgesi 1.Bölge	

Tablo 4.42’den de görüldüğü gibi agrega üretim maliyeti açısından 6,16 TL/ton değeriyle Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı daha iyi sonuç vermiştir. Agreganın kalitesi parametreleri açısından değerlendirirsek;

- Tek eksenli basma dayanımı açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,
- Çekme dayanımı dayanımı açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,
- Darbe değeri açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,
- Kırılma değeri açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı,
- Parçalanma direnci açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı,
- Aşınma direnci (Micro Deval) açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,
- Yassılık endeksi değeri açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,

- Çok ince malzeme içeriği açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı,
- Kum eşdeğeri açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı,
- Metilen mavisi değeri açısından Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı,

daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.43’de çalışma kapsamında oluşturulan tüm harman modellerinin üretim maliyet değerleri verilmiştir.

Tablo 4.43: Tüm harman modellerinin üretim maliyet değerleri

Harman modeli	Üretim maliyet (TL/Ton)
Cendere bölgesi 1.Bölge–2.Bölge Karışımı	5,88
Cendere bölgesi 2.Bölge–3.Bölge Karışımı	5,82
Çatalca bölgesi 1.Bölge–3.Bölge Karışımı	6,02
Çatalca bölgesi 2.Bölge–3.Bölge Karışımı	6,16
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge Karışımı	5,88

Tablo 4.43’e göre üretim maliyetleri açısından en uygun harman grubu 5,82 TL/Ton değeriyle Cendere bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışım modelidir.

4.4. AGREGA HARMANLAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN EN UYGUN DENEYSEL TASARIM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında agrega harmanlama modeli kullanılarak bulunan harman oranlarının beton özellikleri üzerinde etkisinin tespiti amacıyla, istatistiksel deney tasarımı kullanılarak söz konusu taşocaklarının farklı bölgelerinden üretilen agregalar ile beton örnekler hazırlanmıştır ve bu örnekler üzerinde betonun mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Buna göre farklı formasyonlardan üretilen agregaların beton üretiminde farklı oranlarda kullanılması halinde betonun mekanik özelliklerinden basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranının ne ölçüde etkileneceği belirlenecektir. Bu çalışma kapsamında İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak, farklı formasyonların beton üretiminde farklı oranlarda birlikte

kullanımı halinde, betonun mekanik özelliklerinden basma ve çekme dayanımının tahmininde kullanılacak ampirik formüller geliştirilmiş ve doğrusal programlama kullanılarak bulunan agrega harman oranlarının betonun basma ve çekme dayanımlarını nasıl etkilediği belirlenmiştir. Böylece harmanlama modeli ile bulunan harman oranları ile üretilecek olan betonların mekanik özellikleri, istatistiksel deney tasarımı yöntemi ile tahmin edilecek ve betonun mekanik özelliklerinin harmanlama modelindeki kısıt değerlerinin değişimlerinden ne ölçüde etkilendiği ortaya konulacaktır.

Buna göre minitab paket programı kullanılarak beton üretiminde kullanılacak deney tasarımı karışım dizaynı yapılmıştır. Karışım dizaynı modeli olarak hem doğrusal hemde kuadratik yaklaşıma uygun olan simpleks centroid yöntemi seçilmiştir. Böylece agrega kullanımı açısından etkileşimin etkisinde belirlenmiştir. Söz konusu taş ocaklarından alınan 3'er farklı agrega için beton üretiminde kullanılacak 3'er adet 2'li karışım dizaynı, 1'er adette üçlü karışım dizaynı oluşturulmuştur. İkili karışımlar için hazırlanan karışım dizaynı Tablo 4.44'de, üçlü karışımlar için hazırlanan karışım dizaynı ise Tablo 4.45'de verilmiştir.

Tablo 4.44: Beton üretiminde ikili agrega karışım dizaynı

Sıra no	i.Bölge	j.Bölge
1	0.50	0.50
2	0	1
3	1	0
4	0.25	0.75
5	0.75	0.25
6	0.25	0.75
7	0	1
8	0.75	0.25
9	0.50	0.50
10	1	0

Tablo 4.45: Beton üretiminde üçlü agrega karışım dizaynı

Sıra no	i.BÖLGE	j.BÖLGE	k.BÖLGE
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0.5	0.5	0
5	0	0.50	0.5
6	0.5	0	0.5
7	0.33	0.33	0.33

Buna göre ikili karışımlar için 10'ar adet üçlü karışımlar içinse 7'şer adet beton karışımı oluşturulması gerekmektedir. Tablolardaki rakamlar beton üretiminde kullanılacak agregaların karışım içerisinde alması gereken oranları vermektedir. Bir örnekle açıklayacak olursak, Tablo 4.44 İlk satırı, beton üretimi sırasında i.bölgeden üretilen agregadan %50 oranında, j. bölgeden üretilen agregadan ise yine %50 oranında karıştırılması gerektiği anlamına gelmektedir.

4.4.1. Beton Karışımları Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında Tablo 4.44 ve 4.45'deki agrega karışım oranları kullanılarak toplam 25 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Karışım hesaplamalarında mutlak hacim metodu kullanılmış ve tüm karışımlardaki çimento miktarı sabit tutulmuştur (400 kg/m^3). Karışımlarda CEM I tipi katkısız çimento kullanılmıştır. Ayrıca su/çimento oranı tüm karışımlarda 0,54 ve çökme miktarı da 9-10 cm arasında olacak şekilde karışım dizaynları oluşturulmuştur. Hazırlanan tüm beton karışımlarda çökme miktarının sabit tutulması amacıyla deneme betonları hazırlanmış ve karışımda kullanılacak su miktarı, agrega su emme değerleri de dikkate alınarak düzeltilmiştir. Çökme miktarı TS standardına göre belirlenmiştir. Beton karışım tasarımı yapılırken yaygın kullanım alanına sahip C30 sınıfında geleneksel tip beton üretimi amaçlanmıştır. Tablo 4.46'da hazırlanan beton karışımlarına ait düzeltilmiş oranlar verilmektedir.

Tablo 4.46: Hazırlanan beton karışımlarına ait düzeltilmiş oranlar (1m³ karışımdaki)

Karışım	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)	Çökme (cm)
Çatalca bölgesi 1.bölge	400	271	1673	9
Çatalca bölgesi 2.bölge	400	264	1680	9
Çatalca bölgesi 3.bölge	400	243	1701	10
%50 Çatalca bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	268	1676	10
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	266	1678	9
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	269	1675	9
%50 Çatalca bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	257	1687	10
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	250	1694	10
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	264	1680	9
%50 Çatalca bölgesi 2 + %50 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	253	1691	10
%25 Çatalca bölgesi 2 + %75 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	248	1696	10
%75 Çatalca bölgesi 2 + %25 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	259	1685	10
%33 Çatalca bölgesi 1 + %33 Çatalca bölgesi 2 + %33 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	259	1685	10
Cendere bölgesi 1.bölge	400	224	1752	9
Cendere bölgesi 2.bölge	400	226	1750	9
Cendere bölgesi 3.bölge	400	238	1758	9
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Cendere bölgesi 3. bölge	400	231	1755	9
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Cendere bölgesi 3. bölge	400	234	1756	9
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Cendere bölgesi 3. bölge	400	227	1754	9
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	244	1716	9
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	254	1698	9
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	234	1734	10
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 1. bölge	400	248	1712	9
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 1. bölge	400	260	1694	9
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 1. bölge	400	236	1732	9

Tablo 4.46’da verilen oranlarla oluşturulan her karışımdan 6 adet (15X15x15cm) boyutlarında küp numuneler hazırlanmış ve kür tankında 7 ve 28 gün kürlenmiştir. Yoğunlukları belirlenen numunelerin 2’şer tanesi 7 gün kürlenmiş ve bu numunelere basma dayanımı deneyi yapılmıştır. 28 gün kürlenen numunelerin 2’şer tanesine basma dayanımı ve diğerlerine de yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca her numunenin ultrasonik ses geçirgenliği p ve s dalga hızları ölçülmüş ve elastisite modülleri ve poison oranları hesaplanmıştır. Tablo 4.47’de 25 karışıma ait basma ve

yarmada çekme dayanım sonuçları, Tablo 4.48'de ise elastisite modülü ve poisson oranları verilmektedir.

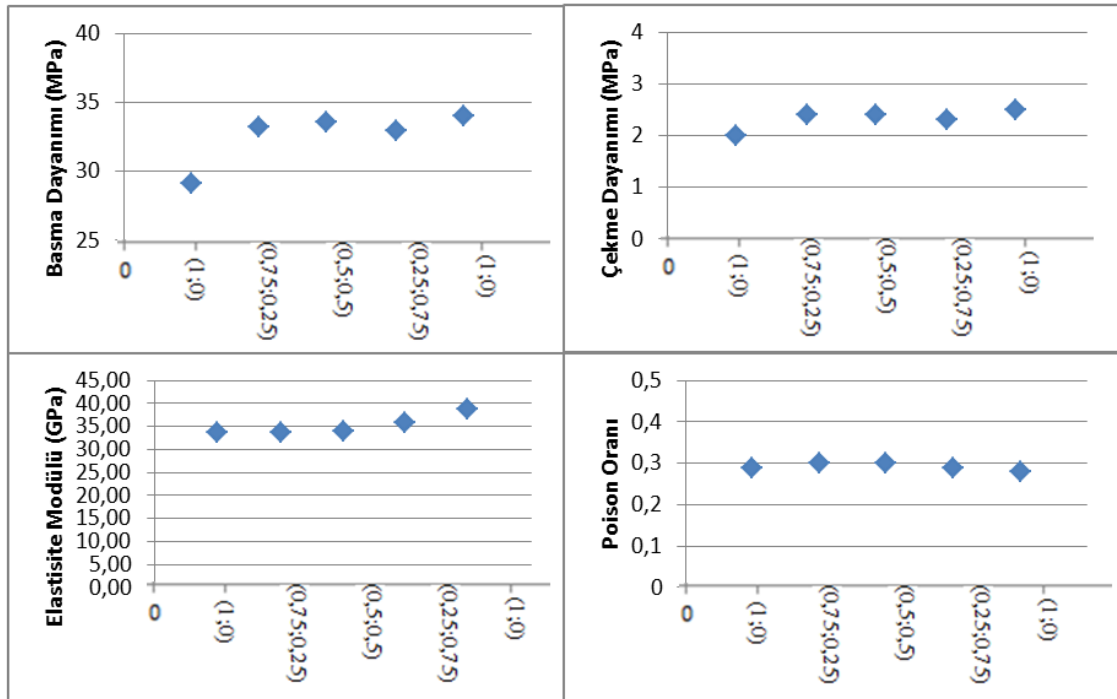
Tablo 4.47: Basma ve yarmada çekme dayanım sonuçları

Karışım	Basma dayanımı (7 günlük) (MPa)		Basma dayanımı (28 günlük) (MPa)		Yarmada çekme dayanımı (28 günlük) (MPa)	
	1.	4.	2.	5.	3.	6.
	Çatalca bölgesi 1.bölge	24,5	25,4	29,7	28,5	2,02	1,94
Çatalca bölgesi 2.bölge	24,4	25,3	28,9	29,8	2,19	2,17
Çatalca bölgesi 3.bölge	28,8	29,6	33,4	34,6	2,47	2,53
%50 Çatalca bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 2. bölge	27,8	26,4	32,2	31,2	2,06	2,26
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 2. bölge	27,3	28,8	34,5	33,4	2,31	2,51
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 2. bölge	22,4	23,5	26,3	28,7	2,04	1,76
%50 Çatalca bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 3. bölge	28,2	29,7	32,2	34,9	2,34	2,46
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 3. bölge	29	27,6	32,6	33,2	2,35	2,29
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 3. bölge	27,5	28,5	32,5	33,9	2,41	2,37
%50 Çatalca bölgesi 2 + %50 Çatalca bölgesi 3. bölge	23,3	24,7	27,7	28,7	2,12	1,89
%25 Çatalca bölgesi 2 + %75 Çatalca bölgesi 3. bölge	32,1	33,2	37,4	38,4	2,8	2,91
%75 Çatalca bölgesi 2 + %25 Çatalca bölgesi 3. bölge	28,5	27	32	33,8	2,48	2,28
%33Çatalca bölgesi 1+ %33Çatalca bölgesi 2+ %33Çatalca bölgesi 3. bölge	28,9	28,4	31,6	34,9	2,52	2,30
Cendere bölgesi 1.bölge	28,2	28,4	34,5	33	2,39	2,33
Cendere bölgesi 2.bölge	25,4	24,2	29,2	29,3	2,19	1,98
Cendere bölgesi 3.bölge	27	29	40	38,1	2,92	3,08
%50 Cendere bölg. 1 + %50 Cendere bölgesi 3. bölge	29,8	30,2	35,5	34,2	2,29	2,47
%25 Cendere bölg. 1 + %75 Cendere bölgesi 3. bölge	30,9	30,7	39,1	38,5	3,01	2,91
%75 Cendere bölg. 1 + %25 Cendere bölgesi 3. bölge	29,6	27,5	36	35,1	2,5	2,43
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 2. bölge	30,3	29,4	35,4	36,7	2,85	2,75
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 2. bölge	26,7	27	33,2	35	2,34	2,38
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 2. bölge	30,2	29,2	35,5	36,2	2,86	2,7
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 1. bölge	24,8	25,9	29,6	28,8	2,2	1,96
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 1. bölge	23,7	25,1	29,1	28,5	2,05	1,95
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 1. bölge	26,7	27,8	31,1	32,2	2,29	2,11

Tablo 4.48: Elastisite modülü ve poison oranları

Karışım	Elastisite modülü (GPa)				Poison oranı			
	2	3.	5.	6.	2.	3.	5.	6.
Çatalca bölgesi 1.bölge	34,5	33,2	32,4	31,3	0,28	0,27	0,29	0,30
Çatalca bölgesi 2.bölge	32,8	33,9	34,3	34,2	0,29	0,26	0,26	0,29
Çatalca bölgesi 3.bölge	38,6	39,2	38,5	40	0,28	0,27	0,27	0,27
%50 Çatalca bölg. 1 + %50 2. bölge	32,2	32,8	33,1	32,2	0,30	0,31	0,30	0,30
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 2. bölge	34,2	33,7	33	35,4	0,30	0,30	0,31	0,28
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 2. bölge	33,5	34,8	32,6	32,6	0,29	0,29	0,30	0,30
%50 Çatalca bölgesi 1 + %50 3. bölge	35,2	33,9	34,2	33	0,30	0,29	0,30	0,31
%25 Çatalca bölgesi 1 + %75 3. bölge	37	35,7	35,5	36,1	0,29	0,30	0,31	0,28
%75 Çatalca bölgesi 1 + %25 3. bölge	33,6	33,7	35	34,6	0,30	0,31	0,29	0,30
%50 Çatalca bölgesi 2 + %50 3. bölge	35,6	34,4	34,3	34,6	0,30	0,29	0,30	0,30
%25 Çatalca bölgesi 2 + %75 3. bölge	36	35,9	35,7	35,5	0,3	0,29	0,29	0,29
%75 Çatalca bölgesi 2 + %25 3. bölge	36,5	36,7	38	36,9	0,28	0,28	0,27	0,31
%33Çatalca bölgesi 1+%33 Çatalca bölgesi 2+%33Çatalca bölgesi 3. bölge	35,1	34,4	34,6	35,4	0,29	0,30	0,30	0,28
Cendere bölgesi 1.bölge	39,9	38,9	40	40,2	0,28	0,29	0,28	0,27
Cendere bölgesi 2.bölge	40,2	42,2	39,1	39,9	0,25	0,23	0,27	0,27
Cendere bölgesi 3.bölge	37,3	38,6	38,7	39	0,28	0,28	0,27	0,27
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 3.bölge	39,5	39	40,5	41,9	0,27	0,27	0,27	0,26
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 3.bölge	38,5	38,5	39,5	37,5	0,29	0,28	0,27	0,28
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 3.bölge	41,8	42,4	42,6	40,7	0,27	0,26	0,27	0,28
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 2. bölge	37,2	37	38,3	38,2	0,29	0,28	0,28	0,29
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 2. bölge	37,6	36,8	37,7	37,6	0,28	0,28	0,27	0,26
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 2. bölge	39,2	39,2	41,5	40,8	0,28	0,26	0,27	0,26
%50 Cendere bölgesi 1 + %50 Çatalca bölgesi 1. bölge	37	38,7	36,5	36,1	0,27	0,25	0,28	0,28
%25 Cendere bölgesi 1 + %75 Çatalca bölgesi 1. bölge	35,5	36,5	36,2	33,6	0,27	0,27	0,28	0,28
%75 Cendere bölgesi 1 + %25 Çatalca bölgesi 1. bölge	40,2	40,8	39,7	41,1	0,26	0,23	0,26	0,23

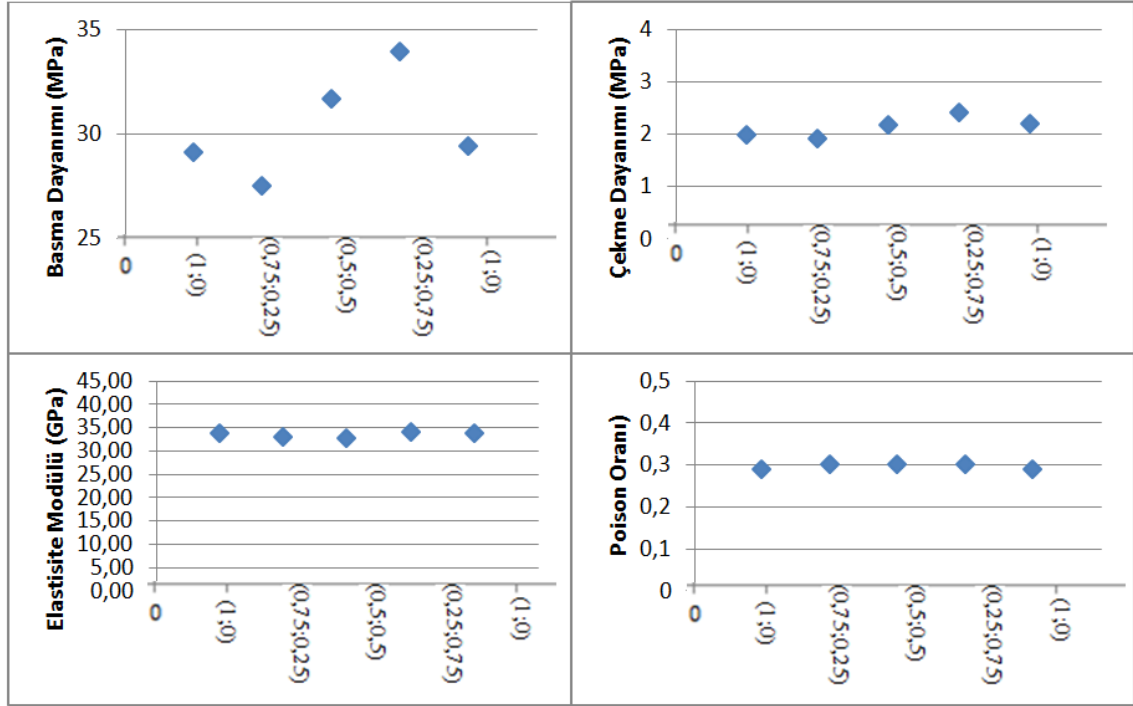
Şekil 4.2’de Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge karışımı için, Şekil 4.3’de Çatalca bölgesi taşocağı 1.bölge – 2.bölge karışımı için, Şekil 4.4’de Çatalca bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge karışımı için, Şekil 4.5’de Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge karışımı için, Şekil 4.6’da Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı için ve Şekil 4.7’de ise Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı için basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poison oranları ortalama değerleri ve bu değerlerin karışımlara bağlı değişimi grafiksel olarak verilmiştir. Grafiklerde x eksenini farklı bölgelerden üretilen agregaların beton karışımlarında aldığı oranları göstermektedir. Örneğin Şekil 4.2 basma dayanımı grafiği x ekseninde verilen 2.değer (0,75;0,25); beton karışımında Çatalca bölgesi 1.bölge agregasından %75 oranında, Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından da %25 oranında kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 4.2: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

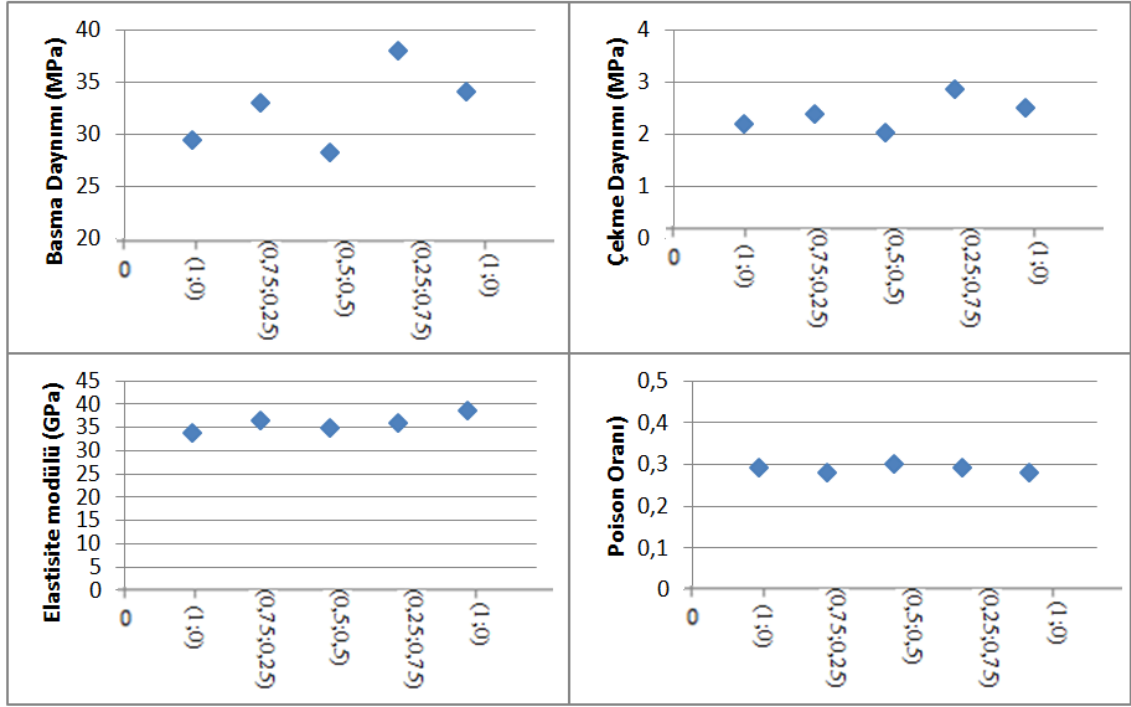
Şekil 4.2’den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü açısından en yüksek değeri Çatalca bölgesi 3 bölge Agregasının %100 kullanıldığı beton karışımlar vermiştir.

Farklı karışımlarda hazırlanan betonların Poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



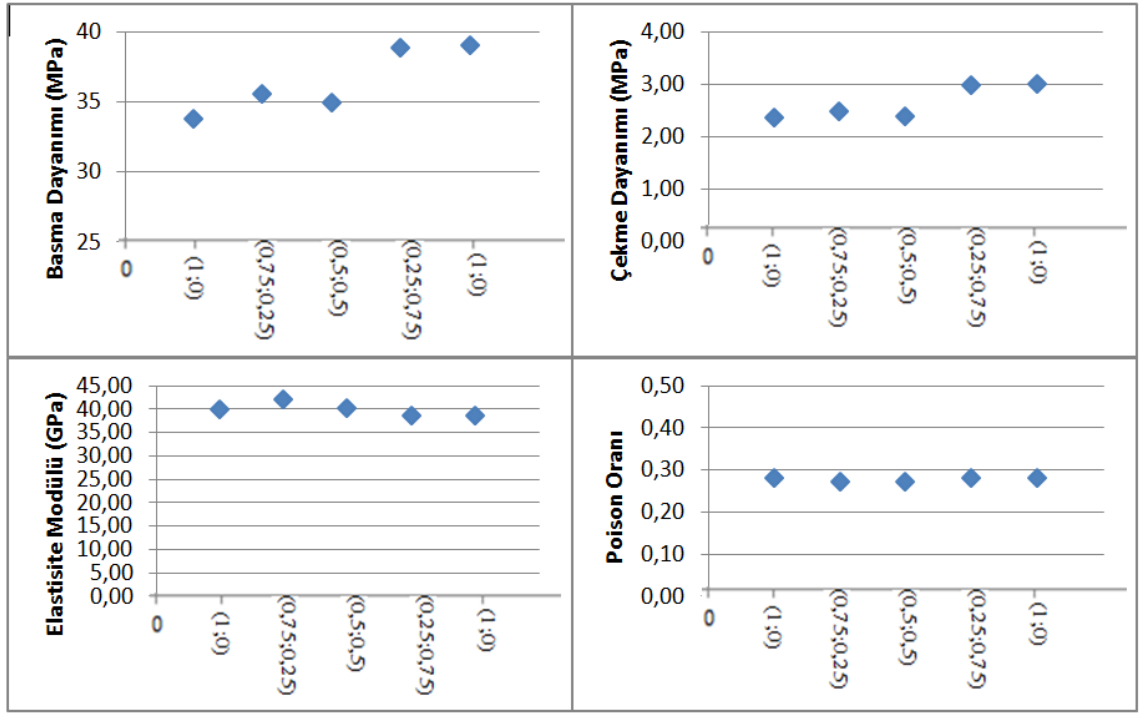
Şekil 4.3: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

Şekil 4.3' den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü açısından en yüksek değeri Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının %25, 2.bölge agregasının ise %75 oranlarında kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Farklı karışımlarda hazırlanan betonların Poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



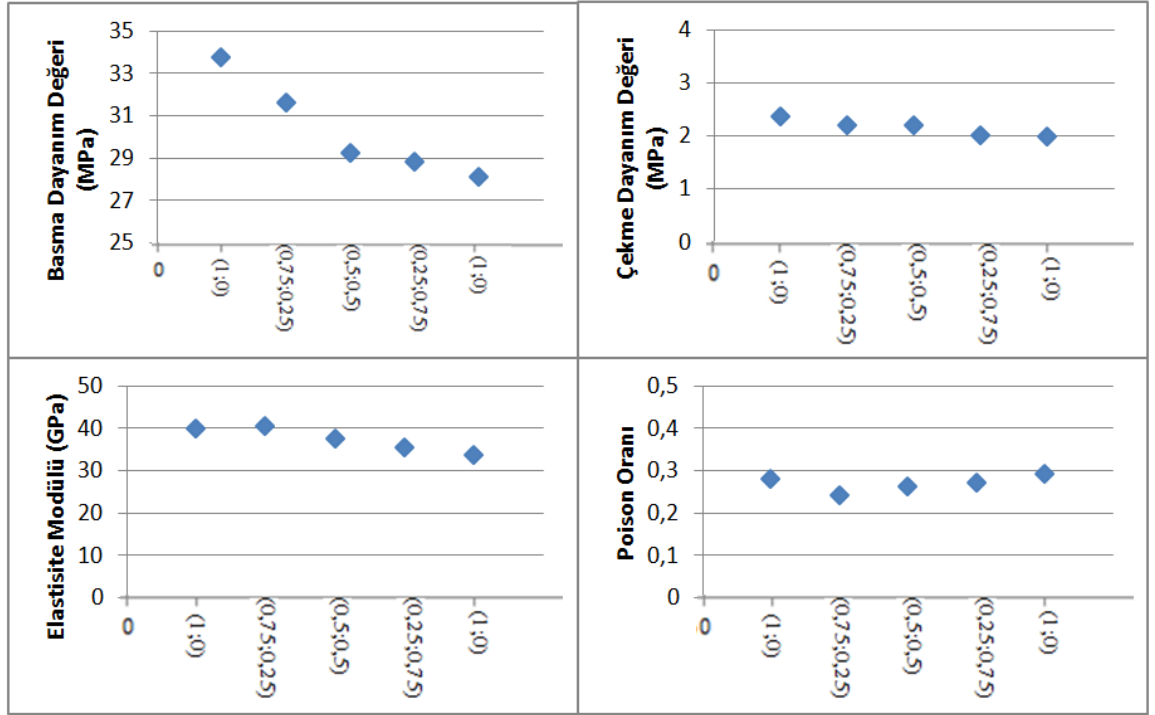
Şekil 4.4: Çatalca bölgesi taşocağı 2.bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı ve çekme dayanımı açısından en yüksek değeri Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının %25, 3.bölge agregasının ise %75 oranlarında kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Elastisite modülü açısından en yüksek değeri ise Çatalca bölgesi 3 bölge agregasının %100 kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Farklı karışımlarda hazırlanan betonların Poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



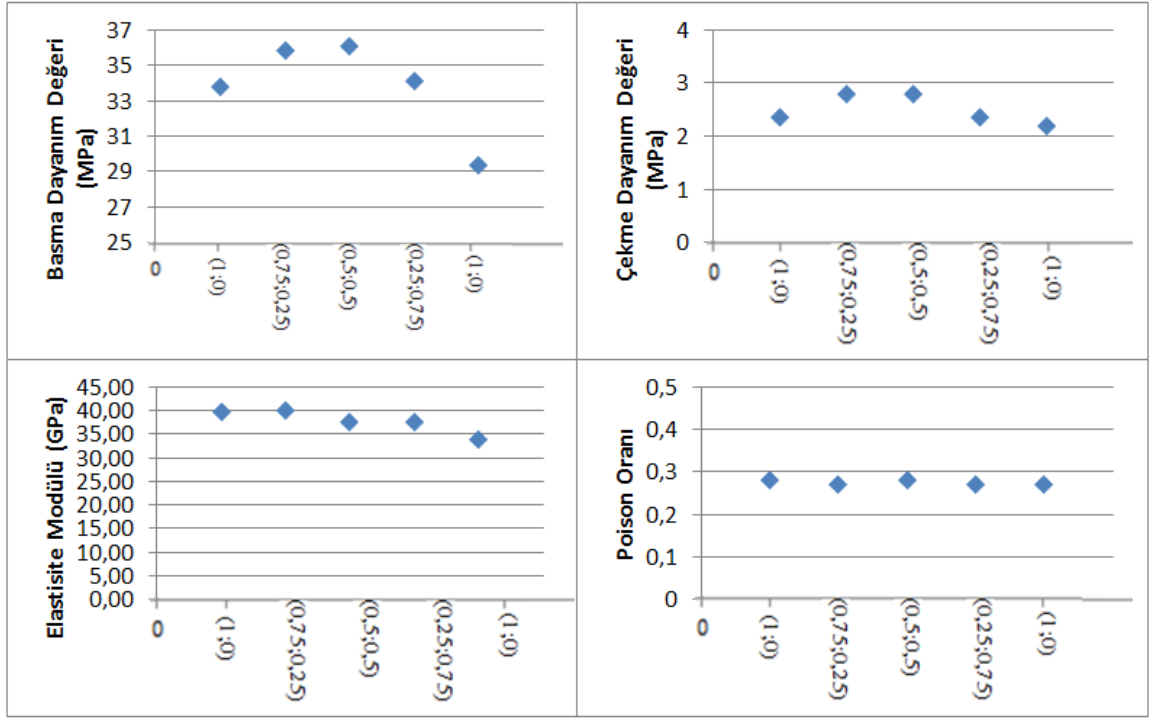
Şekil 4.5: Cendere bölgesi taşocağı 1.bölge – 3.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

Şekil 4.5' den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı ve çekme dayanımı açısından en yüksek değeri Cendere bölgesi 3 bölge agregasının %100 kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Elastisite modülü açısından ise en yüksek değeri Cendere bölgesi 1.bölge agregasının %75, 3.bölge agregasının ise %25 oranlarında kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Farklı karışımlarda hazırlanan betonların poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

Şekil 4.6' dan da görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü açısından en yüksek değeri Çatalca bölgesi 1. bölge agregasının %100 kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Farklı karışımlarda hazırlanan betonların poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge farklı karışım oranları ile hazırlanan betonların özellikleri

Şekil 4.7' den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basma ve çekme dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basma dayanımı ve çekme dayanımı açısından en yüksek değeri Cendere bölgesi 1. bölge ve Çatalca bölgesi 2. bölge agregalarının %50' şer kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Elastisite modülü açısından ise en yüksek değeri Cendere bölgesi 1.bölge agregasının %75, Çatalca bölgesi 2. bölge agregasının ise %25 oranlarında kullanıldığı beton karışımlar vermiştir. Farklı karışımlarda hazırlanan betonların poisson oranlarının ise birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

4.4.2. Beton Karışım Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizleri

Bu çalışma kapsamında yapılan istatistiksel analizler sonucunda, farklı özellikte agrega kullanımının, beton malzemenin basma, çekme, elastisite modülü ve poisson oranı özelliklerine etkisi belirlenmiş ve karışımlarda kullanılan farklı agrega oranlarına göre beton özelliklerinin tahmininde kullanılabilecek ampirik formüller geliştirilmiştir. Değerlendirmeler sırasında karışım deney sonuçları doğrusal, karesel, üçüncü dereceden ve dördüncü dereceden modeller kurularak değerlendirilmiş ve f test istatistiği

kullanılarak modellerin etki dereceleri belirlenmiştir. Buna göre basma, çekme, elastisite modülü ve poisson oranı tahmininde kullanılacak en uygun model geliştirilen ampirik formüllerde kullanılmıştır. Analizler sırasında Çatalca bölgesi, Cendere bölgesi ve Çatalca bölgesi-Cendere bölgesi taşocakları farklı bölgeleri ayrı ayrı değerlendirilmiş, ikili ve üçlü karışımlar için farklı tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Tablo 4.49’da Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.50’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.49: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayıların		
	Katsayılar	standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	29,057	0,664	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	29,332	0,664	*
1. Bölge \times 2. Bölge (Karesel etki)	8,87	2,86	3,1
(1. Bölge \times 2. Bölge) \times (2. Bölge – 1. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	33,67	5,64	5,97
Korelasyon katsayısı	0,95		

Tablo 4.50: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	50,28	16,76	18,75
Doğrusal etki	1	0,075	0,075	0,08
Karesel etki	1	8,60	8,60	9,63
Üçüncü dereceden etki	1	31,88	31,88	35,67
Deneyssel hata	6	5,36	0,894	
Toplam	9			

Tablo 4.49 ve Tablo 4.50' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre ;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.50'den de görüleceğı gibi regresyon modelinin F istatistiğı değeri 18,75 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;6} : 4,76$ olarak bulunmuştur. 3 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,76 < 18,75$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü dereceden ampirik formülün verdiğı belirlenmiştir. Ayrıca dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat f test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (0,08), (9,63) ve (35,67) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde f değerleri tablosundan $F_{0,05;1;6} : 5,99$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,99 > 0,08$ olduğundan doğrusal etki açısından H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre oluşturulan regresyon modelinin doğrusal etkileri basma dayanımı açısından anlamlı değildir. $5,99 < 9,63$ ve $5,99 < 35,67$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve karesel veya üçüncü derece etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır.

Tablo 4.49’da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.3’ de verilmiştir;

$$B = (29,06 \times A1) + (29,33 \times A2) + (8,87 \times A1 \times A2) + (33,67 \times A1 \times A2 \times (A2 - A1)) \quad (4.3)$$

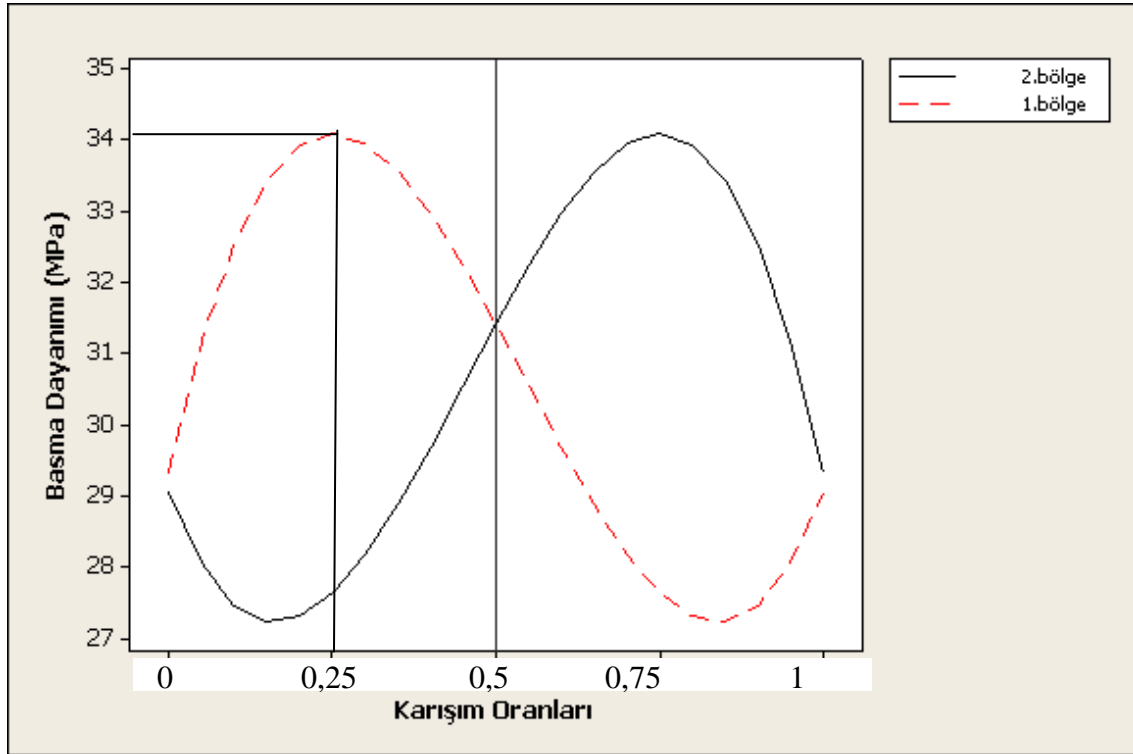
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlarının tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.8’ de yatay eksen karışım oranlarını, dikey eksen ise basma dayanımı değerlerini göstermektedir. Örneğin yatay eksen 0,25 değerinden bir dikme çıkıp kesikli çizgiyle (Çatalca bölgesi 1.bölge agregası) birleştiği yerde yatay eksende gördüğümüz basma dayanımı değeri Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının %25 kullanıldığı karışıma ait

beton basma dayanımı sonucudur. Bu karışımda Çatalca bölgesi 2.bölge agregası ise %75 oranında kullanılmıştır. Şekil 4.8' den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini %25 oranında Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımda Çatalca bölgesi 2.bölge agregasından ise %75 oranında kullanılmıştır.

Tablo 4.51' de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.52' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.51: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	2,03	0,07	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	2,23	0,07	*
$(1. Bölge \times 2. Bölge) \times (2. Bölge - 1. Bölge)$ (Üçüncü dereceden etki)	2,16	0,713	3,03
Korelasyon katsayısı	0,86		

Tablo 4.52:Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	0,295	0,148	10,31
Doğrusal etki	1	0,04	0,04	2,79
Üçüncü dereceden etki	1	0,131	0,131	9,17
Deneysel hata	7	0,1	0,014	
Toplam	9			

Tablo 4.51 ve Tablo 4.52' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.52'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 10,31 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;7} : 4,74$ olarak bulunmuştur. 2 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,74 < 10,31$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü derecen ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca karesel ve dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat f test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (2,79) ve (9,17) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;7} : 5,59$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,59 > 2,79$ olduğundan doğrusal etki açısından H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre oluşturulan regresyon modelinin doğrusal etkileri çekme dayanımı açısından anlamlı değildir. $5,59 < 9,17$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve üçüncü derece etkilerinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu model kullanılmıştır.

Tablo 4.51'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.4' de verilmiştir;

$$\zeta = (2,03 \times A1) + (2,23 \times A2) + (2,16 \times A1 \times A2 \times (A2 - A1)) \quad (4.4)$$

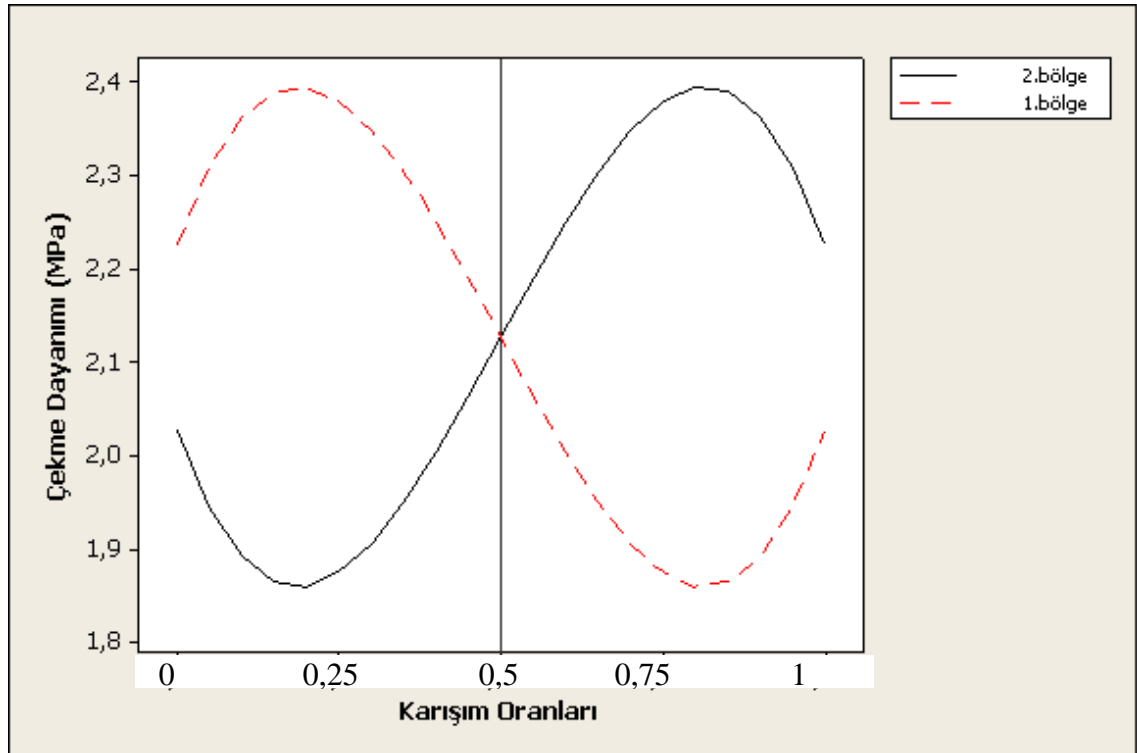
Burada;

Ç:Çekme Dayanımı (MPa),

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.9' dan da görüldüğü gibi en yüksek çekme dayanımı değerini %25 Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımında Çatalca bölgesi 2.bölge agregasından ise %75 oranında kullanılmıştır.

Tablo 4.53’de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.54’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.53: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	32,96	0,5144	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	33,91	0,5144	*
1. Bölge \times 2. Bölge (Karesel etki)	-0,8	2,216	-0,36
(1. Bölge \times 2. Bölge) \times (1. Bölge – 2. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-1,2	4,37	-0,27
Korelasyon katsayısı	0,38		

Tablo 4.54: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	2,9250	0,975	0,91
Doğrusal etki	1	1,80	1,80	1,68
Karesel etki	1	0,14	0,14	0,13
Üçüncü dereceden etki	1	0,08	0,08	0,08
Deneysel hata	16	17,18		
Toplam	19	20,10		

Tablo 4.53 ve Tablo 4.54 ‘de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama elastisite modülü değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama elastisite modülü değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.54'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 0,91 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;16} : 3,24$ olarak bulunmuştur. 3 ve 16 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,24 > 0,91$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,38 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı elastisite modülü tahmin formülü oluşturulmamıştır. Tablo 4.55'de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.56'da ise Varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.55: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayıların		
	Katsayılar	standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	0,285	0,0056	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	0,275	0,0056	*
1. Bölge \times 2. Bölge (Karesel etki)	0,088	0,0242	3,66
(1. Bölge \times 2. Bölge) \times (1. Bölge – 2. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-0,04	0,0477	-0,84
Korelasyon katsayısı	0,62		

Tablo 4.56: Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	0,0019	0,00064	5,01
Doğrusal etki	1	0,0002	0,0002	1,56
Karesel etki	1	0,0017	0,0017	13,38
Üçüncü dereceden etki	1	0,00009	0,00009	0,7
Deneysel hata	16	0,0020	0,000128	
Toplam	19			

Tablo 4.55 ve Tablo 4.56 ‘da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.56’den da görüleceğı gibi regresyon modelinin F istatistiğı değeri 5,01 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;16} : 5,29$ olarak bulunmuştur. 3 ve 16 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,29 > 5,01$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,62 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge karışımı poison oranı tahmininde kullanılabilecek bir formül önerilmemiştir.

Buna göre, Tablo 4.57’de Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.58’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.57: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	29,10	0,71	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	34,01	0,71	*
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	7,96	3,07	2,59
(1. Bölge \times 3. Bölge) \times (3. Bölge – 1. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-14,67	6,05	-2,42
Korelasyon katsayısı	0,91		

Tablo 4.58: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	31,13	7,78	10,05
Doğrusal etki	1	24,11	24,11	23,36
Karesel etki	1	6,93	6,93	6,72
Üçüncü dereceden etki	1	6,05	6,05	6,01
Deneysel hata	6	6,1921	1,03	
Toplam	9	37,32		

Tablo 4.57 ve Tablo 4.58’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.58’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 10,05 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;6} : 4,76$ olarak bulunmuştur. 3 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleri. $4,76 < 10,05$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü derecen ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat f test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,

- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (23,36), (6,72) ve (6,01) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;6} : 5,99$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,99 < 23,36$, $5,99 < 6,72$ ve $5,99 < 6,01$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.57’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.5’ de verilmiştir;

$$B = (29,1 \times A1) + (34,01 \times A3) + (7,96 \times A1 \times A3) - (14,67 \times A1 \times A3 \times (A3 - A1)) \quad (4.5)$$

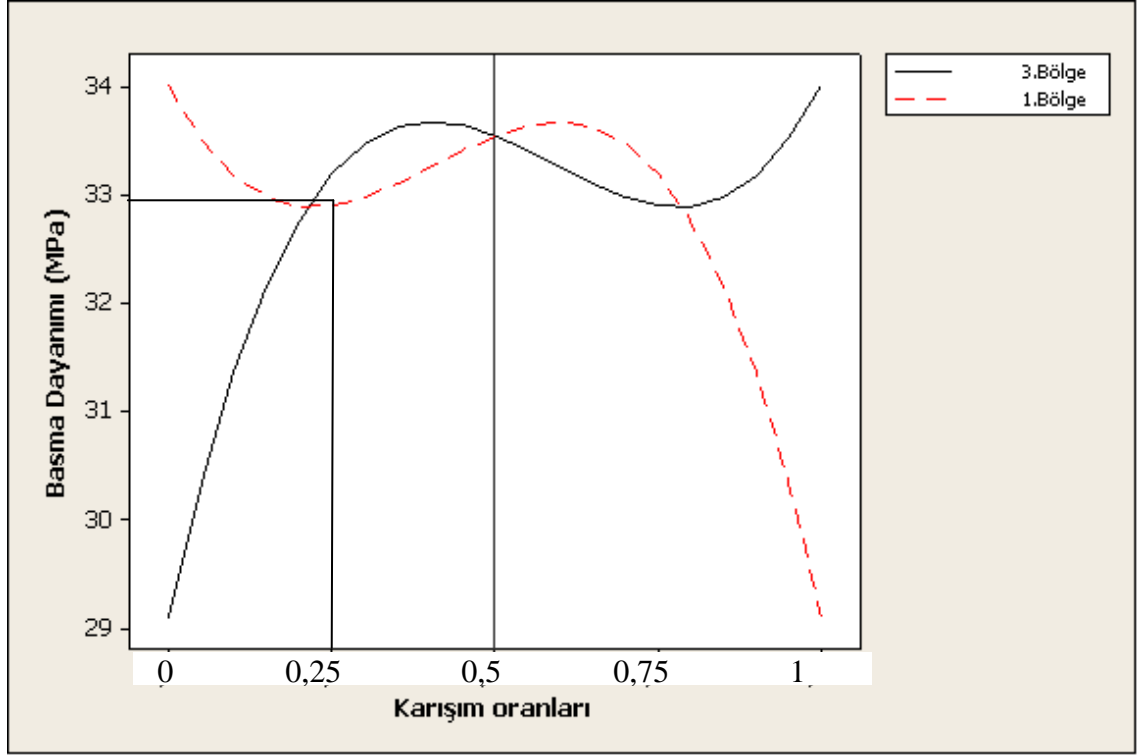
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.10' da yatay eksen karışım oranlarını, düşey eksen ise basma dayanımı değerlerini göstermektedir. Örneğin yatay eksen 0,25 değerinden bir dikme çıkıp kesikli çizgiyle (Çatalca bölgesi 1.bölge agregası) birleştiği yerde yatay eksen de gördüğümüz basma dayanımı değeri Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının %25 kullanıldığı karışıma ait beton basma dayanımı sonucudur. Bu karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregası ise %75 oranında kullanılmıştır. Şekil 4.10'dan da görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini sadece Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.59'da Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.60'da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.59: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	1,98	0,035	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	2,45	0,035	*
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	0,63	0,15	4,18
(1. Bölge \times 3. Bölge) \times (3. Bölge – 1. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-1,76	0,3	-5,93
Korelasyon katsayısı	0,98		

Tablo 4.60: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	0,32	0,11	42,91
Doğrusal etki	1	0,27	0,27	109,28
Karesel etki	1	0,04	0,04	17,47
Üçüncü dereceden etki	1	0,09	0,09	35,21
Deneysel hata	6	0,014	0,002	
Toplam	9	0,33		

Tablo 4.59 ve Tablo 4.60’da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.60’dan da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 42,91 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;6} : 4,76$ olarak bulunmuştur. 3 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,76 < 42,91$ olduğundan H_0 hipotezi

reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü derecen ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat f test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (109,28), (17,47) ve (35,21) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;6} : 5,99$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,99 < 109,28$; $5,99 < 17,47$ ve $5,99 < 35,21$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkilerinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.59’da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.6’ da verilmiştir;

$$\text{Ç} = (1,98 \times A1) + (2,5 \times A3) + (0,63 \times A1 \times A3) - (1,76 \times A1 \times A2 \times (A3 - A1)) \quad (4.6)$$

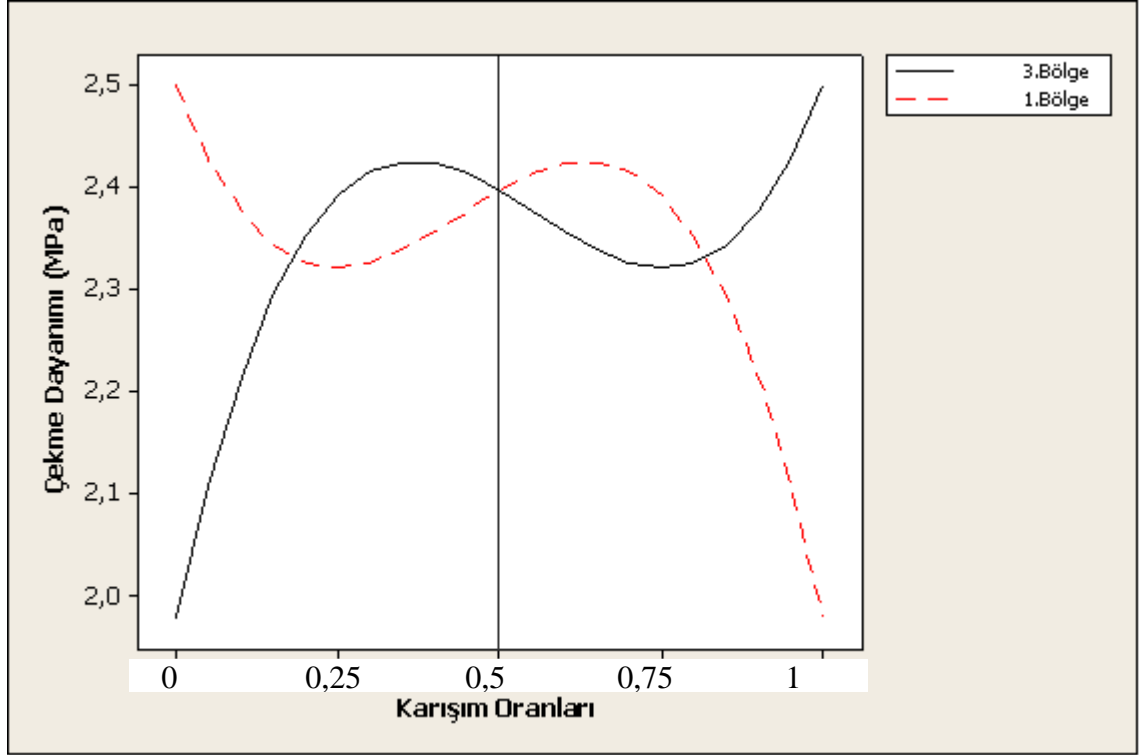
Burada;

Ç: Çekme Dayanımı (MPa),

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.11'den de görüldüğü gibi en yüksek çekme dayanımı değerini sadece Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.61'de Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.62'de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.61: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	38,89	0,4576	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	33,179	0,4576	*
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	-6,1	2,0792	-2,93
Korelasyon katsayısı	0,92		

Tablo 4.62: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	89,694	44,847	47,42
Doğrusal etki	1	81,551	81,551	86,23
Karesel etki	1	8,143	8,143	8,61
Deneysel hata	17	16,077	0,9457	
Toplam	19			

Tablo 4.61 ve Tablo 4.62’de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama elastisite modülü değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama elastisite modülü değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.62’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 47,42 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 < 47,42$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca üçüncü ve dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,

- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal ve karesel etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (86,23) ve (8,61) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;17} : 4,45$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,45 < 86,23$ ve $4,45 < 8,61$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal veya karesel etkilerinin elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde karesel model kullanılmıştır.

Tablo 4.61’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.7’ de verilmiştir;

$$E = (38,89 \times A1) + (33,179 \times A3) - (6,1 \times A1 \times A3) \quad (4.7)$$

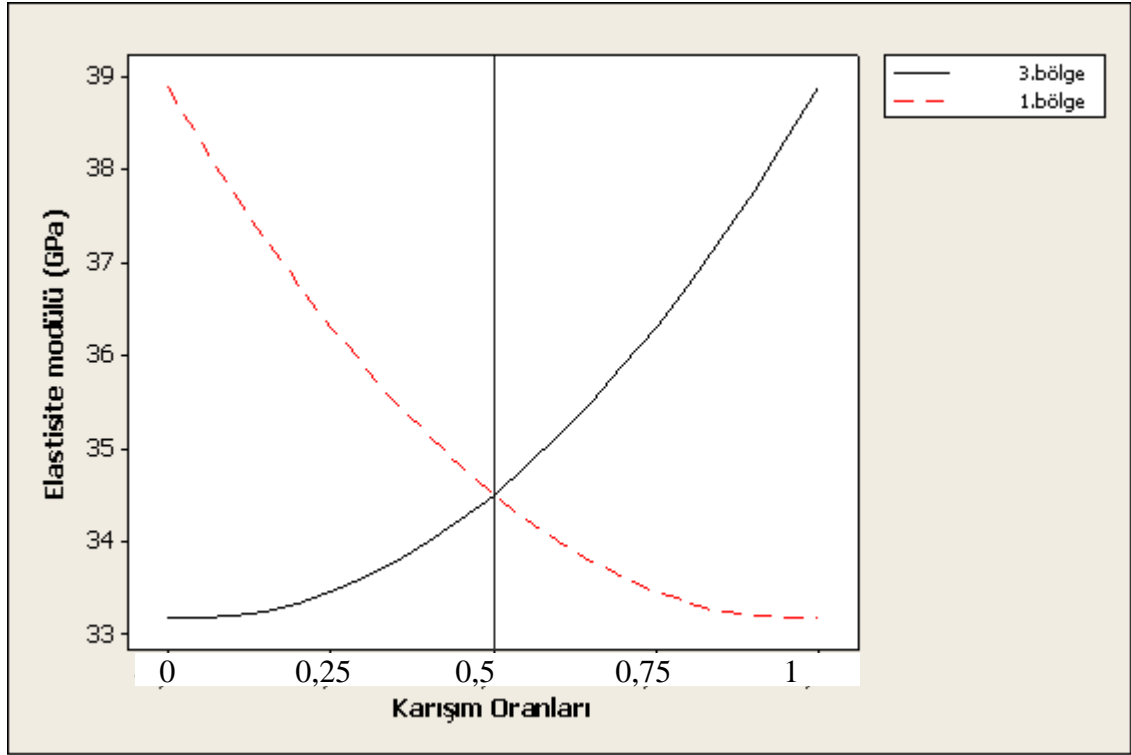
Burada;

E: Elastisite Modülü (GPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.12’ de verilmiştir.



Şekil 4.12: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.12'den de görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini sadece Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.63'de Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.64' de ise Varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.63: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	0,285	0,0044	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	0,273	0,0044	*
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	0,091	0,0201	4,54
Korelasyon katsayısı	0,77		

Tablo 4.64: Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	0,022	0,0011	12,35
Doğrusal etki	1	0,0004	0,0004	4,06
Karesel etki	1	0,0018	0,0018	20,64
Deneysel hata	17	0,0015	0,00001	
Toplam	19	0,0037		

Tablo 4.63 ve Tablo 4.64 'de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.64'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 12,35 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleri. $3,59 < 12,35$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel (ikinci derecen) ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca üçüncü ve dördüncü dereceden de değerlendirmeler yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamışlardır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri poison oranı değerleri açısından anlamlı değildir,

- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri poisson oranı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal ve karesel etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (4,06) ve (20,64) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;17} : 4,45$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,45 < 20,64$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve karesel etkilerinin poisson oranı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Doğrusal etki açısından bakıldığında ise $4,45 > 4,06$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Bu nedenle tahmin formülünde karesel model kullanılmıştır.

Tablo 4.63’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.8’ de verilmiştir;

$$P = (0,285 \times A1) + (0,273 \times A3) + (0,09 \times A1 \times A3) \quad (4.8)$$

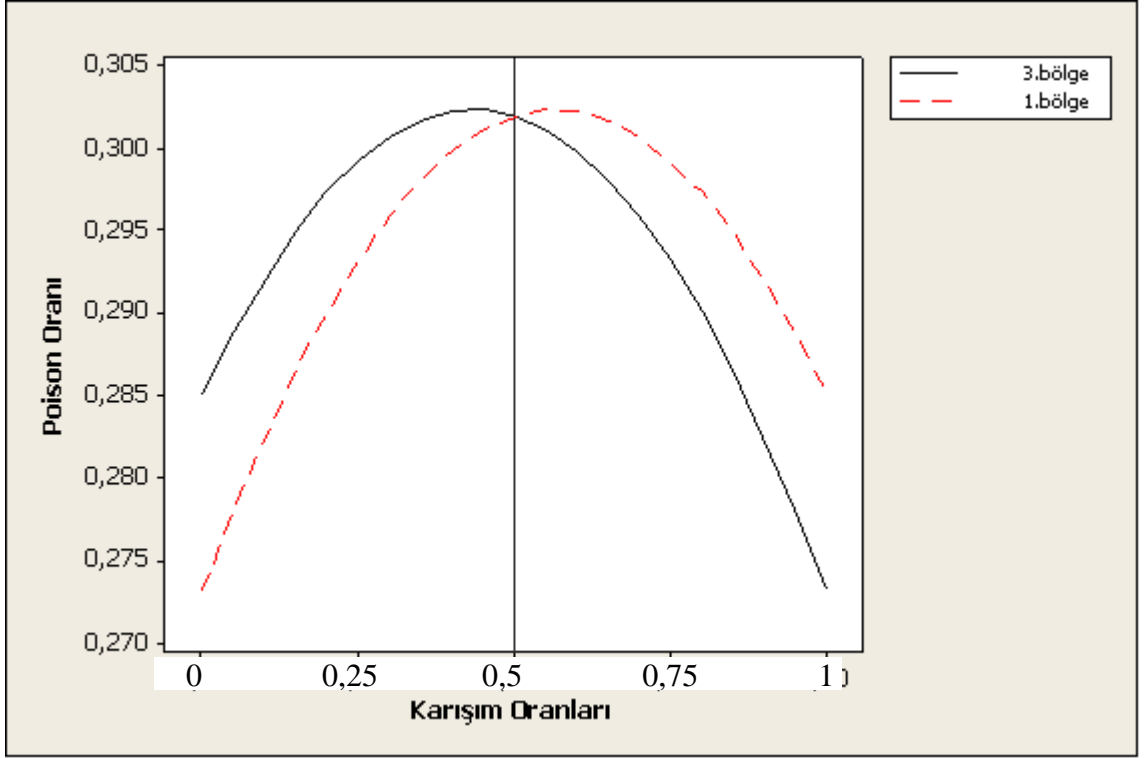
Burada;

P: Poison oranı

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton poisson oranındaki değişimler Şekil 4.13’ de verilmiştir.



Şekil 4.13: Çatalca bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan poison oranı değerleri değişim grafiği

Şekil 4.13'den de görüldüğü gibi en yüksek poison oranı değerini %41 oranında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ise %59 oranında kullanılmıştır.

Tablo 4.65'de Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.66'da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.65: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
2.Bölge (Doğrusal etki)	29,37	0,62	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	34	0,62	*
2. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-13,89	3,04	-4,57
(2. Bölge × 3. Bölge) × (2. Bölge – 3. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-14,31	5,24	-2,74
(2. Bölge × 3. Bölge) × (2. Bölge – 3. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	134,97	13,83	9,76
Korelasyon katsayısı	0,98		

Tablo 4.66: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	4	119,72	29,93	38,92
Doğrusal etki	1	21,48	21,48	27,94
Karesel etki	1	16,08	16,08	20,91
Üçüncü dereceden etki	1	5,76	5,76	7,49
Dördüncü dereceden etki	1	73,20	73,2	95,2
Deneysel hata	5	3,84	0,77	
Toplam	9			

Tablo 4.65 ve Tablo 4.66' da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agregaya kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agregaya kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.66' dan da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 38,92 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri

tablosundan $F_{0,05;4;5} : 5,19$ olarak bulunmuştur. 4 ve 5 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,19 < 38,92$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (27,94), (20,91), (7,49) ve (95,2) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;5} : 6,61$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $6,61 < 27,94$, $6,61 < 20,91$, $6,61 < 7,49$ ve $6,61 < 95,2$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.65’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.9’ da verilmiştir;

$$B = (29,37 \times A2) + (34 \times A3) - (13,89 \times A2 \times A3) - (14,31 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3) + (134,97 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)^2) \quad (4.9)$$

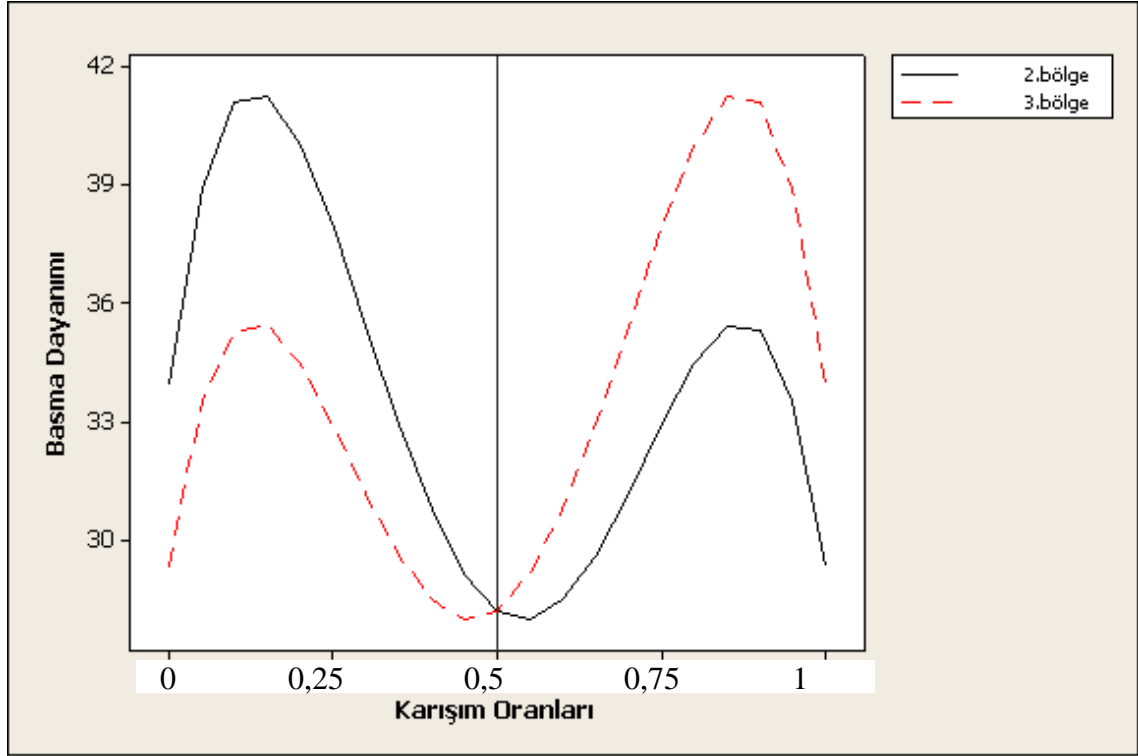
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.14’den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini %12 oranında Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ise %88 oranında kullanılmıştır.

Tablo 4.67’de Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.68’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.67: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
2.Bölge (Doğrusal etki)	2,18	0,074	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	2,5	0,074	*
2. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-1,34	0,36	-3,71
(2. Bölge × 3. Bölge) × (2. Bölge – 3. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-1,68	0,62	-2,7
(2. Bölge × 3. Bölge) × (2. Bölge – 3. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	11,28	1,65	6,85
Korelasyon katsayısı	0,97		

Tablo 4.68: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	4	0,84	0,21	19,29
Doğrusal etki	1	0,102	0,102	9,39
Karesel etki	1	0,150	0,150	13,73
Üçüncü dereceden etki	1	0,079	0,079	7,28
Dördüncü dereceden etki	1	0,51	0,51	46,9
Deneysel hata	5	0,054	0,01	
Toplam	9	0,896		

Tablo 4.67 ve Tablo 4.68 'de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.68'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 19,29 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;4;5} : 5,19$ olarak bulunmuştur. 4 ve 5 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,19 < 19,29$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (9,39), (13,73), (7,28) ve (46,9) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;5} : 6,61$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $6,61 < 9,39$, $6,61 < 13,73$, $6,61 < 7,28$ ve $6,61 < 46,9$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.67'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.10' da verilmiştir;

$$\begin{aligned} \text{Ç} = & (2,18 \times A2) + (2,5 \times A3) - (1,34 \times A2 \times A3) - (1,68 \times A2 \times A3 \times \\ & (A2 - A3) + (11,28 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)^2) \end{aligned} \quad (4.10)$$

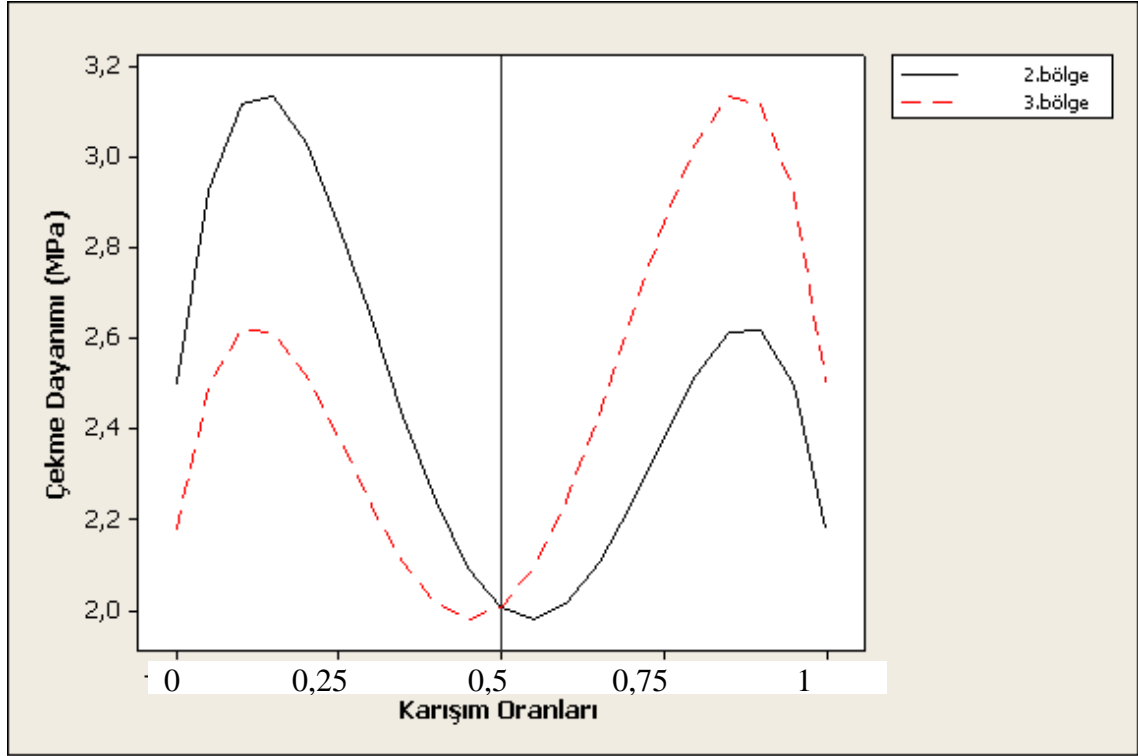
Burada;

Ç: Çekme Dayanımı (MPa),

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.15’den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini %13 oranında Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımda Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ise %87 oranında kullanılmıştır.

Tablo 4.69’ da Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.70’ de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.69: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
2.Bölge (Doğrusal etki)	33,8	0,3	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	39,075	0,3	*
2. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	-6,85	1,47	-4,66
(2. Bölge \times 3. Bölge) \times (2. Bölge – 3. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	20,73	2,53	8,19
(2. Bölge \times 3. Bölge) \times (2. Bölge – 3. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	26,6	6,70	3,97
Korelasyon katsayısı	0,96		

Tablo 4.70: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	4	67,96	16,99	47,11
Doğrusal etki	1	55,65	55,65	154,3
Karesel etki	1	7,82	7,82	21,68
Üçüncü dereceden etki	1	24,18	24,18	67,04
Dördüncü dereceden etki	1	5,69	5,69	15,76
Deneysel hata	5	5,41	0,361	
Toplam	9			

Tablo 4.69 ve Tablo 4.70' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre ;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama elastisite modülü değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama elastisite modülü değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.70'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 47,11 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;4;5} : 5,19$ olarak bulunmuştur. 4 ve 5 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,19 < 47,11$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (154,3), (21,68), (67,04) ve (15,76) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,01;1;15} : 8,68$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $8,68 < 154,3$, $8,68 < 21,68$, $8,68 < 67,04$ ve $8,68 < 15,76$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel, üçüncü veya dördüncü derece etkilerinin elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.69'da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.11'de verilmiştir;

$$E = (33,8 \times A_2) + (39,07 \times A_3) - (6,85 \times A_2 \times A_3) + (20,73 \times A_2 \times A_3 \times (A_2 - A_3)) + (26,6 \times A_2 \times A_3 \times (A_2 - A_3)^2) \quad (4.11)$$

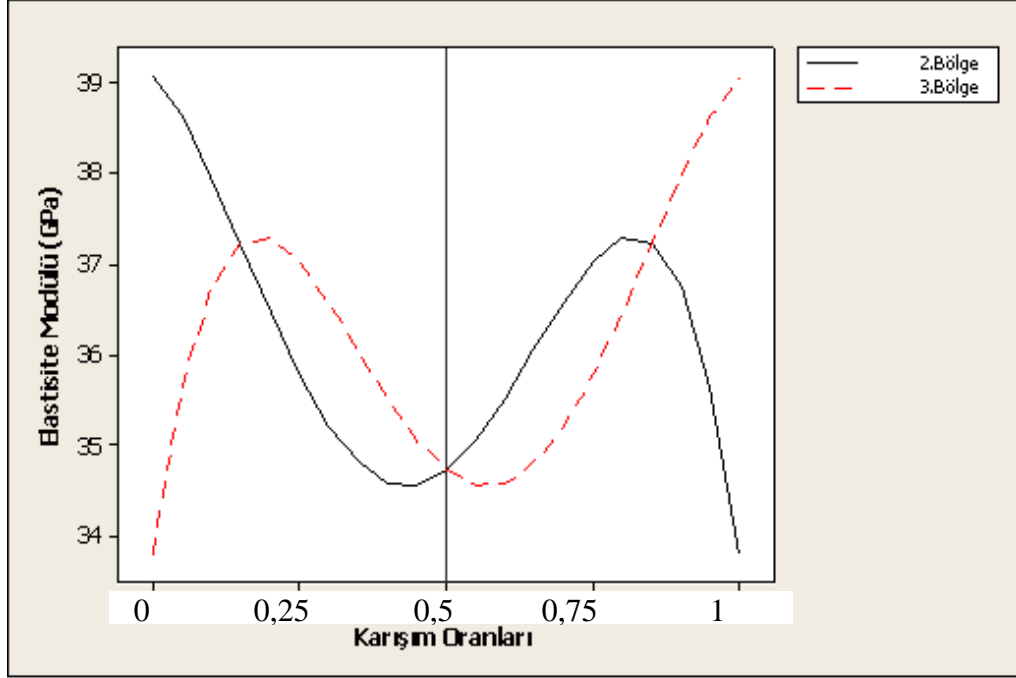
Burada;

E: elastisite modülü (GPa),

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16: Çatalca bölgesi 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.16'dan da görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini sadece Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.71'de Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.72' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.71: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların hataları	standart	T-değer
2.Bölge (Doğrusal etki)	0,275	0,0056		*
3.Bölge (Doğrusal etki)	0,272	0,0056		*
2. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	0,09	0,024		3,66
(2. Bölge \times 3. Bölge) \times (2. Bölge – 3. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-0,05	0,0477		-0,98
Korelasyon katsayısı	0,61			

Tablo 4.72: Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	0,0018	0,00061	4,78
Doğrusal etki	1	0,000012	0,000012	0,1
Karesel etki	1	0,0017	0,0017	13,37
Üçüncü dereceden etki	1	0,000122	0,000122	0,95
Deneysel hata	16	0,0021	0,00013	
Toplam	19			

Tablo 4.71 ve Tablo 4.72' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.72'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 4,78 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;16} : 5,29$ olarak bulunmuştur. 3 ve 16 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,29 > 4,78$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık

düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,61 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı tahmininde kullanılabilir bir formül önerilmemiştir.

Tablo 4.73’de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge - 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.74’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.73: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayıların		
	Katsayılar	standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	28,96	1,020	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	29,21	1,02	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	33,86	1,02	*
1. Bölge × 2. Bölge (Karesel etki)	12,61	4,691	2,69
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	10,71	4,691	2,28
2. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-11,19	4,691	-2,39
Korelasyon katsayısı	0,89		

Tablo 4.74: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	5	64,28	12,86	6,13
Doğrusal etki	2	30,46	15,23	7,26
Karesel etki	3	39,27	13,09	6,24
DeneySEL hata	8	16,79	2,099	
Toplam	13			

Tablo 4.73 ve Tablo 4.74’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.74'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 6,13 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;5;8} : 3,69$ olarak bulunmuştur. 5 ve 8 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,69 < 6,13$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel (ikinci dereceden) ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Ayrıca üçüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal ve karesel etkileri basma dayanım değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal ve karesel etkileri basma dayanım değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal ve karesel etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (7,26) ve (6,24) olarak hesaplanmıştır. Doğrusal etki açısından %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;8} : 4,46$ olarak, karesel etki açısından ise $F_{0,05;3;8} : 4,07$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,46 < 7,26$ ve $4,07 < 6,24$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Doğrusal veya karesel etkilerinin basma dayanım değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.73'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.12' de verilmiştir;

$$B = (28,96 \times A1) + (29,21 \times A2) + (33,86 \times A3) + (12,61 \times A1 \times A2) + (10,71 \times A1 \times A3) - (11,19 \times A2 \times A3) \quad (4.12)$$

Burada;

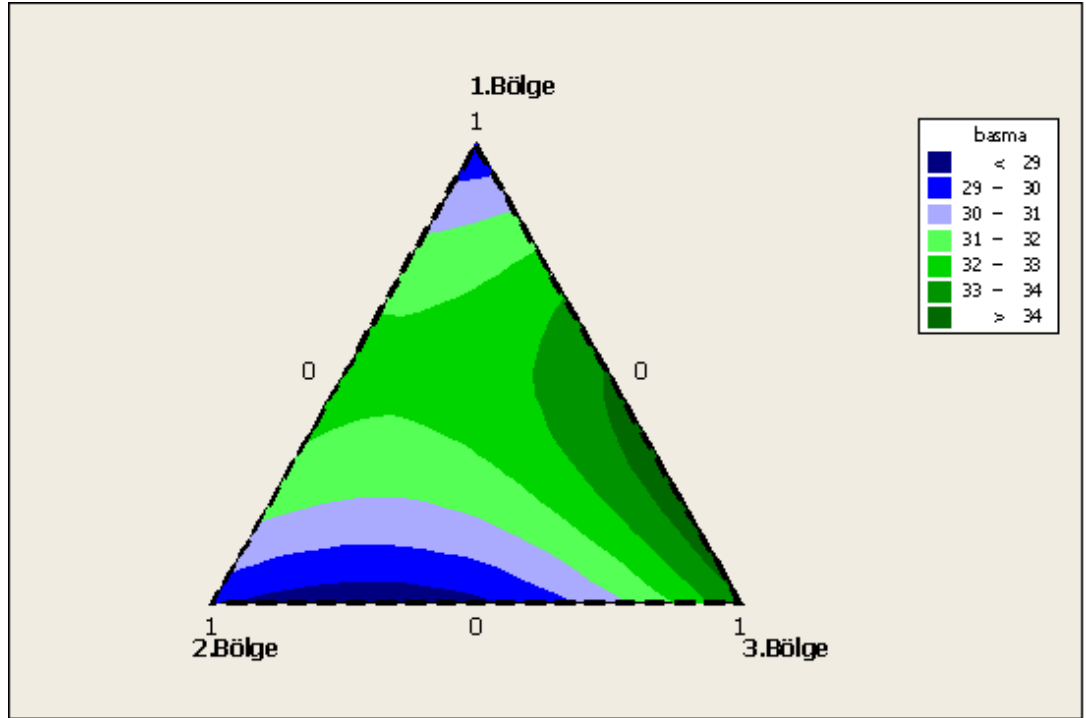
B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.Bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.17'de agrega karışım oranlarına göre basma dayanımı değişim grafiği verilmiştir. Buna göre basma dayanımı Çatalca bölgesi 3.bölgeye yaklaştıkça artmaktadır. Yani karışımda Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ne kadar fazla kullanılırsa basma dayanımı değerinde o ölçüde artacağı söylenebilir.

Tablo 4.75’de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge - 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.76’da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.75: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	1,98	0,078	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	2,18	0,078	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	2,5	0,078	*
1. Bölge × 2. Bölge (Karesel etki)	0,32	0,377	0,85
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	0,64	0,377	1,7
2. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-1,34	0,377	-3,55
1. Bölge × 2. Bölge × 3. Bölge (üçüncü derece etki)	6,27	2,65	2,36
Korelasyon katsayısı	0,93		

Tablo 4.76: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	6	0,509	0,0849	7,25
Doğrusal etki	2	0,275	0,138	11,6
Karesel etki	3	0,229	0,076	6,43
Üçüncü derece etki	1	0,066	0,066	5,60
Deneysel hata	7	0,083	0,012	
Toplam	13			

Tablo 4.75 ve Tablo 4.76’da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre ;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.76'dan da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 7,25 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;6;7} : 3,87$ olarak bulunmuştur. 6 ve 7 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,87 < 7,25$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (11,6), (6,43) ve (5,58) olarak hesaplanmıştır. Doğrusal etki açısından %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;7} : 4,74$ olarak, karesel etki açısından ise $F_{0,05;3;7} : 4,35$ olarak ve üçüncü dereceden etki açısından $F_{0,05;1;7} : 5,59$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,74 < 11,6$, $4,35 < 6,43$ ve $5,59 < 5,60$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkilerinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.75'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.13'de verilmiştir;

$$\begin{aligned} \text{Ç} = & (1,98 \times A1) + (2,18 \times A2) + (2,5 \times A3) + (0,32 \times A1 \times A2) + \\ & (0,64 \times A1 \times A3) - (1,34 \times A2 \times A3) + (6,27 \times A1 \times A2 \times A3)) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Burada;

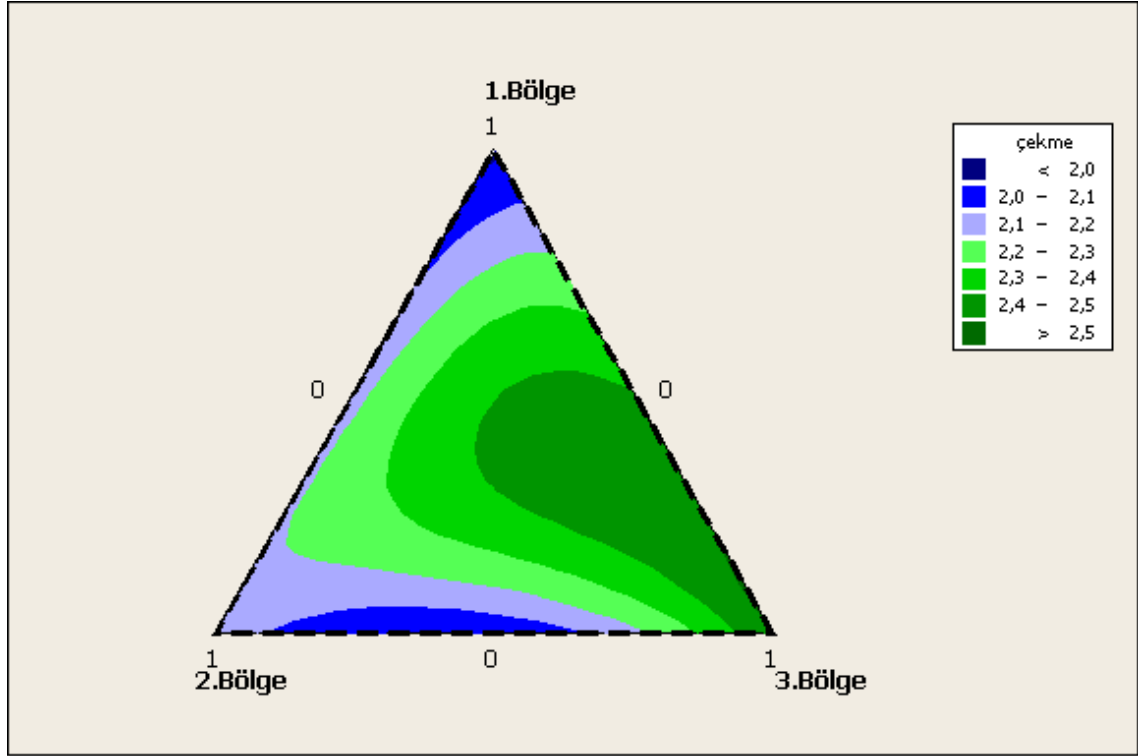
Ç: Çekme dayanımı, (MPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.Bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.18: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlarının tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.18' de agrega karışım oranlarına göre çekme dayanımı değişim grafiği verilmiştir. Buna göre çekme dayanımı Çatalca bölgesi 3.bölgeye yaklaştıkça artmaktadır. Yani karışımda Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ne kadar fazla kullanılırsa çekme dayanımı değerinde o ölçüde artacağı söylenebilir.

Tablo 4.77' de Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge - 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.78' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.77: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayıların		
	Katsayılar	standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	32,85	0,394	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	33,8	0,394	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	39,075	0,394	*
1. Bölge \times 2. Bölge (Karesel etki)	-3	1,93	-1,55
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	-7,55	1,93	-3,91
2. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	-6,85	1,93	-3,55
1. Bölge \times 2. Bölge \times 3. Bölge (üçüncü derece etki)	42,3	13,594	3,11
Korelasyon katsayısı	0,95		

Tablo 4.78: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	6	112,75	18,79	30,2
Doğrusal etki	2	89,97	44,985	72,29
Karesel etki	3	15,02	5,005	8,04
Üçüncü derece etki	1	6,02	6,02	9,68
DeneySEL hata	21	13,07	0,62	
Toplam	27			

Tablo 4.77 ve Tablo 4.78’de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama elastisite modülü değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama elastisite modülü değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.78’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 30,2 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri

tablosundan $F_{0,05;6;21} : 2,57$ olarak bulunmuştur. 6 ve 21 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $2,57 < 30,2$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %1 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (72,29), (8,04) ve (9,68) olarak hesaplanmıştır. Doğrusal etki açısından %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;21} : 3,47$ olarak, karesel etki açısından ise $F_{0,05;3;21} : 3,07$ olarak ve üçüncü dereceden etki açısından $F_{0,05;1;21} : 4,32$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $3,47 < 72,29$, $3,07 < 8,04$ ve $4,32 < 9,68$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkilerinin elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır.

Tablo 4.77’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.14’ de verilmiştir;

$$E = (32,85 \times A1) + (33,8 \times A2) + (39,075 \times A3) - (3 \times A1 \times A2) - (7,55 \times A1 \times A3) - (6,85 \times A2 \times A3) + (42,3 \times A1 \times A2 \times A3) \quad (4.14)$$

Burada;

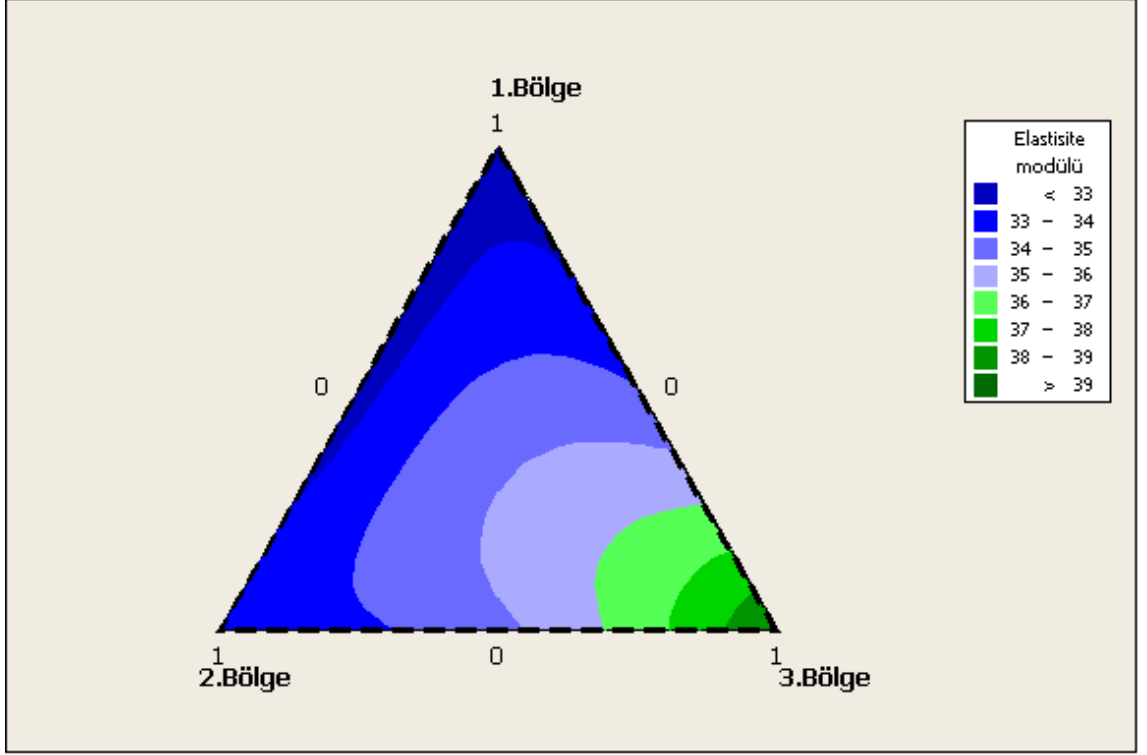
E: Elastisite modülü, (GPa)

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1. bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.19' da verilmiştir.



Şekil 4.19: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlarının tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.19'da agrega karışım oranlarına göre elastisite değişim grafiği verilmiştir. Buna göre elastisite modülü değeri Çatalca bölgesi 3.bölgeye yaklaştıkça artmaktadır. Yani karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ne kadar fazla kullanılırsa elastisite değerinde o ölçüde artacağı söylenebilir.

Tablo 4.79'da Çatalca bölgesi 1.bölge – 2.bölge - 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.80'de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.79: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı poison oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	0,285	0,005	*
2.Bölge (Doğrusal etki)	0,275	0,005	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	0,275	0,005	*
1. Bölge \times 2. Bölge (Karesel etki)	0,09	0,0245	3,67
1. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	0,085	0,0245	3,47
2. Bölge \times 3. Bölge (Karesel etki)	0,095	0,0245	3,88
1. Bölge \times 2. Bölge \times 3. Bölge (üçüncü derece etki)	-0,405	0,172	-2,35
Korelasyon katsayısı	0,79		

Tablo 4.80: Çatalca bölgesi 1.bölge - 2.bölge – 3.bölge karışımı poison oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	6	0,00349	0,00058	5,81
Doğrusal etki	2	0,0035	0,00017	1,75
Karesel etki	3	0,00305	0,001	10,16
Üçüncü derece etki	1	0,00055	0,00055	5,52
Deneysel hata	21	0,0021	0,0001	
Toplam	27			

Tablo 4.79 ve Tablo 4.80’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama Poison oranları açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama Poison oranları farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton Poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.80’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 5,81 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri

tablosundan $F_{0,05;6;21} : 2,57$ olarak bulunmuştur. 6 ve 21 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $2,57 < 5,81$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton Poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri Poison oranları açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkileri Poison oranları açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (1,75), (10,16) ve (5,52) olarak hesaplanmıştır. Doğrusal etki açısından %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;21} : 3,47$ olarak, karesel etki açısından ise $F_{0,05;3;21} : 3,07$ olarak ve üçüncü dereceden etki açısından $F_{0,05;1;21} : 4,32$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $3,07 < 10,16$ ve $4,32 < 5,52$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve karesel veya üçüncü derece etkilerinin poison oranları açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle tahmin formülünde bu modeller kullanılmıştır. Doğrusal etki açısından ise $3,47 > 1,75$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir.

Tablo 4.79’da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.15’ de verilmiştir;

$$P = (0,285 \times A1) + (0,275 \times A2) + (0,275 \times A3) + (0,09 \times A1 \times A2) + (0,085 \times A1 \times A3) + (0,095 \times A2 \times A3) - (0,0405 \times A1 \times A2 \times A3) \quad (4.15)$$

Burada;

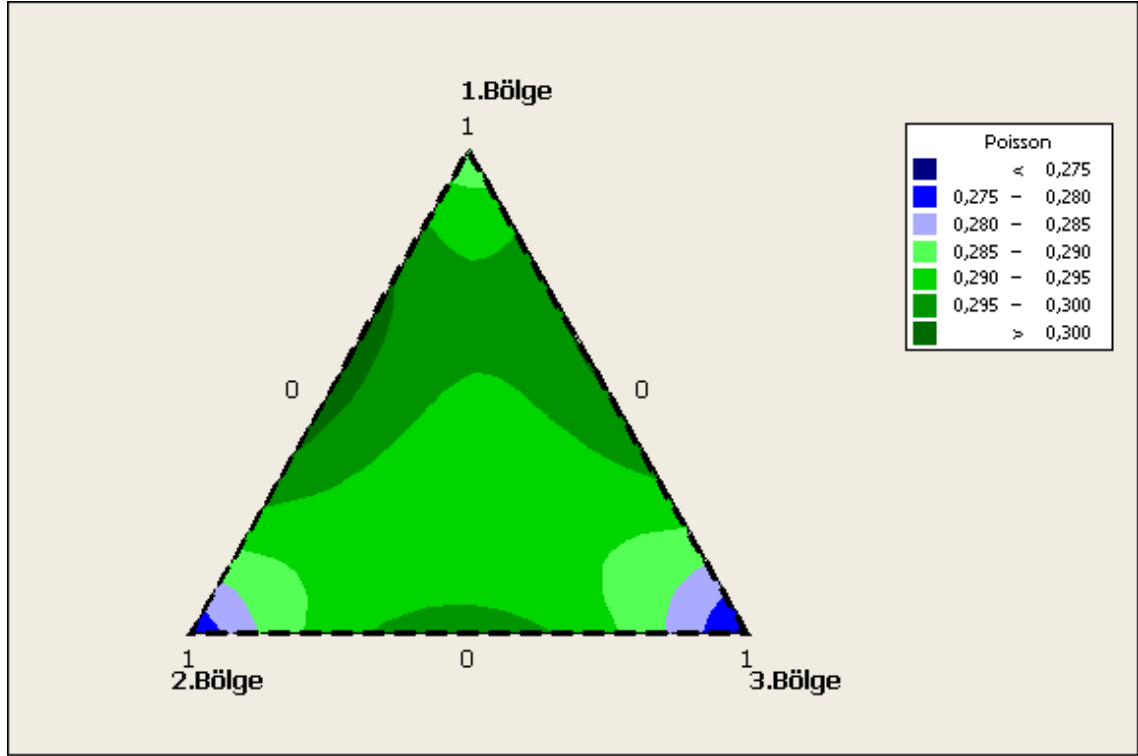
P: Poison oranı

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton poisson oranındaki değişimler Şekil 4.20' de verilmiştir.



Şekil 4.20: Çatalca bölgesi 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlarının tahmin formülü kullanılarak hesaplanan poisson oranı değerleri değişim grafiği

Şekil 4.20'de agrega karışım oranlarına göre poisson oranı değişim grafiği verilmiştir. Buna göre poisson oranı Çatalca bölgesi 1. bölgeye yaklaştıkça artmaktadır. Yani karışımda Çatalca bölgesi 1.bölge agregasından ne kadar fazla kullanılırsa poisson oranı değerinde o ölçüde artacağı söylenebilir.

Tablo 4.81'de Cendere bölgesi 1.bölge –3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.82' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.81: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	33,75	0,6603	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	39,050	0,6603	*
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-6,2	3,235	-1,92
(1. Bölge × 3. Bölge) × (1. Bölge – 3. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	-3,2	5,568	-0,57
(1. Bölge × 3. Bölge) × (1. Bölge – 3. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	41,333	14,732	2,81
Korelasyon katsayısı	0,96		

Tablo 4.82: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	4	45,86	11,465	13,15
Doğrusal etki	1	28,09	28,09	32,21
Karesel etki	1	3,2	3,2	3,67
Üçüncü dereceden etki	1	0,288	0,288	0,33
Dördüncü dereceden etki	1	6,864	6,864	7,87
Deneysel hata	5	4,36	0,872	
Toplam	9			

Tablo 4.81 ve Tablo 4.82' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.82' den de görüleceği gibi regresyon modelinin F

istatistiği değeri 13,15 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;4;5} : 5,19$ olarak bulunmuştur. 4 ve 5 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,19 < 13,15$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü derece veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel, üçüncü derece veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel, üçüncü derece veya dördüncü derece etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (32,21), (3,67), (0,33) ve (7,87) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde f değerleri tablosundan $F_{0,05;1;5} : 6,61$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $6,61 < 32,21$ ve $6,61 < 7,87$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Doğrusal veya dördüncü derece etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Karesel ve üçüncü derece etkileri açısından ise $6,61 > 3,67$ ve $6,61 > 0,33$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Ayrıca yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde dördüncü dereceden ampirik formül kullanılmıştır.

Tablo 4.81’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.16’ da verilmiştir;

$$B = (33,75 \times A1) + (39,05 \times A3) - (6,2 \times A1 \times A3) - (3,2 \times A1 \times A3 \times (A1 - A3)) + (41,333 \times A1 \times A3 \times (A1 - A3)^2) \quad (4.16)$$

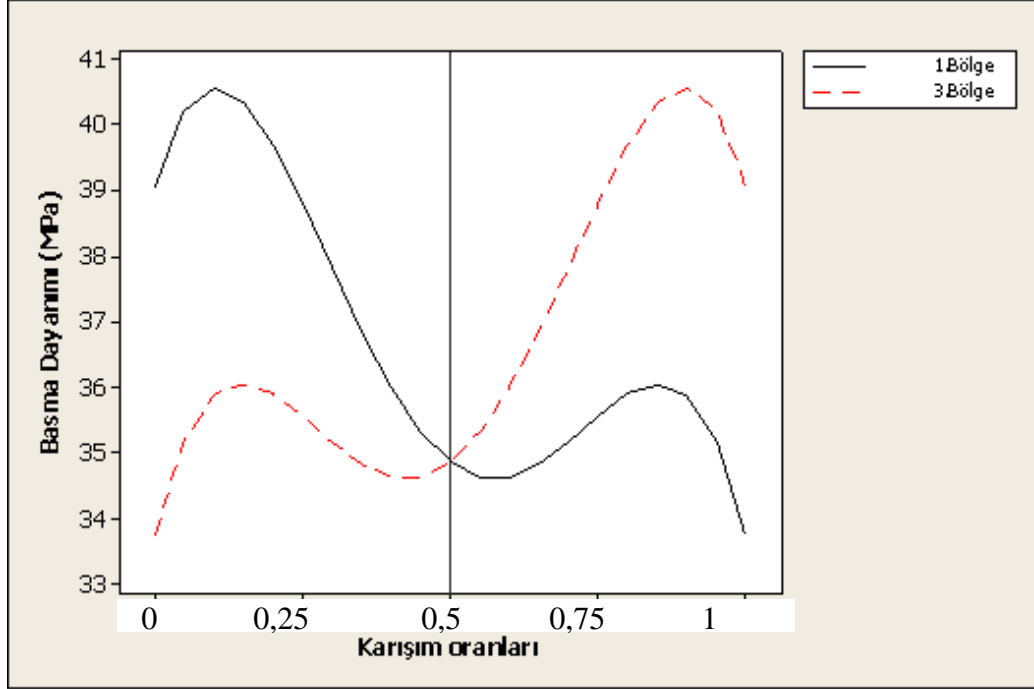
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.21’ de verilmiştir.



Şekil 4.21: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.21’den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini %10 oranında Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Tablo 4.83’ de Cendere bölgesi 1.bölge –3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.84’ de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.83: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	2,325	0,0686	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	3,035	0,0686	*
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-1,2	0,354	-3,39
(1. Bölge × 3. Bölge) × (1. Bölge – 3. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	5,493	1,61337	3,40
Korelasyon katsayısı	0,96		

Tablo 4.84: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	0,79226	0,26408	25,25
Doğrusal etki	1	0,63012	0,6301	60,25
Karesel etki	1	0,12	0,12	11,47
<i>Dördüncü dereceden etki</i>	1	0,1212	0,1212	11,59
Deneysel hata	6	0,06275	0,010458	
Toplam	9			

Tablo 4.83 ve Tablo 4.84' de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.84'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 25,25 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;6} : 4,76$ olarak bulunmuştur. 3 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,76 < 25,25$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya dördüncü derece etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel veya dördüncü derece etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (60,25), (11,47) ve (11,59) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri

tablosundan $F_{0,05;1;6} : 5,99$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,99 < 60,25$, $5,99 < 11,47$ ve $5,99 < 11,59$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel veya dördüncü derece etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde dördüncü dereceden regresyon modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.83’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.17’ de verilmiştir;

$$\begin{aligned} \text{Ç} = & (2,325 \times A1) + (3,035 \times A3) - (1,2 \times A1 \times A3) + (5,493 \times A1 \times A3 \times \\ & (A1 - A3)^2) \end{aligned} \quad (4.17)$$

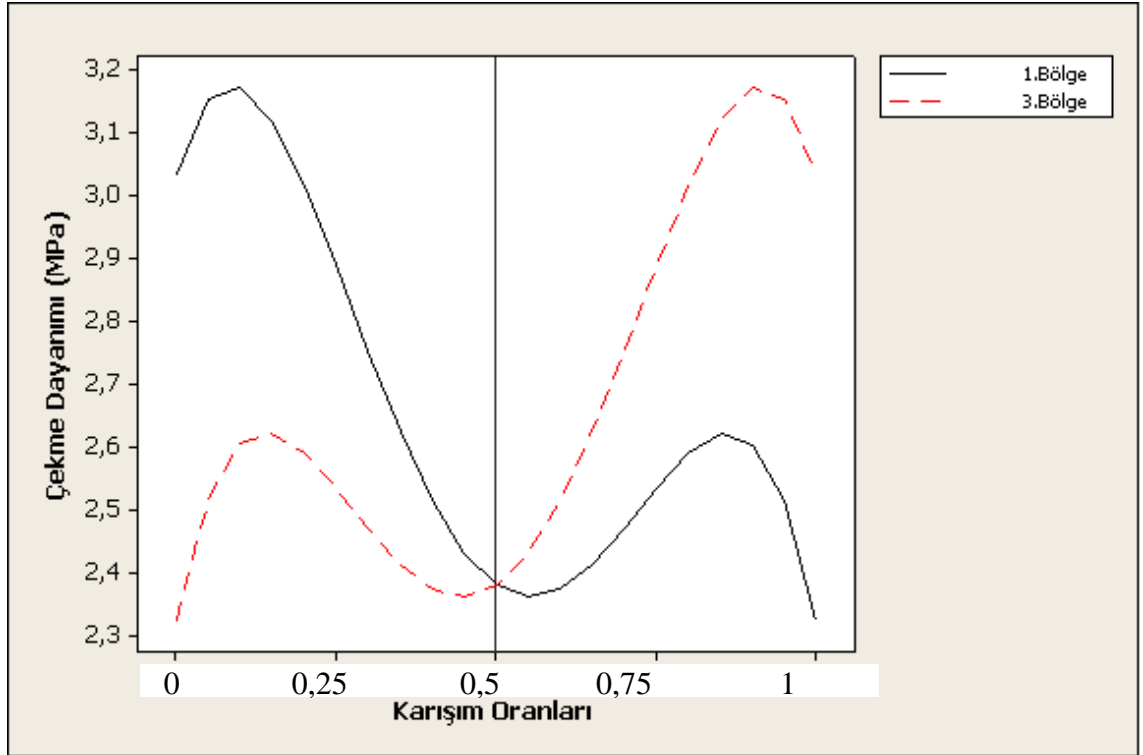
Burada;

Ç: Çekme Dayanımı (MPa),

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.22'den de görüldüğü gibi en yüksek çekme dayanım değerini %10 oranında Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.85'de Cendere bölgesi 1.bölge –3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.86'da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.85: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	39,779	0,4305	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	38,429	0,4305	*
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	5,171	1,8542	2,79
(1. Bölge × 3. Bölge) × (3. Bölge – 1. Bölge) (Üçüncü dereceden etki)	14,40	3,6566	3,94
Korelasyon katsayısı	0,85		

Tablo 4.86: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	32,2764	10,7588	14,31
Doğrusal etki	1	3,645	3,645	4,85
Karesel etki	1	5,8502	5,8502	7,78
Üçüncü dereceden etki	1	11,664	11,664	15,51
Deneysel hata	16	12,0336	0,7521	
Toplam	19			

Tablo 4.85 ve Tablo 4.86’da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama elastisite modülü değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama elastisite modülü değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.86’den da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 14,31 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;3;16} : 3,24$ olarak bulunmuştur. 3 ve 16 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleri. $3,24 < 14,31$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkileri elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü derece etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (4,85), (7,78) ve (15,51) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan

$F_{0,05;1;16}$: 4,49 olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,49 < 4,85$; $4,49 < 7,78$ ve $4,49 < 15,51$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal, karesel veya üçüncü derece etkilerinin elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Bu nedenlerle tahmin formülünde üçüncü dereceden regresyon modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.85’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.18’ de verilmiştir;

$$E = (39,779 \times A1) + (38,429 \times A3) + (5,171 \times A1 \times A3) + (14,4 \times A1 \times A3 \times (A3 - A1)) \quad (4.18)$$

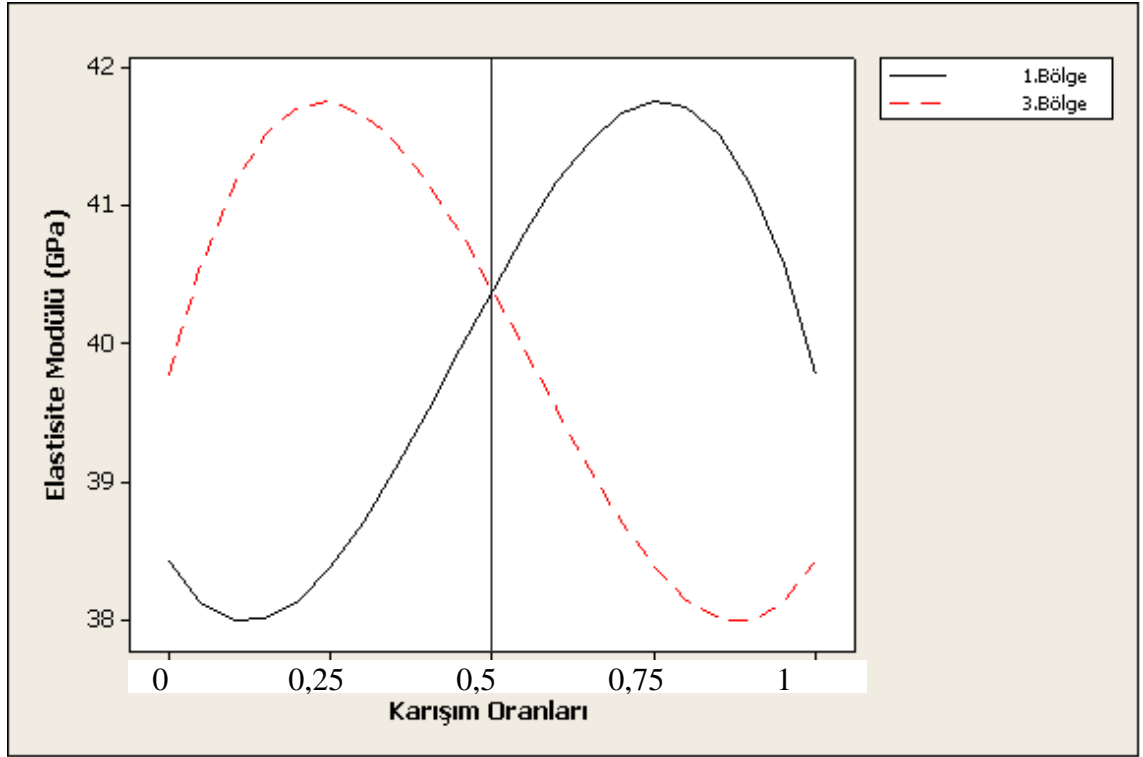
Burada;

E: Elastisite Modülü (GPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.23’ de verilmiştir.



Şekil 4.23: Cendere bölgesi 1.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.23'den de görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini %25 Cendere bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.87' de Cendere bölgesi 1.bölge –3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.88' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.87: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların	
		standart hataları	T-değer
1.Bölge (Doğrusal etki)	0,278	0,0038	*
3.Bölge (Doğrusal etki)	0,278	0,0038	*
1. Bölge × 3. Bölge (Karesel etki)	-0,0285	0,0173	-1,65
Korelasyon katsayısı	0,37		

Tablo 4.88: Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	0,000179	0,00009	1,36
Doğrusal etki	1	0	0	0
Karesel etki	1	0,00018	0,00018	2,72
Deneysel hata	17	0,0011	0,00007	
Toplam	19			

Tablo 4.87 ve Tablo 4.88’ de verilen değerler kullanılarak Beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.88’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 1,36 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 > 1,36$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,37 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Cendere bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımı poison oranı tahmininde kullanılabilecek bir formül önerilmemiştir.

Tablo 4.89’da Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.90’da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.89: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	33,909	0,4754	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	29,049	0,4754	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 1. Bölge (Karesel etki)	-7,829	2,1601	-3,62
Korelasyon katsayısı	0,95		

Tablo 4.90: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	36,227	18,114	35,49
Doğrusal etki	1	29,524	29,524	57,85
Karesel etki	1	6,703	6,703	13,14
DeneySEL hata	7	3,57	0,5103	
Toplam	9			

Tablo 4.89 ve Tablo 4.90' da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.90'dan da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 35,49 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;7} : 4,74$ olarak bulunmuştur. 2 ve 7 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleri. $4,74 < 35,49$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri basma dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal veya karesel etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (57,85) ve (13,14) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;7} : 5,59$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,59 < 57,85$ ve $5,59 < 13,14$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal veya karesel etkilerinin basma dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca üçüncü ve dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde karesel etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.89’da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.19’ da verilmiştir;

$$B = (33,909 \times A1) + (29,049 \times Ay1) - (7,829 \times A1 \times Ay1) \quad (4.19)$$

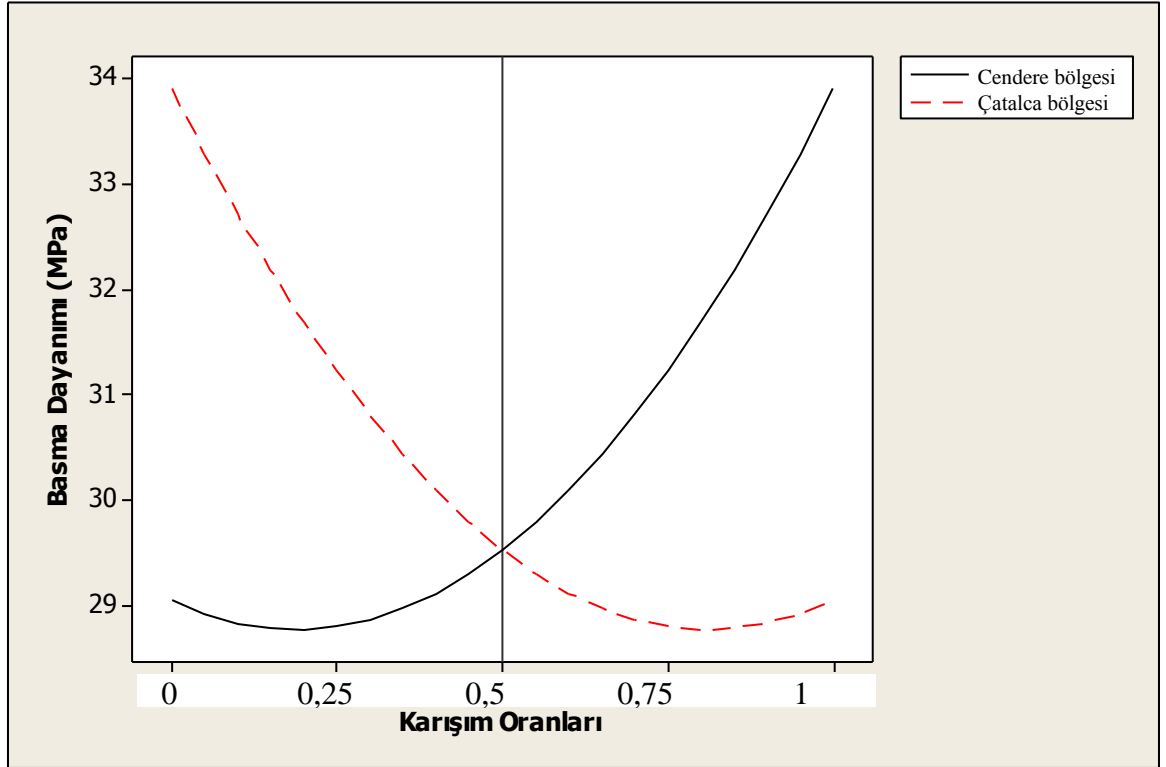
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Ay1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.24: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.24'den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanımı değerini sadece Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.91' de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.92' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.91: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	2,316	0,051	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	1,932	0,051	*
Korelasyon katsayısı	0,85		

Tablo 4.92: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	1	0,184	0,184	21,15
Doğrusal etki	1	0,184	0,184	21,15
Deneysel hata	8	0,0697	0,00871	
Toplam	9			

Tablo 4.91 ve Tablo 4.92’de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.92’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 21,15 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;8} : 5,32$ olarak bulunmuştur. 1 ve 8 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $5,32 < 21,15$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal etkinin F istatistik değeri (21,15) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;8} : 5,32$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,32 < 21,15$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal etkinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca karesel, üçüncü ve

dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini doğrusal ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde doğrusal etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.91’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.20’ de verilmiştir;

$$\zeta = (2,316 \times A1) + (1,932 \times Ay1) \quad (4.20)$$

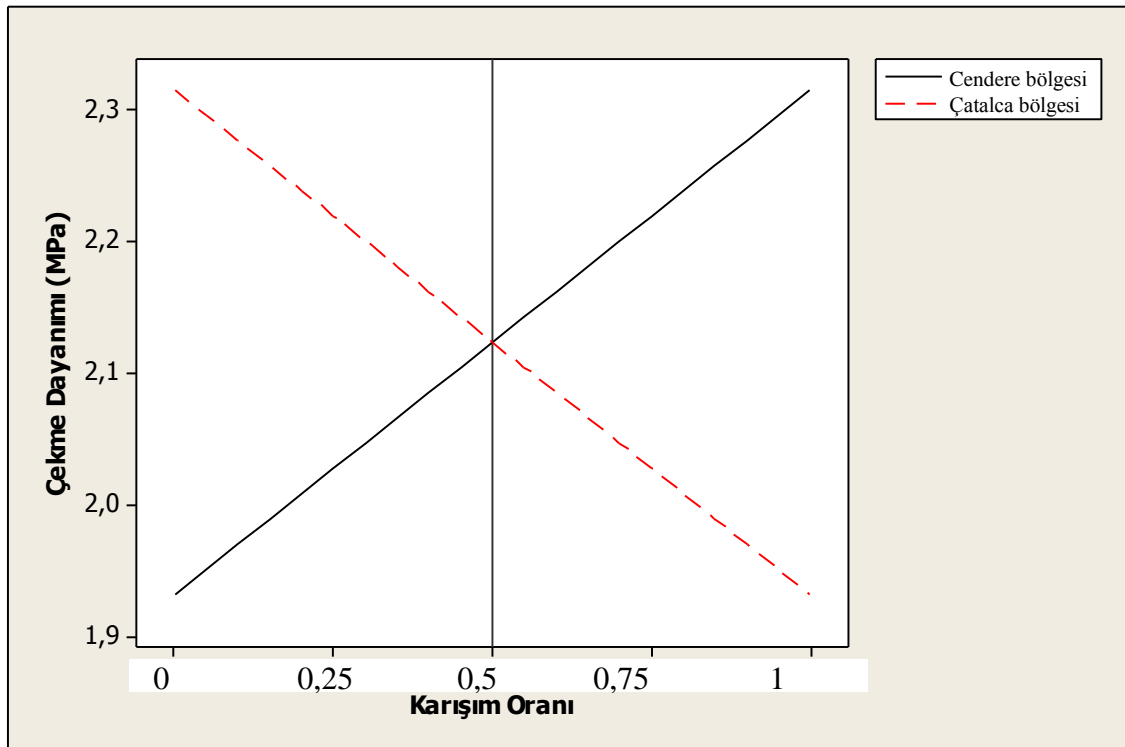
Burada;

ζ : Çekme dayanımı, (MPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Ay1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.25’ de verilmiştir.



Şekil 4.25: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.25’den de görüldüğü gibi en yüksek çekme dayanımı değerini sadece Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.93’ de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.94’ de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.93: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	40,06	0,5154	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	32,65	0,5154	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 1. Bölge (Karesel etki)	6,6	2,3418	2,82
Korelasyon katsayısı	0,94		

Tablo 4.94: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	146,80	73,4	61,19
Doğrusal etki	1	137,27	137,2	114,43
Karesel etki	1	9,53	9,53	8,50
Deneysel hata	17	20,39	1,2	
Toplam	19			

Tablo 4.93 ve Tablo 4.94’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama Elastisite modülü açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama Elastisite modülü farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton Elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.94'den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 61,19 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 < 61,19$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton Elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri Elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri Elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal veya karesel etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (114,43) ve (8,50) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;17} : 4,45$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,45 < 114,43$ ve $4,45 < 8,5$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Doğrusal veya karesel etkilerinin Elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca üçüncü ve dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde karesel etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.93'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.21' de verilmiştir;

$$E = (40,06 \times A1) + (32,65 \times Ay1) + (6,6 \times A1 \times Ay1) \quad (4.21)$$

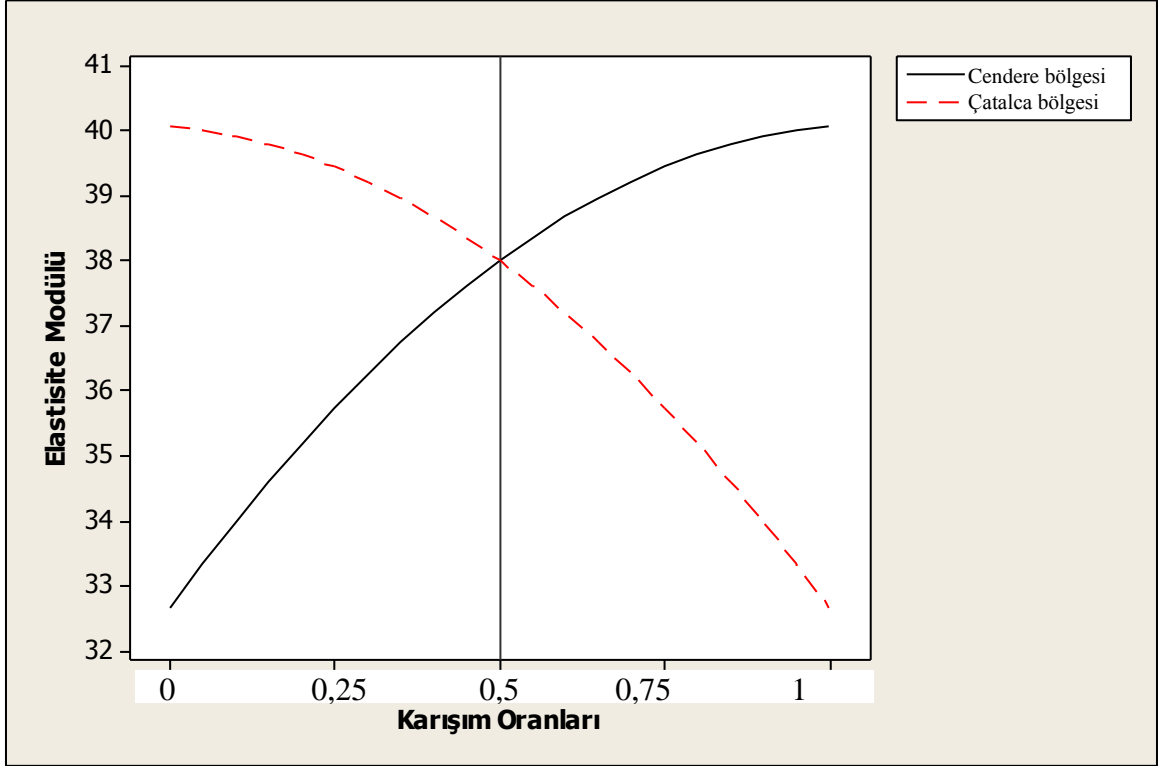
Burada;

E: Elastisite modülü, (GPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Ay1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton Elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.26' da verilmiştir.



Şekil 4.26: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.26'dan da görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini sadece Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.95' de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.96' da ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.95: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poison oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	0,2775	0,0049	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	0,2845	0,0049	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 1. Bölge (Karesel etki)	-0,02	0,0223	-0,9
Korelasyon katsayısı	0,32		

Tablo 4.96: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poison oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	0,00021	0,000106	0,97
Doğrusal etki	1	0,00012	0,00012	1,13
Karesel etki	1	0,00009	0,00009	0,81
Deneysel hata	17	0,00184	0,00011	
Toplam	19			

Tablo 4.95 ve Tablo 4.96’ da verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.96’ dan da görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 0,97 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 > 0,97$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,32

olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımı poison oranı tahmininde kullanılabilir bir formül önerilmemiştir.

Tablo 4.97’ de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.98’ de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.97: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	33,67	0,528	*
Çatalca bölgesi 2.Bölge (Doğrusal etki)	29,45	0,528	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 2. Bölge (Karesel etki)	18,11	2,399	7,55
Korelasyon katsayısı	0,96		

Tablo 4.98: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı basma dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	58,1494	29,0747	46,19
Doğrusal etki	1	22,2605	22,2605	35,36
Karesel etki	1	35,8889	35,8889	57,01
Deneysel hata	7	4,4066	0,6295	
Toplam	9			

Tablo 4.97 ve Tablo 4.98’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basma dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama basma dayanım değeri açısından bir fark yoktur,

- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basma dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.98' den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 46,19 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;7} : 4,74$ olarak bulunmuştur. 2 ve 7 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,74 < 46,19$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton basma dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri basma dayanım değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya karesel etkileri basma dayanım değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal veya karesel etkilerin f istatistik değerleri sırasıyla (35,36) ve (57,01) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;7} : 5,59$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $5,59 < 35,36$ ve $5,59 < 57,01$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal veya karesel etkilerinin basma dayanım değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca üçüncü ve dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini karesel ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde karesel etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.97'de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.22' de verilmiştir;

$$B = (33,67 \times A1) + (29,45 \times Ay2) + (18,11 \times A1 \times Ay2) \quad (4.22)$$

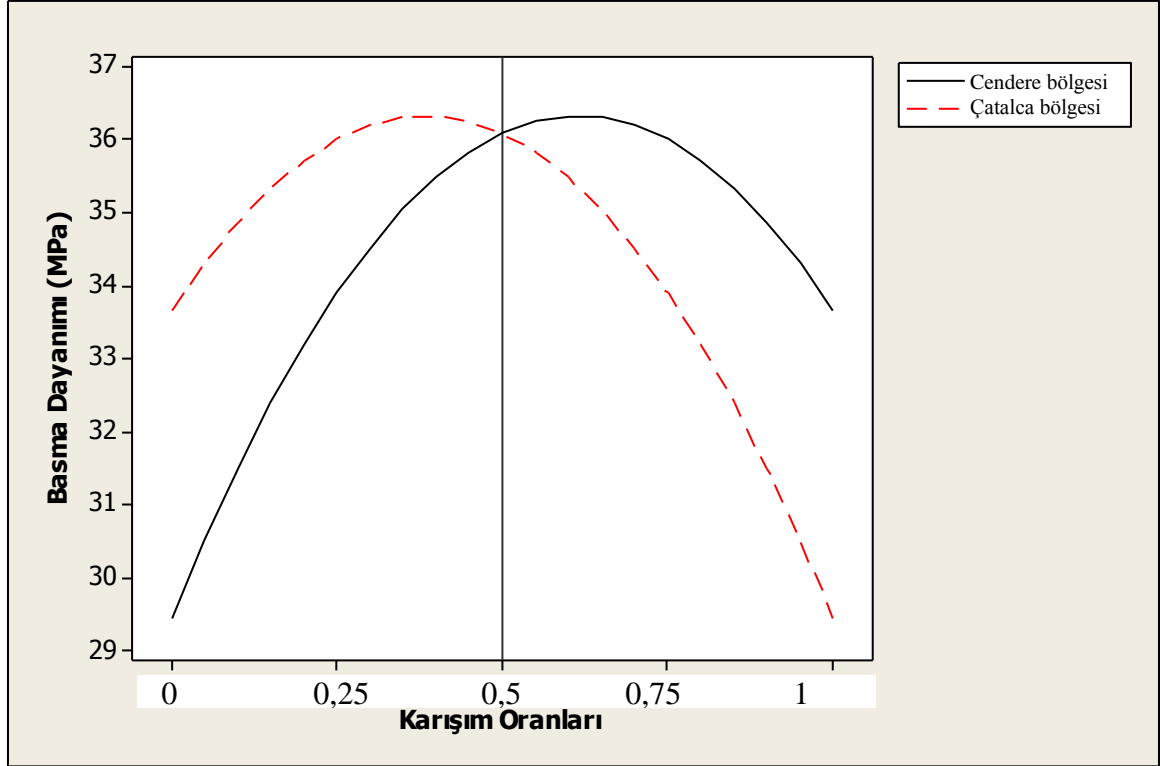
Burada;

B: Basma dayanımı, (MPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Ay1: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımındaki değişimler Şekil 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.27: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basma dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.27' den de görüldüğü gibi en yüksek basma dayanım değerini %61 oranında Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.99' da Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.100' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.99: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayıların		
	Katsayılar	standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	2,349	0,05586	*
Çatalca bölgesi 2.Bölge (Doğrusal etki)	2,169	0,05586	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 2. Bölge (Karesel etki)	1,897	0,24058	7,89
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 2. Bölge × (Cendere bölgesi 1. Bölge – Çatalca bölgesi 2. Bölge)) (Üçüncü derece etki)	1,760	0,47443	3,71
Korelasyon katsayısı	0,97		

Tablo 4.100: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı çekme dayanımı değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	3	0,60246	0,2008	31,72
Doğrusal etki	1	0,03240	0,03240	5,12
Karesel etki	1	0,3937	0,3937	62,18
Üçüncü dereceden etki	1	0,08712	0,08712	13,76
Deneysel hata	6	0,03798	0,00633	
Toplam	9			

Tablo 4.99 ve Tablo 4.100 ‘de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton çekme dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama çekme dayanım değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama çekme dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton çekme dayanımı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.100’ den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 31,72 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri

tablosundan $F_{0,05;3;6} : 4,76$ olarak bulunmuştur. 3 ve 6 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $4,76 < 31,72$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton çekme dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü dereceden etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal, karesel ve üçüncü dereceden etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal, karesel ve üçüncü dereceden etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (5,12), (62,18) ve (13,76) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;6} : 5,99$ olarak bulunmuştur. Buna göre; doğrusal etki açısından $5,99 > 5,12$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Modelin doğrusal etkileri çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı değildir. Karesel ve üçüncü derece etkileri açısından ise; $5,99 < 62,18$ ve $5,99 < 13,76$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve Karesel ve üçüncü derece etkinin çekme dayanımı değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca dördüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini üçüncü derece ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde bu etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.99’da verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.23’ de verilmiştir;

$$\begin{aligned} \text{Ç} = & (2,349 \times A1) + (2,169 \times A2) + (1,897 \times A1 \times A2) - (1,76 \times A1 \times A2 \times \\ & (A1 - A2)) \end{aligned} \quad (4.23)$$

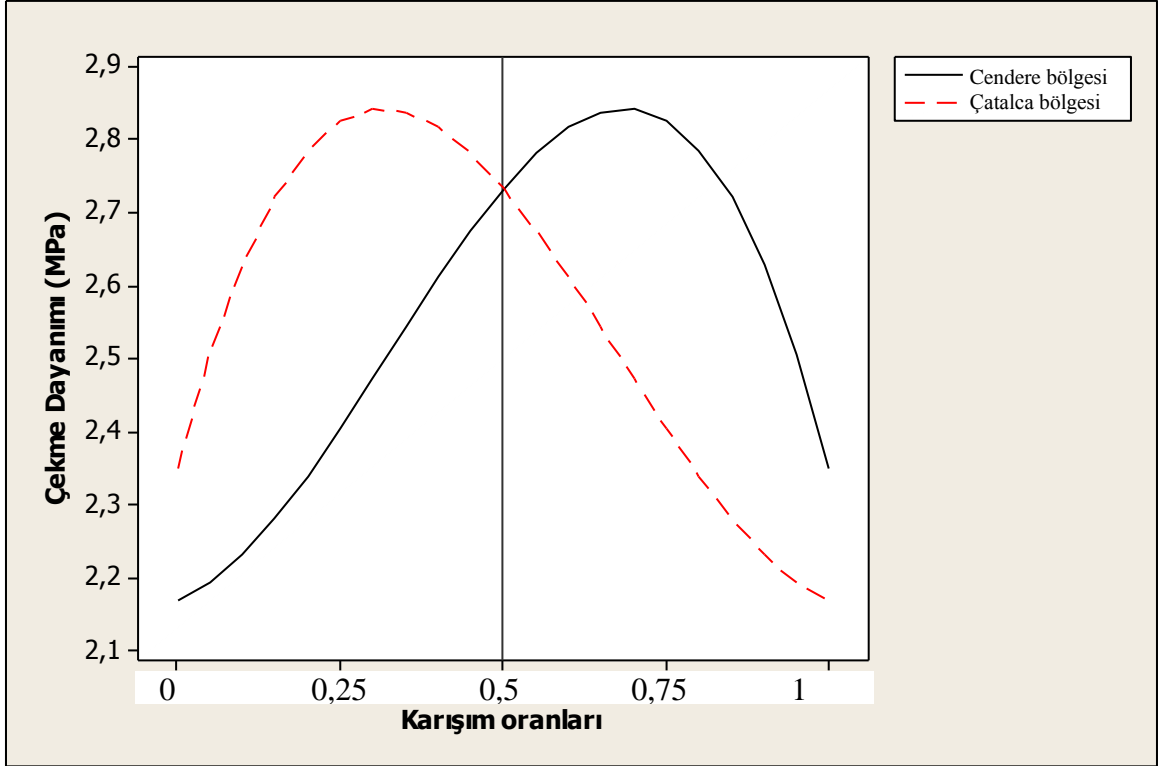
Burada;

Ç: Çekme dayanımı, (MPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton çekme dayanımındaki değişimler Şekil 4.28’ de verilmiştir.



Şekil 4.28: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan çekme dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 4.28’den de görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini %68 Cendere bölgesi 1. bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.101’ de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.102’de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.101: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	40,01	0,3380	*
Çatalca bölgesi 2.Bölge (Doğrusal etki)	34,14	0,3380	*
(Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 2. Bölge) × (Cendere bölgesi 1. Bölge – Çatalca bölgesi 2. Bölge) ² (dördüncü dereceden etki)	36,8	7,6866	4,79
Korelasyon katsayısı	0,95		

Tablo 4.102: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı elastisite modülü değerlerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	100,132	50,066	80,34
Doğrusal etki	1	85,849	85,849	137,77
Dördüncü dereceden etki	1	14,283	14,283	22,92
Deneysel hata	17	10,594	0,6231	
Toplam	19			

Tablo 4.101 ve Tablo 4.102’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton Elastisite modülünü etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama Elastisite modülü açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama Elastisite modülü farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton Elastisite modülü özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.102’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 80,34 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin

ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 < 80,34$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton Elastisite modülünü %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

- H_0 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya dördüncü dereceden etkileri Elastisite modülü değerleri açısından anlamlı değildir,
- H_1 hipotezi: regresyon modeli doğrusal veya dördüncü dereceden etkileri Elastisite modülü değerleri açısından anlamlıdır.

Doğrusal veya dördüncü dereceden etkilerin F istatistik değerleri sırasıyla (137,77) ve (22,92) olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;1;17} : 4,45$ olarak bulunmuştur. Buna göre; $4,45 < 137,77$ ve $4,45 < 22,92$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir ve doğrusal veya dördüncü dereceden etkilerinin elastisite modülü değerleri açısından anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ayrıca karesel ve üçüncü dereceden de değerlendirme yapılmış fakat F test istatistiğine göre değişim anlamlı olmadığından tahmin formülünde kullanılmamıştır. Yapılan analizlerde en uygun korelasyon katsayısı değerini dördüncü dereceden ampirik formülün verdiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle tahmin formülünde bu etki modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.101’de verilen katsayılar kullanılarak oluşturulan tahmin modeli Eşitlik 4.24’ de verilmiştir;

$$E = (40,01 \times A1) + (34,14 \times A2) + (36,8 \times A1 \times A2 \times (A1 - A2)^2) \quad (4.24)$$

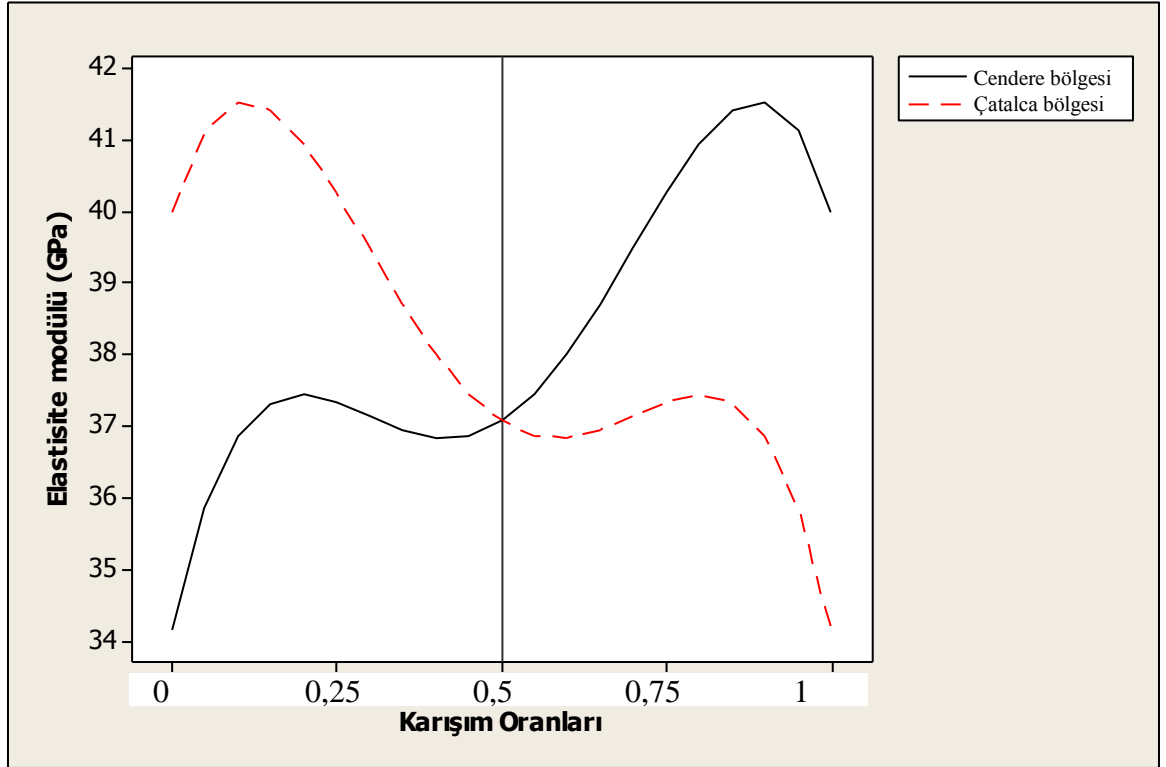
Burada;

E: Elastisite modülü, (GPa)

A1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Ay1: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı;

Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarının beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton Elastisite modülündeki değişimler Şekil 4.29’ da verilmiştir.



Şekil 4.29: Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 2.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerleri değişim grafiği

Şekil 4.29'dan da görüldüğü gibi en yüksek elastisite modülü değerini %85 Cendere bölgesi 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Tablo 4.103' de Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poisson oranı değerlerine göre tahmin edilen regresyon katsayıları, Tablo 4.104' de ise varyans analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.103: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poisson oranlarına göre tahmin edilen regresyon katsayıları

	Katsayılar	Katsayıların standart hataları	T-değer
Cendere bölgesi 1.Bölge (Doğrusal etki)	0,277	0,005672	*
Çatalca bölgesi 2.Bölge (Doğrusal etki)	0,275	0,005672	*
Cendere bölgesi 1. Bölge × Çatalca bölgesi 2. Bölge (Karesel etki)	0	0,02577	0
Korelasyon katsayısı	0,06		

Tablo 4.104: Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poison oranlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F istatistiği
Regresyon modeli	2	0,00001	0,000005	0,03
Doğrusal etki	1	0,00001	0,00001	0,07
Karesel etki	1	0	0	0
Deneysel hata	17	0,002470	0,000145	
Toplam	19			

Tablo 4.103 ve Tablo 4.104’ de verilen değerler kullanılarak beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton poison oranını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre;

- H_0 hipotezi: karışımlar arasında ortalama poison oranı değeri açısından bir fark yoktur,
- H_1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama poison oranı değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton poison oranı özelliğini etkilemesi durumunda, H_0 hipotezi reddedilmelidir. Tablo 4.104’den de görüleceği gibi regresyon modelinin F istatistiği değeri 0,03 olarak hesaplanmış ve %5 anlamlılık düzeyinde F değerleri tablosundan $F_{0,05;2;17} : 3,59$ olarak bulunmuştur. 2 ve 17 değerleri regresyon modelinin ve deneysel hatanın serbestlik dereceleridir. $3,59 > 0,03$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilir. Buna göre, farklı özellikte agrega kullanımı beton poison oranını %5 anlamlılık düzeyinde etkilememektedir. Ayrıca regresyon modelinin korelasyon katsayısı 0,06 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 0,7 değerinden düşük olması parametreler arasındaki ilişkinin ve tahmin modelinin zayıflığını göstermektedir. Bu nedenlerle Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge karışımı poison oranı tahmininde kullanılacak bir formül önerilmemiştir.

4.4.3. Tahmin Modellerinin Değerlendirilmesi

İstatistiksel deney tasarımı yöntemi kullanılarak, taşocaklarından üretilen farklı bölgelerin agregaları ile oluşturulan toplam 25 farklı beton karışımı deney sonuçları üzerinde istatistiksel analizler yapılmış ve beton basma dayanımı, çekme dayanımı,

elastisite modülü ve poison oranları tahmininde kullanılabilecek ampirik formüller geliştirilmiştir. Tablo 4.105’ de basma dayanımı tahmin modelleri, Tablo 4.106’ da çekme dayanımı tahmin modelleri, Tablo 4.107’ de elastisite modülü tahmin modelleri ve Tablo 4.108’ de ise poison oranları tahmin modelleri farklı bölge agregalarından oluşturulan karışımlar için verilmiştir.

Tablo 4.105: Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen basma dayanımı tahmin modelleri

Karışım	Basma dayanımı tahmin modelleri	Korelasyon katsayıları
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	$B = (29,06 \times A1) + (29,33 \times A2) + (8,87 \times A1 \times A2) + (33,67 \times A1 \times A2 \times (A2 - A1))...$	0,95
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$B = (29,1 \times A1) + (34,01 \times A3) + (7,96 \times A1 \times A3) - (14,67 \times A1 \times A3 \times (A3 - A1))$	0,91
Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$B = (29,37 \times A2) + (34 \times A3) - (13,89 \times A2 \times A3) - (14,31 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3) + (134,97 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)^2)$	0,98
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$B = (28,96 \times A1) + (29,21 \times A2) + (33,86 \times A3) + (12,61 \times A1 \times A2) + (10,71 \times A1 \times A3) - (11,19 \times A2 \times A3))...$	0,89
Cendere bölgesi 1.Bölge – Cendere bölgesi 3.Bölge	$B = (33,75 \times Ad1) + (39,05 \times Ad3) - (6,2 \times Ad1 \times A3) - (3,2 \times Ad1 \times A3 \times (Ad1 - Ad3)) + (41,333 \times Ad1 \times Ad3 \times (Ad1 - Ad3)^2)...$	0,96
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge	$B = (33,909 \times Ad1) + (29,049 \times A1) - (7,829 \times Ad1 \times A1)$	0,95
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	$B = (33,67 \times Ad1) + (29,45 \times A2) + (18,11 \times Ad1 \times A2))...$	0,96

Burada;

B: Basma Dayanımı,

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

Ad1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,
Ad3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı

Tablo 4.106: Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen çekme dayanımı tahmin modelleri

Karışım	Çekme dayanımı tahmin modelleri	Korelasyon katsayıları
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	$\zeta = (2,03 \times A1) + (2,23 \times A2) + (2,16 \times A1 \times A2 \times (A2 - A1)).$	0,86
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$\zeta = (1,98 \times A1) + (2,5 \times A3) + (0,63 \times A1 \times A3) - (1,76 \times A1 \times A3 \times (A3 - A1)).$	0,98
Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$\zeta = (2,18 \times A2) + (2,5 \times A3) - (1,34 \times A2 \times A3) - (1,68 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3) + (11,28 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)^2)...$	0,97
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$\zeta = (1,98 \times A1) + (2,18 \times A2) + (2,5 \times A3) + (0,32 \times A1 \times A2) + (0,64 \times A1 \times A3) - (1,34 \times A2 \times A3) + (6,27 \times A1 \times A2 \times A3)...$	0,93
Cendere bölgesi 1.Bölge – Cendere bölgesi 3.Bölge	$\zeta = (2,325 \times Ad1) + (3,035 \times Ad3) - (1,2 \times Ad1 \times Ad3) + (5,493 \times Ad1 \times Ad3 \times (Ad1 - Ad3)^2)...$	0,96
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge	$\zeta = (2,316 \times Ad1) + (1,932 \times A1)$	0,85
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	$\zeta = (2,349 \times Ad1) + (2,169 \times A2) + (1,897 \times Ad1 \times A2) - (1,76 \times Ad1 \times A2 \times (Ad1 - A2))$	0,97

Burada;

Ç: Çekme Dayanımı,

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

Ad1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

Ad3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı

Tablo 4.107: Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen elastisite modülü tahmin modelleri

Karışım	Elastisite modülü tahmin modelleri	Korelasyon katsayıları
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	***	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$E = (38,89 \times A1) + (33,179 \times A3) - (6,1 \times A1 \times A3)$	0,92
Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$E = (33,8 \times A2) + (39,07 \times A3) - (6,85 \times A2 \times A3) + (20,73 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)) + (26,6 \times A2 \times A3 \times (A2 - A3)^2)$	0,96
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$E = (32,85 \times A1) + (33,8 \times A2) + (39,075 \times A3) - (3 \times A1 \times A2) - (7,55 \times A1 \times A3) - (6,85 \times A2 \times A3) + (42,3 \times A1 \times A2 \times A3)...$	0,95
Cendere bölgesi 1.Bölge – Cendere bölgesi 3.Bölge	$E = (39,779 \times Ad1) + (38,429 \times Ad3) + (5,171 \times Ad1 \times Ad3) + (14,4 \times Ad1 \times Ad3 \times (Ad1 - Ad3))$	0,85
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge	$E = (40,06 \times Ad1) + (32,65 \times A1) + (6,6 \times Ad1 \times A1)$	0,94
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	$E = (40,01 \times Ad1) + (34,14 \times A2) + (36,8 \times Ad1 \times A2 \times (Ad1 - A2)^2)...$	0,95

Burada;

E: Elastisite modülü,

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

Ad1: Cendere bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

Ad3: Cendere bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı

***: Tahmin modeli önerilmemiştir.

Tablo 4.108: Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen poisson oranı tahmin modelleri

Karışım	Poisson oranları tahmin modelleri	Korelasyon katsayıları
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	***	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$P = (0,273 \times A1) + (0,285 \times A3) + (0,0914 \times A1 \times A3)$	0,77
Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	***	*
Çatalca bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge – Çatalca bölgesi 3.Bölge	$P = (0,285 \times A1) + (0,275 \times A2) + (0,273 \times A3) + (0,09 \times A1 \times A2) + (0,085 \times A1 \times A3) + (0,095 \times A2 \times A3) - (0,0405 \times A1 \times A2 \times A3)$	0,79
Cendere bölgesi 1.Bölge – Cendere bölgesi 3.Bölge	***	
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 1.Bölge	***	
Cendere bölgesi 1.Bölge – Çatalca bölgesi 2.Bölge	***	

Burada;

E: Elastisite modülü,

A1: Çatalca bölgesi 1.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A2: Çatalca bölgesi 2.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

A3: Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının beton karışımında kullanım oranı,

***: Tahmin modeli önerilmemiştir.

Tablo 4.105, Tablo 4.106 ve Tablo 107'ye göre toplam 7 karışım için korelasyon katsayıları oldukça yüksek olan tahmin modelleri önerilmiştir. Buna göre beton üretiminde farklı agrega kullanımının beton basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini etkilediği söylenebilir.

Tablo 4.108'e göre ise toplam 7 karışımdan sadece 2 karışım için tahmin modeli önerildiği görülmektedir. Ayrıca önerilen tahmin modellerinin de korelasyon katsayıları

diğer modellere göre düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle beton üretiminde farklı agrega kullanımının beton poison oranını etkilemediği sonucu çıkarılabilir.

İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak oluşturulan tahmin modelleri deneme betonu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre modelde kullanılan oranlardan farklı 7 deneme karışımı hazırlanmıştır. Deneme betonlarında kullanılan su, çimento ve toplam agrega miktarlarının daha önce dökülen beton karışımlarla aynı olması sağlanmış ve deneme betonlarının basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poison oranları en az 2 küp numune üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Tablo 4.109’da deneme betonlarında kullanılan farklı agrega karışım oranları ve karışımda kullanılan malzeme miktarları verilmektedir. Tablo 4.110’da ise deneme betonlarının ortalama basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poison oranları verilmektedir.

Tablo 4.109: Deneme karışımlarına ait düzeltilmiş oranlar

Karışım	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg)	Çökme (cm)
%90 Çatalca bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	270	1672	10
%10 Çatalca bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	250	1694	10
%90 Çatalca bölgesi 2 + %10 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	262	1682	10
%20 Çatalca bölgesi 1 + %40 Çatalca bölgesi 2 + %40 Çatalca bölgesi 3. bölge	400	262	1682	10
%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Cendere bölgesi 3. bölge	400	225	1765	9
%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 1. bölge	400	229	1731	9
%10 Cendere bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 2. bölge	400	260	1692	9

Tablo 4.110: Deneme betonlarının ortalama basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranları

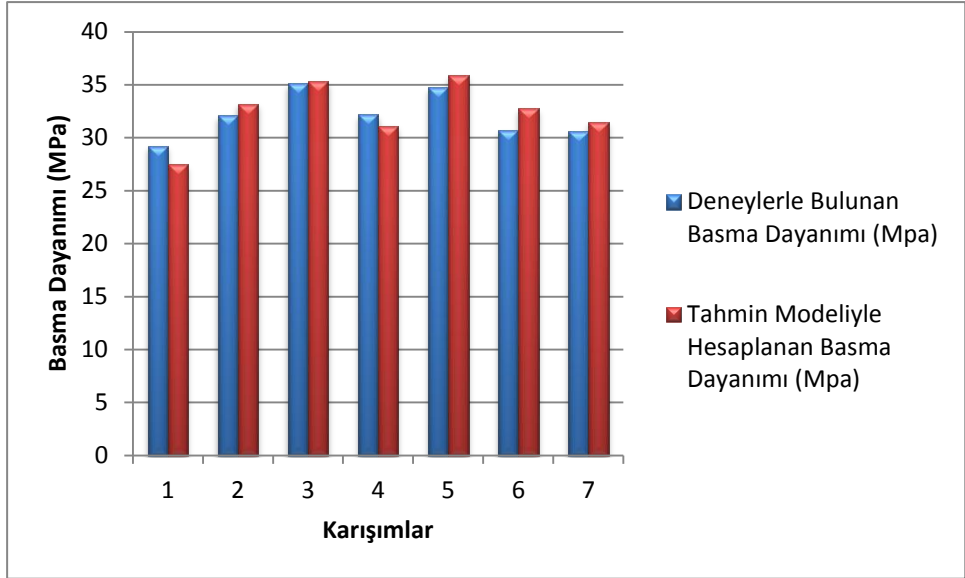
Karışım	Basma Day.(MPa)	Çekme Day.(MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Poison Oranı
%90 Çatalca bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 2. bölge	29,2	2,12	32,6	0,28
%10 Çatalca bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 3. bölge	32,1	2,24	32,11	0,28
%90 Çatalca bölgesi 2 + %10 Çatalca bölgesi 3. bölge	35,1	2,54	35,48	0,29
%20 Çatalca bölgesi 1 + %40 Çatalca bölgesi 2 + %40 Çatalca bölgesi 3. bölge	32,2	2,56	33,25	0,32
%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Cendere bölgesi 3. bölge	34,75	2,54	39,65	0,31
%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 1. bölge	30,7	2,17	40,1	0,28
%10 Cendere bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 2. bölge	30,6	2,13	35,89	0,29

Tablo 4.105’de basma dayanımı,Tablo 4.106’da çekme dayanımı ve Tablo 4.107’de elastisite modülü için verilen tahmin denklemleri kullanılarak deneme betonlarının basma dayanımı , çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri tahmin edilmiştir. Böylece deneylerle belirlenmiş sonuçlar tahmin modelleri sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 4.111’de deneme betonlarına ait tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan basma dayanımı,çekme dayanımı ve elastisite modülü sonuçları verilmektedir.

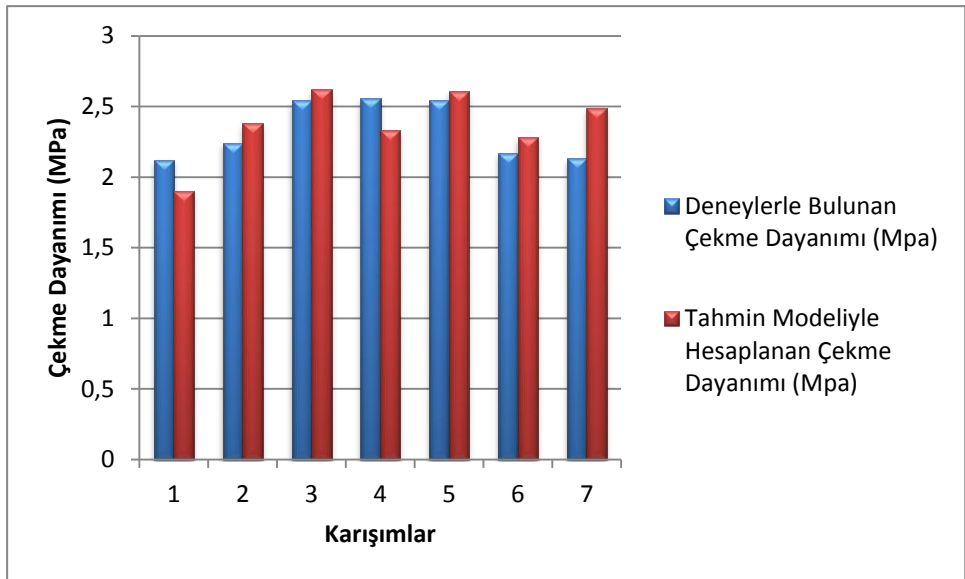
Tablo 4.111: Deneme betonlarına ait tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri

Karışım	Basma Day.(MPa)	Çekme Day.(MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	
1. Deneme Karışımı	%90 Çatalca bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 2. bölge	27,46106	1,89448	
2. Deneme Karışım	%10 Çatalca bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 3. bölge	33,17916	2,37798	33,2011
3. Deneme Karışımı	%90 Çatalca bölgesi 2 + %10 Çatalca bölgesi 3. bölge	35,32685	2,620168	36,73522
4. Deneme Karışımı	%20 Çatalca bölgesi 1 + %40 Çatalca bölgesi 2 + %40 Çatalca bölgesi 3. bölge	31,0952	2,33104	35,1336
5. Deneme Karışımı	%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Cendere bölgesi 3. bölge	35,87238	2,604397	41,14619
6. Deneme Karışımı	%90 Cendere bölgesi 1 + %10 Çatalca bölgesi 1. bölge	32,71839	2,2776	39,913
7. Deneme Karışımı	%10 Cendere bölgesi 1 + %90 Çatalca bölgesi 2. bölge	31,5019	2,4844	36,8466

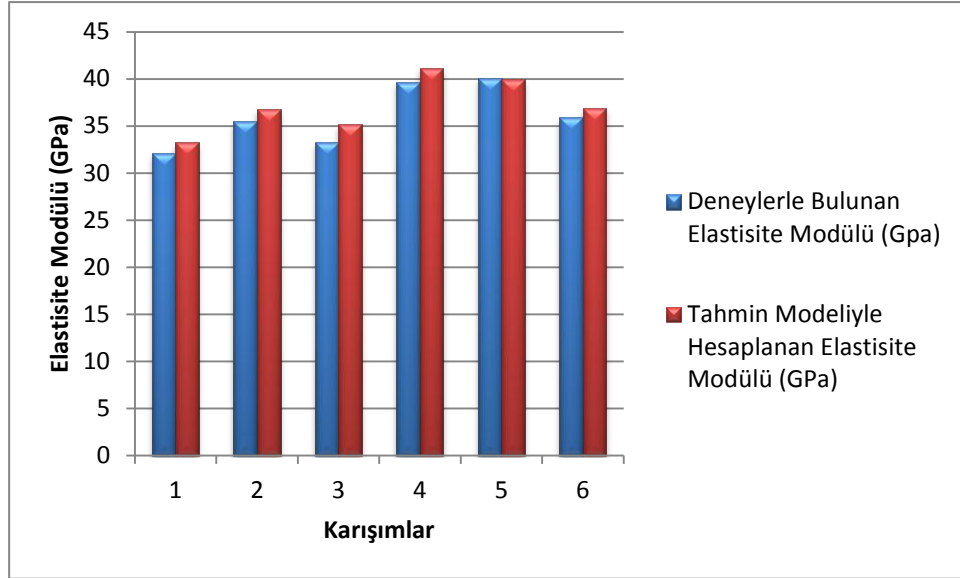
Tablo 4.110’da verilen deney sonuçlarıyla Tablo 4.111’de verilen tahmin modeli kullanılarak hesaplanan sonuçların karşılaştırmaları basma dayanımı için Şekil 4.30’da, çekme Dayanımı için Şekil 4.31’de ve elastisite modülü için ise Şekil 4.32’de verilmektedir. Farklı agrega kullanımının beton poison oranını etkilemediği düşünüldüğünden Poison oranları için herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.



Şekil 4.30: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan basma dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.31: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan çekme dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.32: Deneme karışımları için deneylerle bulunan ve tahmin modeli kullanılarak hesaplanan elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32' den de görüldüğü gibi tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri deneylerle bulunan sonuçlara oldukça yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir. Buna göre bu karışımlar için oluşturulan tahmin modellerinin betonun basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

4.5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BULUNAN AGREGA HARMANLARININ BETON ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğrusal programlama ile bulunan agrega ürün harmanlarının beton üretiminde kullanımı durumunda betonun basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri istatistiksel deney tasarımı kullanılarak oluşturulan tahmin modelleriyle hesaplanmıştır.

Tablo 4.112'de Çatalca bölgesi 1.bölge-Çatalca bölgesi 3.bölge, Çatalca bölgesi 2.bölge-Çatalca bölgesi 3.bölge, Cendere bölgesi 1.Bölge-Çatalca bölgesi 1.bölge ve Cendere bölgesi 1.bölge-Cendere bölgesi 3.bölge karışımlarına ait doğrusal programlama kullanılarak bulunan maliyet değerleri ve istatistiksel deney tasarımı

kullanılarak hesaplanan beton basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri verilmiştir.

Tablo 4.112: Agregâ ürün harmanlarının üretim maliyetleri ve beton üretiminde kullanılması durumunda tahmin edilen beton özellikleri

	Agregâ Üretim Maliyeti (TL/Ton)	Basma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Elastisite Modülü (GPa)
%100 Cendere bölgesi 1.Bölge – %0 Cendere	6,08	33,75	2,325	39,779
%29 Çatalca bölgesi 1 - %71 Çatalca bölgesi 3.	6,02	32,95643	2,326716	33,5792
%10 Çatalca bölgesi 2.Bölge - %90 Çatalca	6,16	41,09149	3,118088	37,9661
%29 Çatalca bölgesi 1 - %0 Çatalca bölgesi 2 - %71	6,02	34,64419	2,480976	35,71521
%38 Cendere bölgesi 1.Bölge – %62 Çatalca	5,88	29,05	2,08	37,02

Tablo 4.112' den de görüldüğü gibi Cendere bölgesi 1. Bölge – Cendere bölgesi 3.Bölge karışımında modele göre 3.bölge agregâsından kullanılmaması gerekmektedir. 3.bölge agregâsı karışımında kullanılması durumunda, her bir birimlik kullanımının amaç fonksiyonu değerini 0,2 TL artırdığı Tablo 4.34'de verilen model çözümlemesinde belirtilmiştir. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 3.bölge agregâsının maksimum 0,6 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre 3.bölge agregâsının karışımında %60 oranında kullanımı üretim maliyetini 0,12 TL artırmış ve yeni üretim maliyeti 6,20 TL olmuştur. Diğer yandan karışımın basma dayanımı değeri %18 artarak 39,99MPa olarak ve Çekme dayanımı değeri %8 artarak 2,52 MPa olarak hesaplanmıştır. Böylece 3.bölge agregâsının karışıma %60 katılması durumunda harmanlama modelinde verilen kısıtlar değişmeyecek ancak agregâ üretim maliyeti yaklaşık %2 oranında artacaktır. Ayrıca bu harmanla oluşturulan beton malzemenin basma ve çekme dayanımı değerleri ortalama %15 oranında artacağı belirlenmiştir.

Çatalca bölgesi 1.bölge – 3.bölge karışımında, 1.bölge agregâsından %29 oranında, 3. bölge agregâsından ise %71 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu harmanla oluşturulan beton malzemenin basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite

modülü değerleri sırasıyla 32,95643 MPa, 2,326716 MPa ve 33,5792 GPa olarak hesaplanmıştır.

Çatalca bölgesi 2.bölge – 3.bölge karışımında, 2.bölge agregasından %10 oranında, 3. Bölge agregasından ise %90 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu harmanla oluşturulan beton malzemenin basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri sırasıyla 41,09149 MPa, 3,118088MPa ve 37,9661GPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.112' den de görüldüğü gibi Çatalca bölgesi 1. bölge – Çatalca bölgesi 2.bölge - Çatalca bölgesi 3.bölge karışımında modele göre 2.bölge agregasından kullanılmaması gerekmektedir. 2.bölge agregası karışımında kullanılması durumunda, her bir birimlik kullanımının amaç fonksiyonu değerini 0,0014 TL artırdığı Tablo 4.27' de verilen model çözümlemesinde belirtilmiştir. Ayrıca verilen kısıt değerlerine göre 2.bölge agregasının maksimum 0,05 birim artırılabilceği yapılan denemelerle belirlenmiştir. Buna göre 3.bölge agregasının karışımında %5 oranında kullanımı üretim maliyetini 0,00007 TL artırmış ve yeni üretim maliyeti 6,024153 TL olmuştur. Diğer yandan karışımın basma dayanımı değeri %1,66 azalarak 35,16 MPa olarak, Çekme dayanımı değeri %0,2 azalarak 2,47 MPa olarak ve elastisite modülü değeri %0,1 oranında azalarak 35,69 GPa olarak hesaplanmıştır. Böylece 2.bölge agregasının karışıma %5 katılması durumunda harmanlama modelinde verilen kısıtlar değişmeyecek ancak agrega üretim maliyeti yaklaşık %0,001 oranında artacaktır. Ayrıca bu harmanla oluşturulan beton malzemenin basma dayanımı yaklaşık %2 oranında azalacaktır.

Cendere bölgesi 1.bölge – Çatalca bölgesi 1.bölge karışımında, Cendere bölgesi 1.bölge agregasından %38 oranında, Çatalca bölgesi 1. Bölge agregasından ise %62 oranında kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu harmanla oluşturulan beton malzemenin basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri sırasıyla 29,05 MPa, 2,08 MPa ve 37,02 GPa olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak üretim maliyeti açısından bakıldığında, en uygun harman grubunun 5,88 TL değeriyle Cendere bölgesi 1.bölge ve Çatalca bölgesi 1.bölge karışımının olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ

Hammaddenin harmanlanarak tesise beslenmesi madencilikte çok sık karşılaşılan uygulamalardan biridir. Optimum harmanlama modelinin oluşturulması ise yine madencilik sektöründe uzun yıllardır çalışmakta olan bir konudur. Değişik madencilik faaliyetlerinde örneklerine rastlamak mümkün iken, agrega ve beton üretiminde bunu söylemek mümkün değildir. Günümüzde kaynakların verimli kullanımı ve sürdürülebilir üretimin önemli unsurlarından biri üretim kalitesinin devamlılığını sağlayacak bir harmanlama politikasının geliştirilmesi ile de ilişkilidir.

Beton agregası üretimi yapan taşocaklarındaki en önemli sorunlardan biri malzeme kalitesinin devamlı olarak değişmesidir. Bunun en büyük nedeni ocak içersinde üretim yapılan yerlerdeki kayaç değişimleridir. Böylece beton santraline beslenen agrega malzemesinin kalitesi değişmekte ve üretilen betonun özellikleri doğrudan etkilenmektedir. Taşocaklarından üretilen ve beton agregası olarak kullanılan malzemelerdeki kalite değişimlerini en aza indirmek için harmanlama yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla problem bir harmanlama optimizasyon problemidir. Bu aynı zamanda sürdürülebilir ve çevre dostu bir üretiminde vazgeçilmez bir unsurdur. En uygun harmanlama modelinin oluşturulması sadece malzeme kalitesi ve maliyet açısından etkili olmayıp, bunun bir sonucu olarakda optimum bir üretim planlaması ve ocak-işletme dizaynını beraberinde getirerek en az çevresel etki ile bir üretimin sağlanması gerçekleştirilebilecektir. Tüm bu verilerin ışığında seçimli üretimi gerçekleştirmek ve bununla birlikte kaynakların verimli kullanımında mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada farklı kayaç gruplarından agrega üretimi yapan iki taşocağında ürün kalitesinin sürekliliği amacıyla harmanlama optimizasyon çalışması yapılmıştır. Oluşturulan doğrusal programlama modelinde, üretim maliyetlerinin minimum olması amaçlanmıştır. Literatürde ve ulusal standartlardaki agregalar için betonda kullanılabilirlik sınır değerleri, doğrusal programlama modelinde kısıt olarak

tanımlanmış ve amaç fonksiyonları ile birlikte değerlendirilip en uygun agrega karışımları oluşturulmuştur. İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak oluşturulan tahmin modelleri deneme betonu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre modelde kullanılan oranlardan farklı 7 deneme karışımı hazırlanmıştır. Deneme betonlarında kullanılan su, çimento ve toplam agrega miktarlarının daha önce dökülen beton karışımlarla aynı olması sağlanmış ve deneme betonlarının basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranları en az 2 küp numune üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü için verilen tahmin denklemleri kullanılarak deneme betonlarının basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri tahmin edilmiştir. Böylece deneylerle belirlenmiş sonuçlar tahmin modelleri sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, deney sonuçları ile tahmin modellerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Buda tahmin modellerinin uygulama açısından kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Böylece endüstriyel uygulamalarda, beton kalitesini belirlemek gibi zaman ve maliyet açısından önemli bir sorun teşkil eden bu aşamanın çözümü için önerilen bu model ile daha hızlı ve güvenilir verilerin elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Son olarak Doğrusal programlama ile bulunan agrega ürün harmanlarının beton üretiminde kullanımı durumunda betonun basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri istatistiksel deney tasarımı kullanılarak oluşturulan tahmin modelleriyle hesaplanmıştır.

Bu çalışma daha sonraki aşamalarında yapılması önerilen çalışmaları ise şu şekilde özetlemek mümkündür: Öncelikle önerilen bu modelin uygulanabilirliği açısından daha çok sayıda ve farklı saha özelliklerine sahip ocaklarda denenerek güvenilirliği arttırılmalıdır. İkinci aşamada ise bu modelin uygun bir yazılım ve arayüz ile paket program haline getirilerek endüstriyel boyutta daha kullanışlı duruma getirmek gerekmektedir. Diğer önemli bir husus ise harmanlama modeli içerisinde söz konusu olan subjektif yada sayısal olarak ifade edilemeyen parametrelerin de hesaba katılabilmesi için bulanık mantık gibi sezgisel yöntemlerin de kullanımının araştırılması gerekmektedir. Bir başka konuda malzemenin şekil faktörü ve boyut dağılımının harmanlama modeli üzerindeki etkilerinin ne olduğunun anlaşılması için görüntü analiz teknikleri ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AGÜP, 2006, Agrega Sektör Raporu, Agrega Üreticileri Birliği Teknik Komite.
- AKALIN, O., AKAY, K.U. ve SENNAROGLU, B., 2010, Self-Consolidating High-Strength Concrete Optimization by Mixture Design Method, ACI Materials Journal, Cilt: 107, No. 4, Ağustos 2010.
- AKINÇ, Ü., 2008, A Note On The Linear Programming Sensitivity Analysis Of Specification Constraints In Blending Problems, Applied Mathematical Sciences, Cilt: 2, 2008, no. 5, 241 – 248.
- ALEXANDER, M.G. ve MINDNESS, S., 2005, Aggregates in Concrete (Modern Concrete Technology), CRC, 978-0415258395, sf: 448.
- ALP, S., 2008, Doğrusal Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl:7 Sayı:13 Bahar 2008/1 s.73-91.
- ANTONIOU, A. ve LU, W.S., 2010, Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications, 978-1441943835, Springer, sf: 696.
- ANTONY, J., 2003, Design of Experiments for engineers and scientists, Elsevier Science & Technology Books, 0750647094.
- ARIOĞLU, E., ARIOĞLU, N. Ve YILMAZ, A.O., 2006, Beton Agregaları, Evrim yayınevi, İstanbul, 975-503-145-6, p 287.
- ASHAYERI, J., EIJS, A.G.M. ve NEDERSTIGT, 1994, Blending Modeling In A Process Manufacturing: A Case Study, European journal of operational research, 72 (1994) 460-468.
- AYAN, E., SAATCIOGLU, O. ve TURANLI, L., 2011, Parameter optimization on compressive strength of steel fiber reinforced high strength concrete, Construction and Building Materials, 25 (2011) 2837–2844.
- AZIZ, A. ve KECOJEVIC, V., 2008, The CO2 Footprint of The U.S. Mining Industry and The Potential Costs Of CO2 Legislation, The International Journal Of Mineral Resources Engineering, Vol.13, No:3 (2008), pp:111-129.
- BARBARO, R.W. ve RAMANI, R.V., 1986, Generalized multiperiod MIP model for production scheduling and processing facilities selection and location, Mining engineering, technical note, sf:107-114.
- BASCETIN, A., ADIGUZEL, D., TUYLU, S., KARADOGAN, A. ve CAGLAYAN, M., 2011-a, The Control of Energy Consumption and The Investigation of CO2 Emissions in The Production of Aggregate, Gazi University Journal of Science, 24(3):647-656.

BASCETIN A., ADIGUZEL, D. ve TUYLU, S., 2011-b, Investigation of CO2 Emissions Based on Energy Consumption in the Production of Aggregate, 22nd WORLD MINING CONGRESS & EXPO, 11-16 Eylül 2011 / İstanbul.

BASCETIN, A., ADIGUZEL, D., TUYLU, S., 2011-c, The Study Of Energy Consumptions And CO2 Emissions In The Production Of Aggregate For Different Rock Units, SME Annual Meeting, Şubat 27-Mart 02, 2011, Denver, CO, Preprint 11-026.

BASCETIN, A., ADIGUZEL, D., TUYLU, S., CAGLAYAN, M., 2010, The Control Of Energy Consumption And The Investigation Of CO2 Emissions In The Production Of Aggregate, Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 26-28 Mayıs, Ankara/Türkiye, sf: 796-801.

BAYRAMOV, F., TAŞDEMİR, C. ve TAŞDEMİR, M.A., 2005, Çimento esaslı kompozit malzemelerin optimum tasarımı, İTÜ Dergisi Mühendislik, Cilt:4, Sayı:3, 53-66.

BEALE, E.M.L., COEN, P.J. ve FLOWERDEW, A.D.J., 2012, Seperable Programming Applied To An Ore Purchasing Problem, Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics), Cilt: 14, No. 2/3(1965), sf: 89-101.

BIENIAWSKI Z.T., 1984, Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A. Balkema, Rotterdam, 272 sf.

BONDARI, K., 2005, Mixture Experiments and Their applications in Agricultural Research, Statistics and Data Analysis, Philadelphia, Pennsylvania April 10-13, 2005.

BUEHLMANN, U., RAGSDALE, C.T., GFELLER, B., 2000, A spreadsheet-based decision support system for wood panel manufacturing, Decision Support Systems, No:29, sf:207-227.

CACETTA, C., 2007, Application of optimisation techniques in open pit mining, International Series in Operations Research & Management Science, Cilt: 99, 4, sf:547-559.

CAIN, M. ve PRICE, M. L. R., 1986, Optimal Mixture Choice, Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics), Cilt: 35, No. 1 (1986), sf: 1-7.

CALDARONE, M.A., 2008, High-Strength Concrete A practical guide, Taylor & Francis, 978-0-415-40432-7 , p 252.

CHARNES, A., COOPER, W.W. ve MELLON, B., 1952, Blending Aviation Gasolines-A Study In Programming Interdependent Activities In An Integrated Oil Company, Econometrica, Cilt: 20, No. 2 (Apr., 1952), sf: 135-159.

CHEN, S.H., CHANG, C.S., WANG, H.Y. ve HUANG, W.L., 2011, Mixture design of high performance recycled liquid crystal glasses concrete (HPGC), Construction and Building Materials, 25 (2011) 3886-3892.

CORNELL, J.A., 2011, A primer on experiments with mixtures, New Jersey Wiley, 978-0-470-64338-9.

CORREIA, S.L.I SOUZA, F.L., DIENSTMANN, G. ve SEGADES, A.M., 2009, Assessment of the recycling potential of fresh concrete waste using a factorial design of experiments, Waste Management, 29 (2009) 2886-2891.

COŞKUN, A., 2007, Yapay Zeka Optimizasyon Teknikleri : Literatür Değerlendirmesi, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Bilgisayar Eğitimi Bölümü – Ankara.

COX, D.R. ve REID, N., 2000, The Theory Of The Design Of Experiments, Chapman & Hall/CRC, 1-58488-195-X.

ÇÖMLEKÇİ, N., 2003, Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa yayınları, 975-297-298-5, Nisan 2003, İstanbul.

DANTZIG, G. B., 1963, Linear Programming and Extensions, Princeton University Press.

DING, J.T., YAN, P.Y., LIU, S.L. ve ZHU, J.Q., 1999, Extreme vertices design of concrete with combined mineral admixtures, Cement and Concrete Research, 29 (1999) 957–960.

DIWEKAR, U., 2003, Introduction To Applied Optimization, 978-0-387-76634-8, Springer, USA, sf:291.

DRAPER, N. R. ve LAWRENCE, W. E., 1965, Mixture Designs for Three Factors, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), Cilt: 27, No. 3(1965), sf: 450-465.

DUNSMORE, I. R. ve WARD N.J., 1993, Optimal Mixture Choice for Binary Response Models, Journal of the Royal Statistical Society, Series D (The Statistician), Cilt: 42, No. 2,(1993), sf: 145-152.

DURMUŞ, A., DOĞANGÜN, A. ve YAYLI, A., 1988, Kum Kirliliğinin Betonun Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Beton Prefabrikasyon, Sayı 8, Ankara.

DUTTA, G. ve FOURER, R., 2001, A Survey of Mathematical Programming Applications in Integrated Steel Plants, Manufacturing & Service Operations Management _ 2001 Informs, Cilt: 3, No. 4, Fall 2001, sf: 387–400.

EASA, S.M., ASCE, M., CAN, E.K. ve ASCE, A.M., 1985-a, Stochastic Priority Model For Aggregate Blending, Journal of Construction Engineering and Management, Cilt: 3, No: 4, Aralık, 1985.

EASA, S.M., ASCE, M., CAN, E.K. VE ASCE, A.M., 1985-b, Optimization Model For Aggregate Blending, Journal of Construction Engineering and Management, Cilt:3, No: 3, Eylül, 1985.

EIDE, I. ve JOHNSEN, H.G., 199, Mixture Design and Multivariate Analysis in Mixture Research, Chemical Mixtures held 11-13 August 1997 in Fort Collins, Colorado.

ELMAS, Ç., 2011, Yapay zeka uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 978-975-02-1696-1.

ERDOĞAN, T., 1995, Betonu Oluşturan Malzemeler – Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.

ERDOĞAN, T.Y., 2007, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 975706467x, p 757.

ERGÜLEN, A., KAZAN, H. ve KAPLAN, M., 2005, İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli: Bir Firma Uygulaması, S.Ü, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13, 163-172 (2005).

FLOWER D. J. M. ve SANJAYAN J. G., 2007, Greenhouse Gas Emissions Due to Concrete Manufacture, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Cilt: 12, Sayı: 5 (2007), 282-288.

FURMAN, K.C. ve PARDALOS, P.M, 2009, Optimization and logistic challenges in the enterprise, 978-0-387-88616-9, Springer, sf: 431.

GAYARRE, F.L., COLINA, C.L., LOPEZ, M.A.S., TAENGUA, E.G. ve MARTINEZ, A.L., 2011, Assessment of properties of recycled concrete by means of a highly fractioned factorial design of experiment, *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 3802–3809.

GLEN, J.J., 1988, A mixed integer programming model for fertilizer policy evaluation”, *European Journal of Operational Research*, 35: 165–171.

GOODWIN, G.C., SERONA, M.M., MIDDLETON, R.H., ZHANGA, M., HENNESSY, B.F., STONEB, P.M. ve MENABDEB, M., 2006, Receding horizon control applied to optimal mine planning, *Automatica* 42 (2006) 1337 – 1342.

GORMAN, J.W. ve HINMAN, J.E., 1962, Simpleks lattice designs for multicomponent systems, *Technometrics*, Cilt:4 no:4.

HADIWIDODO, Y.S. ve MOHD S.B., 2010, Taguchi Experiment Design for Investigation of Freshened Properties of Self-Compacting Concrete, *American J. of Engineering and Applied Sciences*, 3 (2): 300-306.

HUMPHREYS, K. ve MAHASENAN M., 2002, Towards a sustainable cement industry - Substudy 8: Climate Change, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Geneva, Switzerland.

JORION, P., 2005, *Financial Risk Manager-Handbook*, Wiley Finance(Third edition), GARP(Global Association of Risk Professionals), Canada.

KARABOĞA, D., 2004, Yapay zeka optimizasyon algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, 975-6574-37-2, İstanbul, 2004.

KINCAID, R.K., 2007, Metaheuristics for Discrete Optimization Problems, *Operations Research and Management Science Handbook*, chapter 13, 978-0849397219, CRC, p 904.

KLEIN, C., 2007, Decision Analysis, *Operations Research and Management Science Handbook*, chapter 6, 978-0849397219, CRC, p 904.

KOCK, H.C.D. ve SINCLAIR, M., 1987, Multi-Mix Feedstock Problems on Microcomputers, *The Journal of the Operational Research Society*, Cilt: 38, No. 7 (Temmuz, 1987), sf: 585-590.

KOOLE, G., 2010, Optimization of Business Processes: An Introduction to Applied Stochastic Modelling, Department of Mathematics, VU University Amsterdam, p 235.

KORTELEV, O.B. ve ALEKSANDROV, A.N., 2006, Method to optimize location of technological units in a quarry in view of non-uniform haulage streams, *Journal of mining science*, Cilt:42, no.2.

KUMRAL, M., 2003, Application Of Chance-Constrained Programming Based On Multi Objective Simulated Annealing To Solve A Mineral Blending Problem, *Engineering Optimization*, Cilt: 35, No. 6, Aralık 2003, 661–673.

LAMBRAKIS, D.P., 1968, Experiments with Mixtures: A Generalization of the Simplex-Lattice Design, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Cilt: 30, No. 1(1968), sf: 123-136.

LAMBRAKIS, D.P., 1969-a, Experiments with Mixtures: An Alternative to the Simplex-Lattice Design, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Cilt: 31, No. 2(1969).

LAMBRAKIS, D.P., 1969-b, Experiments with Mixtures: Estimated Regression Function of the Multiple- Lattice Design, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Cilt: 31, No. 2(1969), sf: 276-284.

LAURENT, M. ve RENDL, F., 2006, Semidefinite Programming and Integer Programming, Chapter 8 *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Cilt: 12, Discrete Optimization, 978-0444515070, North Holland, sf: 620.

LEE, S.M. ve OLSON, D.L., 1983, Chance Constrained Aggregate Blending, *Journal of Construction Engineering and Management*, Cilt: 109, No: 1, Mart, 1983.

LEUNG, S.C.H. ve CHAN, S.S.W., 2009, A Goal Programming Model For Aggregate Production Planning With Resource Utilization Constraint, *Computers & Industrial Engineering*, 56 (2009) 1053–1064.

LIU, C.M. ve SHERALI, H.D., 2000, A coal shipping and blending problem for an electric utility company, *Omega* 28 (2000) 433-444.

LIU, S. ve NEUDECKER, H., 1997, Experiments with Mixtures: Optimal Allocations for Becker's Models, *Metrika* (1997) 45:53-66.

MCLEAN, R.A. ve ANDERSON, V.L., 1966, Extreme Vertices Design of Mixture Experiments, *Technometrics*, Cilt:8 no:5.

MEHTA P.K. AND MONTEIRO, P.J.M., 2006, Concrete : microstructure, properties, and materials, 3rd ed., 2006, New York: McGraw-Hill, xxi, 659 p.

MENDEZ, C.A., GROSSMANN, I.E., HARJUNKOSKI, I. ve KABORE, P., 2006, A simultaneous optimization approach for off-line blending and scheduling of oil-refinery operations, *Computers and Chemical Engineering*, 30 (2006) 614–634.

MONTGOMERY, D.C., 1997, Design and analysis of experiments, 4. baskı, New York: Wiley.

MURTY, K., 2007, Linear Programming, *Operations Research and Management Science Handbook*, Bölüm 1, 978-0849397219, CRC, sf: 904.

MUTHUKUMAR, M. ve MOHAN, D., 2004, Optimization Of Mechanical Properties Of Polymer Concrete And Mix Design Recommendation Based On Design Of Experiments, *Journal Of Applied Polymer Science*, Cilt: 94, 1107–1116 (2004).

MUTHUKUMAR, M., MOHAN, D. ve RAJENDRAN, M., 2003, Optimization of mix proportions of mineral aggregates using Box Behnken design of experiments, *Cement & Concrete Composites*, 25 (2003) 751–758.

NEVILLE, A.M. AND BROOKS J. J., 2010, Concrete Techology, Pearson Education Limited, 2nd ed., Longman, London, 978-0273732198.

ÖZKUL H., TAŞDEMİR M.A., TOKYAY M., UYAN M., 1999, Her Yönüyle Beton, THBB yayını, İstanbul, 121 s.

PENDHARKAR, P.C. ve RODGER, J.A., 2000, Nonlinear Programming And Genetic Search Application For Production Scheduling In Coal Mines, *Annals of Operations Research* 95 (2000) 251–267.

PERCUS J. ve QUINTO, L., 1956, The application of linear programming to competitive bond bidding, *The econometric society, Cilt:24, no.4,sf: 413-428.*

PRABHAKAR, T., 1968, A Generalized Linear Programming Solution To Separation-Blending Problems, *l & e c f u n d a m e n t a l s, Cilt: 7 no. 4, Kasım 1968.*

QINGHUA, G., CAIWU, L., JINPING, G. ve SHIGUN, J., 2010, Dynamic Management System Of Ore Blending In An Open Pit Mine Based On Gİs/Gps/Gprs, *Mining Science and Technology*, 20 (2010) 0132–0137.

RAISANEN, M. ve TORPPA, A., 2005, Quality Assessment Of A Geologically Heterogeneous Rock Quarry In Pirkanmaa Country, Southern Finland, *Bull Eng Geol Env* (2005) 64: 409–418.

RAO, S.S, 2009, *Engineering Optimization: Theory and Practice*, 978-0470183526, Wiley, sf: 813.

REYNOLDS, C.E. VE STEEDMAN, J.C, 1999, *Reinforced Concrete Designers Handbook*, Taylor & Francis Group, 0-419-14530.

ROSS, P. J., 1996, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill Press, New York.

SAIKAEW, C., 2009, Using Designed Experiments to Improve the Quality of Concrete Products, 978-1-4244-4136-5/09/©2009 IEEE.

SAKALLI, Ü.S. ve BİRGÖREN, B., 2009, A spreadsheet-based decision support tool for blending problems in brass casting industry, *Computers & Industrial Engineering* 56 (2009) 724–735.

SAKALLI, Ü.S., 2010, Döküm sanayinde harmanlama problemleri için olabilirlik ve olasılık teorisi tabanlı modelleme ve çözüm yaklaşımları, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Doktora tezi, Ankara, 2010.

SARKER, R.A. ve NEWTON, C.S., 2008, *Optimization Modelling*, 978-1-4200-4310-5, CRC, sf: 469.

SCHEFFE, H., 1958, Experiments with mixtures, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Cilt: 20, No. 2(1958), sf: 344-360.

SCHEFFE, H.,1963, The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Cilt: 25, No. 2(1963), sf: 235-263.

SCHRIJVER, A., 2006, On the History of Combinatorial Optimization, Chapter 1 *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Cilt: 12, Discrete Optimization, 978-0444515070, North Holland, sf: 620.

ŞENOĞLU, B. ve ACITAŞ, Ş., 2010, *İstatistiksel Deney tasarımı*, Nobel Yayınları, sf:392, Ankara.

SHAMMARI, M.A. ve DAWOOD, I., 1997, Linear Programming Applied To A Production Blending Problem A Spreadsheet Modelling Approach, *Production and Inventory Management Journal*; First Quarter 1997; 38, 1; ABI/INFORM Complete.

- SNEE, R.D., 1973, Techniques for the analysis of mixture data, *Technometrics*, Cilt:15 No:3.
- STIGLER, G.J., 1945, The Cost of Subsistence, *Journal of Farm Economics*, Vol. 27, No. 2 (May, 1945), sf: 303-314.
- STIGLER, S., 2008, *Fisher and the 5% level*, *Chance*, Cilt 21 no.4 say12.
- ŞİMŞEK, O., 2007, Yapı Malzemeleri II, Seçkin yayıncılık, 9750205842, p 234.
- TAHA, H. A., 2000, Yöneylem Araştırması, Çevirenler: S. A. Baray ve S. Esnaf, Literatür Yayıncılık, 6. Baskı, İstanbul.
- THAI, M.T. ve PARDALOS, P.M., 2012, *Handbook of Optimization in Complex Networks*, 978-1-4614-0753-9, Springer, sf: 544.
- THOMSON, W. O. ve MYERS, R.H., 1968, Response Surface Designs for Experiments with Mixtures, *Technometrics*, Cilt:20 no:8.
- TOKLU, Y.C., 2005, Aggregate Blending Using Genetic Algorithms, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 20 (2005) 450–460.
- TUNÇ A., 2007, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel yayınları, Ankara.
- VERMA, M.K., SHRIVASTAVA, R.K. and TRIPATHI, R.K., 2010, Evaluation of Min–Max, Weighted and Preemptive Goal Programming Techniques with Reference to Mahanadi Reservoir Project Complex, *Water Resour Manage* (2010) 24:299–319.
- WILSON, E. ve WILLIS, R., 1985, Microcomputers And Linear Programming-feedstock revisited, *European journal of operational research* 19 (1985) 297-304.
- YALGIN A.O., 1984, Doğrusal Programlama ve Madencilğe İlişkin iki Basit Örnek, *Madencilik Dergisi*, Cilt XXIII, Sayı: 3, Eylül, Ankara.
- YANG, X.S., 2010, *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*, July 2010, Wiley INC, 978-0-470-58246-6, sf: 347.
- YEH, I.C., 1999, Design Of High Performance Concrete Mixture Using Neural Networks And Nonlinear Programming, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Cilt: 13, No. 1, Ocak, 1999.
- YEH, I.C., 2009, Optimization of concrete mix proportioning using a flattened simplex–centroid mixture design and neural networks, *Engineering with Computers*, (2009) 25:179–190.
- YIN, C., LUO, Z., ZHOU, J. ve CEN, K., 2000, A Novel Non-Linear Programming –Based Coal Blending Technology For Power Plants, *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE*, Cilt:78, Part A, Ocak 2000.
- ZHONG, Y. ve SHI, Y., 2002, Duality in fuzzy multi-criteria and multi-constraint level linear programming: a parametric approach, *fuzzy sets and systems*, No:132, sf:335-346.

EK 1**Beton agregası kalite parametrelerinin harmanlama sırasındaki değişimleri**

Deneyler	Cender e bölgesi 1.Bölge	Cender e bölgesi 3.Bölge	%50	%50 Cendere
			Cendere bölgesi 1.bölge-%50 Cendere bölgesi 3. Bölge	bölgesi 1.bölge- %50 Cendere bölgesi 3. Bölge karışımı Doğrusal modelde olması
Darbe Değeri (%)	16,82	13,07	14,71	14,94
Kırılma Değeri (%)	14,84	12,37	13,54	13,60
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	13,27	11,83	12,45	12,55
Aşınma Direnci (Micro Deval)	31,88	13,44	21,65	22,66
Tane Yoğunluğu (g/Cm ³)	2,76	2,79	2,77	2,77
Su Emme Oranı (%)	0,74	1,51	1,11	1,12
İncelik Modülü Değerleri	3,55	3,59	3,57	3,57
Yassılık Endeksi Değeri (%)	25,98	16,18	21,05	21,08
Çok İnce Malzeme İçeriği	3,78	3,40	3,55	3,59
Kum Eşdeğeri	68,13	66,99	67,45	67,56
Metilen Mavisi Değeri (g/Kg)	0,75	2,75	2	1,75

EK 2**Tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları**

Bölge adı	Cendere bölgesi 1.bölge Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Cendere bölgesi 2. Bölge Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Cendere bölgesi 3.bölge Tek eksenli basma dayanımı (MPa)
1.Karot	75,3	46,4	100,2
2.Karot	76,4	47,3	101,5
3.Karot	85,6	64,5	110,2
4.Karot	84,5	45,6	105,8
5.Karot	83,5	56,3	108,5
6.Karot	82,1	52,4	109,3
7. Karot	80,5	50,1	115,2
8. Karot	79,6	63,2	116,9
9. Karot	75,3	52,2	100,3
10. Karot	71,5	58,9	119,3
11. Karot	85,6	47,8	105,6
12. Karot	89,8	45,6	108,5
13. Karot	70,5	47,8	104,7
14. Karot	71,3	56,8	115,3
15. Karot	74,6	59,3	104,8
16. Karot	77,8	61,2	105,9
17. Karot	84,5	63,2	118,6
18. Karot	86,5	64,5	114,2
19. Karot	87,2	64,3	105,6
20. Karot	89,9	56,8	109,6
21. Karot	87,5	57,4	117,2
22. Karot	84,5	58,2	105,8
23. Karot	83,2	55,3	108,5
24. Karot	80,5	55,9	104,7
25. Karot	83,6	59,6	104,6
26. Karot	84,7	54,2	107,9
27. Karot	85,2	46,3	100,6
28. Karot	88,3	50,2	101,4
29. Karot	87,5	51,2	105,2
30. Karot	87,4	65,6	106,3
Ortalama	82,1	55,3	108,1

Nokta yükleme deney sonuçları

	Çatalca bölgesi 1. Bölge		Çatalca bölgesi 2.bölge		Çatalca bölgesi 3.bölge	
	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
1. Numune	63,63	3,62	63,97	3,63	79,85	4,54
2. Numune	57,77	3,28	79,91	4,54	79,36	4,51
3. Numune	61,82	3,51	60,39	3,43	79,71	4,53
4. Numune	58,81	3,34	72,96	4,15	79,71	4,53
5. Numune	60,15	3,42	63,11	3,59	80,55	4,58
6. Numune	65,83	3,74	75,4	4,28	79,45	4,51
7. Numune	65,45	3,72	67,71	3,85	78,56	4,46
8. Numune	63,99	3,64	72,92	4,14	79,85	4,54
9. Numune	63,69	3,62	75,55	4,29	77,23	4,39
10. Numune	64,2	3,65	62,36	3,54	79,56	4,52
11. Numune	55,63	3,16	71,98	4,09	75,04	4,26
12. Numune	57,09	3,24	66,94	3,80	78,45	4,46
13. Numune	60,15	3,42	80,19	4,56	78,72	4,47
14. Numune	65,69	3,73	61,53	3,50	74,22	4,22
15. Numune	60,42	3,43	73,42	4,17	70,75	4,02
16. Numune	58,28	3,31	80,69	4,58	77,13	4,38
17. Numune	65,87	3,74	77,45	4,40	68,19	3,87
18. Numune	66,52	3,78	74,66	4,24	72,58	4,12
19. Numune	58,39	3,32	70,55	4,01	66,31	3,77
20. Numune	59,43	3,38	79,63	4,52	73,71	4,19
21. Numune	64,56	3,67	69,72	3,96	79,85	4,54
22. Numune	63,85	3,63	78,06	4,44	68,24	3,88
23. Numune	61,65	3,50	77,97	4,43	80,23	4,56
24. Numune	56,21	3,19	72,29	4,11	79,86	4,54
25. Numune	63,23	3,59	75,25	4,28	79,85	4,54
26. Numune	60,79	3,45	61,97	3,52	79,48	4,52
27. Numune	56,08	3,19	62,91	3,57	77,74	4,42
28. Numune	58,93	3,35	61,21	3,48	80,25	4,56
29. Numune	64,45	3,66	76,23	4,33	75,65	4,30
30. Numune	57,71	3,28	79,47	4,52	80,12	4,55
31. Numune	64,75	3,68	63,37	3,60	66,74	3,79
32. Numune	64,49	3,66	74,84	4,25	79,86	4,54
33. Numune	58,03	3,30	63,11	3,59	67,87	3,86
34. Numune	62,25	3,54	76,46	4,34	79,14	4,50
35. Numune	60,94	3,46	69,09	3,93	69,39	3,94
36. Numune	60,91	3,46	74,52	4,23	61,42	3,49
37. Numune	62,41	3,55	61,04	3,47	78,56	4,46
38. Numune	58,29	3,31	74,23	4,22	76,46	4,34
39. Numune	58,23	3,31	76,79	4,36	78,64	4,47
40. Numune	65,99	3,75	63,23	3,59	79,08	4,49
41. Numune	57,92	3,29	70,22	3,99	66,51	3,78
42. Numune	56,01	3,18	79,45	4,51	79,84	4,54
43. Numune	58,01	3,30	70,22	3,99	79,84	4,54
44. Numune	56,56	3,21	74,23	4,22	73,51	4,18
45. Numune	56,29	3,20	76,67	4,36	79,32	4,51
46. Numune	59,48	3,38	66,45	3,78	78,53	4,46
47. Numune	59,63	3,39	79,56	4,52	64,45	3,66
48. Numune	61,55	3,50	78,58	4,46	65,08	3,70
49. Numune	61,32	3,48	79,25	4,50	79,86	4,54

50. Numune	60,23	3,42	77,66	4,41	79,45	4,51
51. Numune	64,58	3,67	79,56	4,52	75,18	4,27
52. Numune	56,27	3,20	76,43	4,34	70,96	4,03
53. Numune	65,99	3,75	75,85	4,31	68,04	3,87
54. Numune	65,89	3,74	78,56	4,46	69,95	3,97
55. Numune	63,61	3,61	80,55	4,58	79,56	4,52
56. Numune	58,81	3,34	73,52	4,18	79,85	4,54
57. Numune	65,55	3,72	79,89	4,54	62,84	3,57
58. Numune	65,66	3,73	72,68	4,13	72,01	4,09
59. Numune	65,89	3,74	72,96	4,15	78,45	4,46
60. Numune	65,89	3,74	71,41	4,06	70,22	3,99
61. Numune	64,26	3,65	79,56	4,52	79,74	4,53
62. Numune	65,45	3,72	78,16	4,44	79,85	4,54
63. Numune	66,56	3,78	79,85	4,54	80,35	4,57
64. Numune	61,28	3,48	75,82	4,31	70,25	3,99
65. Numune	66,52	3,78	78,56	4,46	79,43	4,51
66. Numune	65,23	3,71	76,51	4,35	79,21	4,50
67. Numune	66,85	3,80	75,69	4,30	78,45	4,46
68. Numune	65,87	3,74	73,09	4,15	79,85	4,54
69. Numune	66,45	3,78	78,41	4,46	80,72	4,59
70. Numune	58,17	3,31	77,55	4,41	74,54	4,24
71. Numune	59,42	3,38	78,56	4,46	79,56	4,52
72. Numune	66,23	3,76	75,45	4,29	79,85	4,54
73. Numune	65,89	3,74	73,06	4,15	78,45	4,46
74. Numune	59,82	3,40	79,56	4,52	80,25	4,56
75. Numune	65,89	3,74	80,64	4,58	77,41	4,40
76. Numune	65,23	3,71	74,23	4,22	79,85	4,54
77. Numune	65,23	3,71	74,52	4,23	79,45	4,51
78. Numune	60,33	3,43	78,45	4,46	78,45	4,46
79. Numune	64,58	3,67	67,46	3,83	9,89	0,56
80. Numune	63,37	3,60	71,57	4,07	66,64	3,79
81. Numune	66,54	3,78	75,24	4,28	80,24	4,56
82. Numune	59,08	3,36	79,85	4,54	79,65	4,53
83. Numune	59,04	3,35	79,45	4,51	78,45	4,46
84. Numune	61,84	3,51	78,45	4,46	76,51	4,35
85. Numune	65,23	3,71	77,28	4,39	67,76	3,85
86. Numune	66,47	3,78	74,72	4,25	76,07	4,32
87. Numune	61,21	3,48	70,08	3,98	79,85	4,54
88. Numune	61,13	3,47	68,61	3,90	65,66	3,73
89. Numune	61,96	3,52	78,75	4,47	64,52	3,67
90. Numune	63,65	3,62	78,56	4,46	75,06	4,26
91. Numune	65,89	3,74	79,56	4,52	78,84	4,48
92. Numune	66,98	3,81	74,46	4,23	79,45	4,51
93. Numune	65,98	3,75	61,25	3,48	79,84	4,54
94. Numune	65,54	3,72	75,48	4,29	79,56	4,52
95. Numune	65,62	3,73	75,89	4,31	79,85	4,54
96. Numune	64,54	3,67	79,56	4,52	80,28	4,56
97. Numune	61,81	3,51	78,25	4,45	74,98	4,26
98. Numune	61,84	3,51	79,56	4,52	71,76	4,08
99. Numune	63,18	3,59	65,23	3,71	79,89	4,54
100. Numune	65,62	3,73	75,22	4,27	79,86	4,54
Ortalama	62,4	3,6	73,9	4,2	75,4	4,3

Endirekt çekme dayanımı deney sonuçları

Bölge adı	Cendere bölgesi 1.bölge endirekt çekme dayanımı (MPa)	Cendere bölgesi 2. Bölge endirekt çekme dayanımı (MPa)	Cendere bölgesi 3.bölge endirekt çekme dayanımı (MPa)
1.Karot	6,3	3,6	6,8
2.Karot	4,8	4,2	7,9
3.Karot	6,2	4,5	7,5
4.Karot	5,2	4,8	6,5
5.Karot	6,3	4,2	6,6
6.Karot	6,5	4,1	6,8
7. Karot	6,4	4,3	6,9
8. Karot	5,8	4,4	7,1
9. Karot	5,7	4,1	7,3
10. Karot	5,4	3,8	7,5
11. Karot	6,1	4,8	7,9
12. Karot	6,2	4,5	7,4
13. Karot	6,3	4,6	7,7
14. Karot	5,5	4,7	7,6
15. Karot	5,9	4,3	7,2
16. Karot	6,2	4,9	7,9
17. Karot	5,7	4,1	6,9
18. Karot	6,2	3,9	6,5
19. Karot	5,2	4,5	7,4
20. Karot	5,6	4,1	7,3
21. Karot	5,9	3,5	7,3
22. Karot	5,7	3,9	7,8
23. Karot	5,2	3,8	7,5
24. Karot	5,6	4,5	7,4
25. Karot	5,2	3,6	7,2
26. Karot	6,2	3,9	7,6
27. Karot	6,5	4,2	7,1
28. Karot	6,3	4,4	7,1
29. Karot	6,4	4	7,7
30. Karot	6,3	4,2	7,4
Ortalama	5,9	4,2	7,3

EK 3**Agrega Deneyleri Cendere bölgesi Taşocağı**

Deneyler	1.Bölge		2.bölge		3.Bölge	
	1.örnek	2.örnek	1.örnek	2.örnek	1.örnek	2.örnek
Darbe Değeri	16,64	17,02	22,12	23,86	13,1	13,04
Kırılma Değeri	14,64	15,04	20,01	20,11	12,14	12,60
Parçalanma Direnci	13,13	13,41	16,14	16,36	11,75	11,91
Aşınma Direnci	31,78	31,98	30,45	30,71	13,33	13,55
Yassılık Endeksi Değeri	25,88	26,08	27,33	28,33	16,05	16,31
Çok İnce Malzeme İçeriği	3,65	3,91	4,75	5,03	3,26	3,56
Kum Eşdeğeri	68,93	67,33	69,61	71,29	63,72	70,27
Metilen Mavisi Değeri	0,75	0,75	1	1	2,75	2,75

Agrega Deneyleri Çatalca bölgesi Taşocağı

Deneyler	1.Bölge		2.bölge		3.Bölge	
	1.örnek	2.örnek	1.örnek	2.örnek	1.örnek	2.örnek
Darbe Değeri	32,55	32,71	29,01	29,03	28,45	29,41
Kırılma Değeri	31,11	31,37	29,16	29,76	29,23	29,49
Parçalanma Direnci	28,93	29,93	27,02	28,42	25,13	26,13
Aşınma Direnci	22,58	23,38	14,18	15,18	13,08	13,88
Yassılık Endeksi Değeri	13,94	14,74	15,19	16,19	17,11	17,91
Çok İnce Malzeme İçeriği	5,71	6,11	5,51	5,91	5,12	5,52
Kum Eşdeğeri	61,79	61,07	60,94	58,96	73,15	68,87
Metilen Mavisi Değeri	2,25	2,25	6,75	6,75	1,5	1,5

EK 4**Enerji ölçümleri (wattsaat)**

Cendere bölgesi 1.bölge	Cendere bölgesi 2. Bölge	Cendere bölgesi 3.bölge	Çatalca bölgesi 1. Bölge	Çatalca bölgesi 2.bölge	Çatalca bölgesi 3.bölge
1535	1114	1798	1175	1651	1676
1620	1112	1779	1185	1674	1644
1625	1141	1782	1200	1642	1655
1513	1154	1798	1188	1668	1647
1563	1135	1772	1195	1667	1658
1584	1126	1792	1173	1657	1684
1530	1197	1799	1171	1645	1662
1545	1193	1780	1198	1645	1664
1599	1125	1797	1197	1658	1681
1556	1123	1778	1198	1629	1698
1558	1105	1783	1197	1654	1665
1519	1183	1791	1198	1661	1655
1522	1107	1791	1191	1632	1622
1595	1113	1753	1195	1639	1649
1654	1106	1797	1152	1650	1646
1573	1156	1783	1174	1631	1638
1625	1163	1777	1170	1635	1626
1518	1119	1763	1163	1657	1644
1579	1189	1777	1161	1647	1677
1536	1118	1770	1188	1656	1626
1555	1116	1764	1196	1645	1689
1600	1125	1751	1195	1651	1627
1595	1150	1772	1176	1654	1666
1591	1135	1777	1195	1640	1661
1596	1191	1764	1193	1674	1681
1589	1155	1771	1198	1626	1639
1515	1167	1757	1198	1636	1684
1600	1143	1757	1182	1647	1699
1535	1150	1757	1200	1647	1669
1557	1150	1772	1198	1631	1662
1648	1117	1788	1200	1629	1627
1545	1160	1787	1170	1649	1690
1578	1155	1760	1200	1674	1700
1574	1186	1790	1182	1648	1685
1589	1103	1786	1184	1631	1631
1548	1181	1769	1180	1656	1650
1536	1130	1766	1185	1667	1622
1578	1025	1777	1176	1643	1671
1593	1108	1755	1154	1665	1682
1597	1170	1767	1180	1629	1699
1595	1169	1774	1174	1635	1690
1589	1194	1778	1173	1672	1646
1549	1108	1798	1195	1643	1678
1584	1193	1773	1173	1637	1689
1576	1130	1785	1199	1665	1648
1579	1142	1799	1195	1673	1643
1642	1115	1789	1200	1639	1631

1504	1162	1765	1198	1667	1654
1594	1145	1789	1195	1647	1675
1678	1127	1789	1183	1662	1693
1645	1101	1752	1198	1643	1646
1645	1188	1778	1181	1648	1682
1563	1137	1798	1193	1658	1648
1560	1155	1779	1198	1656	1660
1547	1163	1800	1160	1671	1645
1589	1145	1795	1195	1649	1627
1583	1114	1784	1170	1668	1667
1650	1183	1795	1196	1625	1651
1623	1135	1796	1200	1647	1696
1642	1119	1796	1195	1666	1621

ÖZGEÇMİŞ

Deniz ADIGÜZEL, 20 Mayıs 1980 Üsküdar doğumludur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Üsküdar Çamlıca İlkokulu ve Haydarpaşa Lisesi'nde tamamlamış 1994-1997 yılları arasında Kadıköy General Ali Rıza Ersin Lisesi'nde öğrenim gördükten sonra, 1997 yılında kazandığı İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2001 senesinde mezun olmuştur. 2001-2006 yılları arasında yine İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimini tamamlamış ve 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Programında doktora öğrenimine başlamıştır.

Deniz ADIGÜZEL, 2002-2004 yılları arasında Mersin Taşucu liman inşaatı ve Antalya havaalanı pist inşaatında sorumlu mühendis, 2005' den bu yana ise İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.