

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU KÜLLERİN AGREGA OLARAK BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

Kimya Müh. Tuya LKHAGVA

**F.B.E Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN

İSTANBUL, 2006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU KÜLLERİN AGREGA OLARAK BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

Kimya Müh. Tuya LKHAGVA

**F.B.E Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 07 Şubat 2007
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet EKERİM (YTÜ)
: Prof. Dr. Fevziye AKÖZ (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ.....	1
2 UÇUCU KÜL	3
2.1 Uçucu Külün Tanımı	3
2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	4
2.3 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	5
2.4 Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları	6
2.5 Uçucu Küllerin Mineralojik Yapıları.....	7
2.6 İnşaat Sektöründe Uçucu Külün Kullanımı	8
2.6.1 Agregada olarak uçucu külün kullanımı	9
3 BETON ve BETON BİLEŞENLERİ	11
3.1 Beton Tanımı	11
3.2 Hazır Betonun Tarihçesi	12
3.3 Beton Bileşenleri	13
3.3.1 Çimento	13
3.3.2 Agregada	14
3.3.3 Beton karışım suyu	14
3.3.4 Katkı maddeleri	15
3.3.4.1 Kimyasal katkılar.....	15
3.3.4.2 Mineral katkılar	15
3.4 Betonda Aranılan Özellikler	16
3.5 Beton Sınıfları.....	16
3.5.1 Basınç dayanım sınıfları	16
3.5.2 Kıvam sınıfları.....	17
3.6 Özel Betonlar	18
3.6.1 Hafif beton	18
4 BETON AGREGASI.....	22
4.1 Tanım.....	22

4.2	Agreganın Sınıflandırılması.....	23
4.3	Agreganın Özellikleri	24
4.3.1	Agregadan numune alma	24
4.3.2	Agreganın fiziksel özellikleri	25
4.3.2.1	Rutubet durumu	25
4.3.2.2	Birim ağırlık	25
4.3.2.3	Özgül ağırlık	25
4.3.2.4	Komposite	25
4.3.2.5	Granülometri.....	25
4.3.2.6	İncelik modülü	27
4.3.2.7	Maksimum tane büyüklüğü sınıfları.....	27
4.3.3	Agreganın mekanik özellikleri	27
4.3.3.1	Tane Dayanımı	27
4.3.3.2	Aşınma dayanımı	28
4.3.3.3	Dona dayanıklılık	28
4.3.4	Agrega içindeki zararlı maddeler.....	28
4.4	Özel Agregalar.....	28
4.4.1	Ağır agregalar	28
4.4.2	Yüksek sıcaklığa dayanıklı agregalar	29
4.4.3	Hafif agregalar	29
4.4.3.1	Doğal hafif agregalar	30
4.4.3.2	Yapay hafif agregalar	31
5	PELETLEME İŞLEMİ.....	32
5.1	Peletleme Teorisi	32
6	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
6.1	Deney Programı	37
6.2	Deneysel Çalışmada Kullanılan Aletlerin Tanıtılması	37
6.2.1	Taramalı elektron mikroskobu cihazı	37
6.2.2	X-ışını difraktometre cihazı.....	38
6.2.3	X-ışını flüoresans cihazı	39
6.2.4	Etüv.....	40
6.2.5	Kül fırını	41
6.2.6	Peletleme diski.....	42
6.2.7	Mikser.....	43
6.2.8	Çökme hunisi	44
6.2.9	Numune kalıpları	44
6.2.10	Basınç aleti	45
6.3	Kullanılan Malzemeler ve Özellikler	46
6.3.1	Bentonit	46
6.3.1.1	Bentonitin X-ışını difraktometresinde incelenmesi	48
6.3.2	Uçucu kül.....	50
6.3.2.1	Uçucu kül numunelerinin taramalı elektron mikroskobunda incelenmesi	54
6.3.2.2	Uçucu kül numunelerinin X-ışını difraktometresinde incelenmesi	58
6.3.3	Çimento	64
6.3.4	Kum	65
6.3.5	Beton kimyasal katkı maddeleri	66

6.3.5.1	Akışkanlaştırıcı.....	66
6.3.5.2	Hava sürükleyici.....	67
6.4	Peletleme Denemeleri ve Sonuçları.....	70
6.4.1	Yaş peletlerin elde edilişi.....	70
6.4.2	Yaş peletlerin pişirilmesi.....	73
6.4.3	Peletlere uygulanan dayanım testleri.....	74
6.4.3.1	Yaş pelet düşme sayısı tayini.....	74
6.4.3.2	Yaş pelet basma dayanımı tayini.....	74
6.4.3.3	Ürün pelet basma dayanımı tayini.....	75
6.4.3.4	Pişmiş pelet basma dayanımı tayini.....	75
6.4.4	Peletleme denemelerinin sonuçları.....	75
6.4.5	Pelet numunelerinin taramalı elektron mikroskopunda incelenmesi.....	78
6.4.6	Pelet numunelerinin X-ışını difraktometresinde incelenmesi.....	82
6.5	Agrega Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçlar.....	89
6.5.1	Agega gevşek birim ağırlığı tayini.....	89
6.5.2	Agrega özgül ağırlığı tayini.....	91
6.5.3	Agrega su emme oranı tayini.....	93
6.5.3.1	İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	94
6.5.3.2	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	94
6.5.3.3	Tunçbilek Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	95
6.5.3.4	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	96
6.5.3.5	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	96
6.5.3.6	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	97
6.5.4	Agrega elek analizi.....	98
6.5.4.1	İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	99
6.5.4.2	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	100
6.5.4.3	Tunçbilek Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	101
6.5.4.4	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	102
6.5.4.5	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	103
6.5.4.6	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	104
6.5.5	Magnezyum sülfatta agregada don kaybı deneyi.....	105
6.6	Beton Deneyleri ve Sonuçları.....	108
6.6.1	Beton dizaynı.....	108
6.6.2	Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve saklama koşulları.....	111
6.6.3	Taze beton üzerinde yapılan deneyler.....	112
6.6.3.1	Taze betonda çökme deneyi.....	112
6.6.3.2	Taze beton birim ağırlığı deneyi.....	113
6.6.4	Sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler.....	115
6.6.4.1	Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabi tutulması.....	115
6.6.4.2	Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini.....	115
6.6.4.3	Sertleşmiş betonda yarmada çekme dayanımının tayini.....	116
6.6.4.4	Sertleşmiş betonda su emme oranı tayini.....	117
6.6.4.5	Sertleşmiş beton birim ağırlığı tayini.....	118
6.7	Sonuçlar ve Öneriler.....	120
KAYNAKLAR.....		126
İNTERNET KAYNAKLAR.....		129
EKLER.....		130
Ek 1 Uçucu küllerde yapılan kimyasal analizler.....		131

Ek 2 Uçucu kül pelet numunelerinin XRF cihazında incelenmesi	137
ÖZGEÇMİŞ.....	139

SİMGE LİSTESİ

W	Ağırlık
V	Hacim
σ	Sıvının yüzey gerilimi
P_C	Kılcal durumdaki yapıya harcanan kohezyon kuvveti
ε	Kürenin gözenekliliği
D	Küresel taneciklerin çapı
g	Yer çekim ivmesi
β	Disk düzeneğinin normal düzeneğine göre açısı
μ	Disk ve pelet arasındaki sürtünme katsayısı
R	Diskin yarıçapı
w	Radyan/t ² 'deki merkezkaç kuvvetinin katsayısı
n_{cr}	Dakikadaki kritik dönmeler (rpm)
α	Diskin eğilim açısı
ρ	Agreganın gevşek yığın yoğunluğu
γ_k	Agrega kuru özgül ağırlığı
γ_d	Agrega suya doymun yüzey kuru özgül ağırlığı
m	Agreganın kütlece % su emme oranı
S_n	Herhangi bir (n) göz açıklığındaki elek üstünde kalan malzeme oranı
k_d	Agreganın magnezyum sülfatta don kaybı
k_{dt}	Agreganın toplam magnezyum sülfatta don kaybı
k_{d1}	20 mm - 10 mm elekler arasındaki deney numunesinin don kaybı
k_{d2}	10 mm - 5 mm elekler arasındaki deney numunesinin don kaybı
g	Taze beton birim ağırlığı
f_b	Sertleşmiş betonun basınç dayanımı
P	Kırılma yükü
A	Yükün uygulandığı alan
$f_{yç}$	Sertleşmiş betonun yarmada çekme dayanımı
d	Beton numune çapı
l	Beton numune boyu

KISALTIMA LİSTESİ

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRF	X-Işını Flüoresans
XRD	X-Işını Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	İngiltere'deki termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin kullanım alanları	9
Şekil 4.1	Taşunu, ince agrega ve iri agrega	24
Şekil 4.2	Agregalardan numune alma	24
Şekil 4.3	Referans granülometri eğrisi ($D_{max}=31,5mm$)	26
Şekil 4.4	Referans granülometri eğrisi ($D_{max}=16 mm$)	26
Şekil 5.1	Pelet şekillenme mekanizması	33
Şekil 5.2	İki tanecikler arasında su köprüünün yarattığı yüzey gerilim kuvvetinin şematik görüntüsü.....	33
Şekil 5.3	Değişik hızlarda dönen peletleme diskindeki malzeme hareketleri.....	35
Şekil 5.4	Peletleme işlemi sırasında tek pelet üzerine etkileyen kuvvetler.....	35
Şekil 6.1	XRD cihazı.....	38
Şekil 6.2	XRF cihazı	39
Şekil 6.3	Etüv	40
Şekil 6.4	Kül fırını.....	41
Şekil 6.5	Peletleme disk	42
Şekil 6.6	Betoniyer.....	43
Şekil 6.7	Çökme hunisi	44
Şekil 6.8	Numune kalıpları	44
Şekil 6.9	Basınç aleti.....	45
Şekil 6.10	Bentonitin makroskobik görüntüsü.....	47
Şekil 6.11	Ca-bentonitinin XRD sonucu.....	48
Şekil 6.12	Na-bentonitinin XRD sonucu	49
Şekil 6.13	X350 - Çayırhan termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü.....	55
Şekil 6.14	X350 - Orhaneli termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü	55
Şekil 6.15	X350 - Seyitömer termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü.....	56
Şekil 6.16	X350 - Çatalağzı termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü	56
Şekil 6.17	X350 - İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü	57
Şekil 6.18	X350 - Tunçbilek termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü	57
Şekil 6.19	İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü XRD sonucu	58
Şekil 6.20	Çayırhan termik santrali uçucu külü XRD sonucu	59
Şekil 6.21	Tunçbilek termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	60
Şekil 6.22	Seyitömer termik santrali uçucu külü XRD sonucu	61
Şekil 6.23	Orhaneli termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	62
Şekil 6.24	Çatalağzı termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	63

Şekil 6.25	Pelet üretimi.....	71
Şekil 6.26	Pişmiş peletlerin makroskobik görüntüsü.....	74
Şekil 6.27	X750 - İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü.....	78
Şekil 6.28	X750 - Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü	79
Şekil 6.29	X750 - Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Ca bentoniti) SEM görüntüsü	79
Şekil 6.30	X750 - Tunçbilek termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü.....	80
Şekil 6.31	X750 - Seyitömer termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü.....	80
Şekil 6.32	X750 - Orhaneli termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü	81
Şekil 6.33	X750 - Çatalağzı termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü.....	81
Şekil 6.34	İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	82
Şekil 6.35	Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Ca bentoniti) XRD sonucu	83
Şekil 6.36	Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	84
Şekil 6.37	Tunçbilek termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	85
Şekil 6.38	Seyitömer termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	86
Şekil 6.39	Orhaneli termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	87
Şekil 6.40	Çatalağzı termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu	88
Şekil 6.41	İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi ..	94
Şekil 6.42	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi	95
Şekil 6.43	Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi.....	95
Şekil 6.44	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi.....	96
Şekil 6.45	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi	97

Şekil 6.46	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi.....	97
Şekil 6.47	İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi .	99
Şekil 6.48	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi	100
Şekil 6.49	Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi.....	101
Şekil 6.50	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi	102
Şekil 6.51	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi.....	103
Şekil 6.52	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi.....	104
Şekil 6.53	Bentonit miktarına bağlı olarak Çayırhan uçucu külü pişmiş pelet basma dayanımının değişimi.....	121
Şekil 6.54	Beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları	123
Şekil 6.55	Beton numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları	124
Şekil 6.56	Beton numunelrinin birim ağırlığına karşı % su emme oranı	124

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller	4
Çizelge 2.2	Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	6
Çizelge 2.3	Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları	7
Çizelge 2.4	Türkiye’deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları	8
Çizelge 2.5	Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar	8
Çizelge 3.1	Beton karışım oranlarına göre kullanıldığı yerler	11
Çizelge 3.2	Beton kullanım tarihçesi	12
Çizelge 3.3	Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıflar	17
Çizelge 3.4	Beton kıvam sınıfı ve çökme değerleri	18
Çizelge 3.5	Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması	20
Çizelge 3.6	Hafif beton için dayanımı sınıflar	21
Çizelge 4.1	En büyük argera tane büyüklüğü sınıfı	27
Çizelge 4.2	Ağır agregaların özgül ağırlıkları	29
Çizelge 6.1	Sodyum ve Kalsiyum bentonitinin kimyasal özellikleri	47
Çizelge 6.2	Türkiye bentonit rezervlerinin bölgelere göre dağılımı	48
Çizelge 6.3	Ca bentonitinin mineralojik yapıların isimleri	49
Çizelge 6.4	Na bentonitinin mineralojik yapıların isimleri	49
Çizelge 6.5	Çayırhan termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	50
Çizelge 6.6	Orhaneli termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	51
Çizelge 6.7	Seyitömer termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	51
Çizelge 6.8	Çatalağzı termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	51
Çizelge 6.9	İskenderun Sugözü termik santrali gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	51
Çizelge 6.10	Tunçbilek termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri	52
Çizelge 6.11	Uçucu küllerin 2004 yılı ortalama kimyasal analiz değerleri	52
Çizelge 6.12	Uçucu küllerin 2005 yılı ortalama kimyasal analiz değerleri	53
Çizelge 6.13	İskenderun Sugözü uçucu külü mineralojik yapı isimleri	58
Çizelge 6.14	Çayırhan uçucu külü mineralojik yapı isimleri	59
Çizelge 6.15	Tunçbilek uçucu külü mineralojik yapı isimleri	60
Çizelge 6.16	Seyitömer uçucu külü mineralojik yapı isimleri	61
Çizelge 6.17	Orhaneli uçucu külü mineralojik yapı isimleri	62
Çizelge 6.18	Çatalağzı uçucu külü mineralojik yapı isimleri	63
Çizelge 6.19	Çimentonun fiziksel özellikleri	64
Çizelge 6.20	Çimentonun kimyasal özellikleri	65
Çizelge 6.21	Kumun elek analizi	65

Çizelge 6.22	Akışkanlaştırıcının (RHEOBUILD 1000) teknik özellikleri	67
Çizelge 6.23	Hava sürükleyicinin (MICRO AIR 200) teknik özellikleri	68
Çizelge 6.24	Yaş peletlerin nem tayini sonuçları.....	72
Çizelge 6.25	Uçucu kül peletlerin kızdırma kaybı.....	73
Çizelge 6.26	Çayırhan termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları	76
Çizelge 6.27	İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları	76
Çizelge 6.28	Tunçbilek termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları.....	76
Çizelge 6.29	Orhaneli termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları.....	77
Çizelge 6.30	Seyitömer termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları	77
Çizelge 6.31	Çatalağzı termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları.....	77
Çizelge 6.32	İskenderun Sugözü uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri	82
Çizelge 6.33	Çayırhan uçucu külü peleti (%0.7 Ca bentonitli) mineralojik yapı isimleri	83
Çizelge 6.34	Çayırhan uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri.....	84
Çizelge 6.35	Tunçbilek uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri ...	85
Çizelge 6.36	Seyitömer uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri...	86
Çizelge 6.37	Orhaneli uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri	87
Çizelge 6.38	Çatalağzı uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri	88
Çizelge 6.39	Uçucu kül agregası gevşek birim ağırlığı	90
Çizelge 6.40	Uçucu kül agregası kuru özgül ağırlığı.....	92
Çizelge 6.41	Uçucu kül agregası suya doygun yüzey kuru özgül ağırlığı.....	92
Çizelge 6.42	İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü agregası su emme oranı	94
Çizelge 6.43	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı	95
Çizelge 6.44	Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	95
Çizelge 6.45	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı	96
Çizelge 6.46	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	96
Çizelge 6.47	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı.....	97
Çizelge 6.48	İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi	99
Çizelge 6.49	Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi	100
Çizelge 6.50	Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	101
Çizelge 6.51	Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	102
Çizelge 6.52	Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi	103
Çizelge 6.53	Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi.....	104
Çizelge 6.54	Agrega toplam magnezyum sülfat don kaybı deneyi sonuçları	107
Çizelge 6.55	İskenderun Sugözü betonu dizaynı	109

Çizelge 6.56	Çayırhan betonu dizaynı	109
Çizelge 6.57	Tunçbilek betonu dizaynı.....	110
Çizelge 6.58	Seyitömer betonu dizaynı	110
Çizelge 6.59	Taze betonda çökme ve birim ağırlığı	114
Çizelge 6.60	Sertleşmiş betonlarda basınç dayanımı	116
Çizelge 6.61	Sertleşmiş betonlarda yarmada çekme dayanımı	125
Çizelge 6.62	Sertleşmiş beton kütlece su emme oranı	126
Çizelge 6.63	Serleşmiş beton etüv kurusu birim ağırlığı	127
Çizelge Ek 1.1	2004 yılı Ocak ayı uçucu kül kimyasal analizleri	131
Çizelge Ek 1.2	2004 yılı Şubat ayı uçucu kül kimyasal analizleri	131
Çizelge Ek 1.3	2004 yılı Mart ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	132
Çizelge Ek 1.4	2004 yılı Nisan ayı uçucu kül kimyasal analizleri	132
Çizelge Ek 1.5	2004 yılı Mayıs ayı uçucu kül kimyasal analizleri	132
Çizelge Ek 1.6	2004 yılı Haziran ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	133
Çizelge Ek 1.7	2004 yılı Temmuz ayı uçucu kül kimyasal analizleri	133
Çizelge Ek 1.8	2004 yılı Ağustos ayı uçucu kül kimyasal analizleri	133
Çizelge Ek 1.9	2004 yılı Eylül ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	133
Çizelge Ek 1.10	2004 yılı Ekim ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	133
Çizelge Ek 1.11	2004 yılı Kasım ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	134
Çizelge Ek 1.12	2004 yılı Aralık ayı uçucu kül kimyasal analizleri	134
Çizelge Ek 1.13	2005 yılı Ocak ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	134
Çizelge Ek 1.14	2005 yılı Şubat ayı uçucu kül kimyasal analizleri	134
Çizelge Ek 1.15	2005 yılı Mart ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	135
Çizelge Ek 1.16	2005 yılı Nisan ayı uçucu kül kimyasal analizleri	135
Çizelge Ek 1.17	2005 yılı Mayıs ayı uçucu kül kimyasal analizleri	135
Çizelge Ek 1.18	2005 yılı Haziran ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	136
Çizelge Ek 1.19	2005 yılı Ağustos ayı uçucu kül kimyasal analizleri	136
Çizelge Ek 1.20	2005 yılı Eylül ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	136
Çizelge Ek 1.12	2005 yılı Ekim ayı uçucu kül kimyasal analizleri.....	136
Çizelge Ek 2.1	Çayırhan uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)	137
Çizelge Ek 1.2	Çatalağzı uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)	137
Çizelge Ek 1.3	Seyitömer uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)	137

Çizelge Ek 1.4 İskenderun Sugözü uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti).....	138
Çizelge Ek 1.5 Orhaneli uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti).....	138
Çizelge Ek 1.6 Tnçbilek uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti).....	138

ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenimim süresince bilgisi, hoşgörüsü ve tecrübeleri ile her türlü desteğini sağlayan, beni yönlendiren, hayatım boyunca sevgi ve saygı ile hatırlayacağım değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sabriye Pişkin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında tecrübeleri ile bana yol gösteren hocam Yrd. Doç. Dr. Emek Möröydor Derun'a, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Arş. Gör. Aysel Kantürk'e, deneysel çalışmalar sırasında yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Nurcan Tuğrul'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca peletlerin büyük kısmının pişirilmesinde yardımcı olan Remsan Refrakter Malzeme Sanayi A.Ş. Laboratuvar Ar-Ge şefi Fehmi Kula'ya, beton üretimi ve deney yapımı sırasında tecrübeleri ile yol gösteren İnşaat Yük. Müh. Nihat Kabay'a, beton üretim çalışmalarımda yardımlarından dolayı İnşaat Yapı Malzemeler Lab. Teknisyeni Halil Yavaşçı'ya ve arkadaşım Mandakbayer Dorjbat'a, ve numunelerin SEM çekiminde yardımlarından dolayı uzman Polat Topuz'a, ayrıca tez çalışmalarımın her aşamasında hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Müge Sarı, Kimya Müh. Murat Eslek, Kimya Müh. Nilay Üstün, Kimya Müh. İhsan Mert Türkkal, Teknisyen Cem Çakmak, Teknisyen Davut Bozkurt ve Tekniker Ferdi Erol'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince bana gösterdiği destekten dolayı sevgili eşim İnşaat Müh. Batbayar GANBAT'a, hayatımıza neşe ve renk katan küçük tatlı kızımıza ve yaşantımın ve eğitimin her döneminde bana emek harcayan ve destek olan babama ve anneme, ayrıca kardeşlerime en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Uçucu kül kömüre dayalı termik santrallerden atık malzeme olarak elde edilmekte ve Türkiye’de yılda 15 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Ancak bu uçucu küllerin kullanım oranı çok düşük seviyelerdedir. Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilceği ve dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğler taraftan çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunmasının da mümkün olacağı görülmektedir.

Bu çalışmada, farklı özellikli uçucu küllerden bentonit katkıli peletlerin üretilmesi, bu peletlerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması, betonun mekanik özelliklerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve Türkiye’deki uçucu kül kullanım alanlarını genişletme çabalarına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan endüstriyel katı atık olan uçucu kül; Çayırhan, Orhaneli Seyitömer, Çatalağzı, Tunçbilek ve İskenderun Sugözü termik santrallerinden getirilmiştir. Deneyisel çalışmaların ilk aşamasında uçucu kül numunelerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilmiş ve bentonit katılması ile pelet numuneler üretilmiştir. Üretilen peletlerin yaş basma, kuru basma, yaş düşme sayısı, pişmiş pelet basma dayanımı, nem ve boyut analizleri yapılmıştır.

Deneyisel çalışmaların ikinci aşamasında ise uçucu kül agregaların birim ağırlığı, özgül ağırlığı, elek analizi, su emme oranı ve magnezyum sülfatta don kaybı tespit edilmiştir.

Son olarak uçucu kül agregasından elde edilen hafif betonun birim ağırlığı, su emme oranı, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı özellikleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Peletleme işlemi, Uçucu kül agregası, Hafif beton ve Dayanım

ABSTRACT

Fly ash is industrial waste from the coal generating thermal power plant. The fly ash is produced more than 15 million tones for year in Turkey, but only a small amount is utilized. When investigating chemical, physical and mechanical properties of fly ashes, we can see the large scale utilization in the construction sector and so on one hand we can manufacture material and energy production with a lower price and in the other hand with preventing the environ pollution we can protect the ecology balance.

This study aimed to pellet specimens are manufactured from different power plant fly ashes and bentonite (as additive), this pellet specimens are used as a aggregate in production of lightweight concrete, the effect on the mechanical properties of the lightweight concrete is evaluated and the effort of expending the area of using fly ashes in Turkey is contributed.

Industrial solid waste fly ashes in the experimental study were used and came from power plant Çayırhan, Orhaneli, Seyitömer, Çatalağzı, Tunçbilek and İskenderun Sugözü. In the first stage of the experimental studies, the chemical and physical properties were determined and pellet specimens were manufactured. Fresh knock, fresh crush, dry crush, sintered crush, moisture content and size of pellet specimens were analyzed.

In the second experimental studies unit weight, specific gravity, sieve analyze, water absorption and lose freezing in the magnesium sulfate solution were determined.

Finally, unit weight, water absorption, compressive strength and tensile splitting strength of lightweight concretes were determined, which are produced from fly ash aggregate.

Key Words: Fly ash, Pelletization, Fly ash aggregate, Lightweight concrete and Strength

1. GİRİŞ

Atık olarak doğaya bırakılan birçok yan ürünün teknik özellikleri incelediğinde, pek çoğunun inşaat sektöründe değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Bunlardan, uçucu küllerin, tarımdan kimya endüstrisine, zemin ıslahından çeşitli yapı malzemeleri üretimine kadar çok sayıda potansiyel kullanım alanları mevcuttur. Uçucu küllerin en çok tüketilebileceği alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların çoğunluğu uçucu küllerin çimento, beton, tuğla, hafif agrega üretiminde, zemin stabilizasyonu ve dolgu yapımında kullanılmasına yöneliktir (Çelik, 2004; Baykal ve Döven, 2000).

Uçucu kül, termik santrallerde enerji üretimi için kullanılan kömürün yakılması sonucu elde edilen bir yan üründür.

Uçucu küllerin bacalarda tutulması ile günümüzün çok önemli problemlerinden biri olan hava ve toprak, dolayısıyla çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olmaktadır. Öte yandan uçucu küllerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu küllerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme, dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Rüzgar erozyonu ve tozlanma, uçucu küllerin havuzlarda çökeltmesi veya ıslatılarak taşınması sayesinde önlenmektedir. Yukarıda sayılan sorunların çözümlenmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir. Uçucu küllerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Bundan başka uçucu kül, kimya, seramik, cam, cam-seramik, döküm-metal sanayi, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında filler olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Aruntaş, 2006).

Termik santrallerde kullanılan taş kömürlerinin %10-%15'i, linyit kömürlerinin ise %20-%40'i küldür. Türkiye'de kömüre dayalı çalışan ve inşası bitmek üzere olan 15 termik santral bulunup, bunların 13'ü linyit, 1'i linyit ve taş kömürü karışımı ve 1'i taş kömürü ile çalışmaktadır. Türkiye'de uçucu külün üretimi yılda yaklaşık 15 milyon ton olmakla birlikte, kullanımı oldukça düşüktür.

1989'da dünyada uçucu kül üretimi 400 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Eski Sovyetler Birliği 90 milyon ton ile en büyük üreticidir. Dünyada diğer uçucu kül üreticileri ise şunlardır;

Amerika Birleşik Devleti 80 milyon ton, Çin 60 milyon ton, Hindistan 45 milyon ton, Polonya 25 milyon ton, Almanya 20 milyon ton ve İngiltere 15 milyon tondur (Malhotra, 1996).

Bütün Dünyada bir yılda üretilen toplam uçucu külün ancak %25'den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen toplam uçucu külün % 95'den fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık %50'si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda uçucu kül üretilen A.B.D. ve Çin'de sırasıyla yaklaşık %32 ve %40 oranında uçucu kül kullanıldığı görülmektedir. 1990 yılı verilerine göre Türkiye'de uçucu kül kullanım oranı, % 1'den daha azdır. (Aruntaş, 2006).

Uçucu külden elde edilen hafif agregalarla ilgili literatürde birçok çalışma vardır. Yapılan bu çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta sinterlenerek yapay iri hafif agrega olarak üretilen uçucu kül, hafif beton yapımında kullanılmış ve beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Diğer taraftan yüksek oranda uçucu kül ile bir miktar Portland Çimento karıştırılarak elde edilen iri hafif agregaların, hafif beton üretiminde kullanıldığı ve taşıyıcı betonlar elde edildiği görülmektedir (Chang ve Shieh, 1996; Gesoğlu vd., 2004).

Uçucu külün agrega olarak beton ve harç içinde kullanıldığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Uçucu kül; Türk, Amerikan ve İngiliz standartlarında beton ve duvar elemanları için yapay hafif agrega olarak kabul edilmektedir (Aruntaş, 2006).

Bu çalışmada ise farklı termik santrallerden atık olarak çevreye bırakılan uçucu küllerden beton agrega üretilmiş ve hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmıştır. Bu şekilde hafif beton kalitesinin artırılması, ekolojik sorunlarının azaltılması ve beton üretim maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

2. UÇUCU KÜL

2.1 Uçucu Külün Tanımı

Türkiye’de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de eklenmiştir (Aruntaş, 2006).

Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazları ile sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlemektedir. Bu şekilde elde edilen küle uçucu kül adı verilmektedir. Uçucu kül tanecikleri genelde küresel yapıda olup büyüklükleri 1–200 µm arasında değişmektedir. Bir uçucu külün tane boyutu termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller elektrofiltrelerde toplanan küllerden daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça rengi koyulaşır (Çelik, 2004).

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları santralde kullanılan kömürün içindeki mineral safsızlıkların tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85’ini SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO oluşturur (Çelik, 2004).

Türkiye’de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallere ait bilgiler, alfabetik olarak Çizelge 2.1’de verilmiştir [6].

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi; Çatalağzı, Çolakoğlu ve İskenderun Sugözü termik santrali haricindeki bütün santraller, linyit kömürü ile çalışmaktadır.

Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da bacalardan 1993 yılı verilerine göre 13,5 milyon ton/yıl, 1998 yılı verilerine göre ise yaklaşık 13 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Çizelge 2.1 Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller [6]

	Santral adı	Yakıt cinsi	Kurulu Güç (MW)	Bulunduğu il
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağazı	Taşkömürü	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Linyit	620	Ankara
6	Çolakoğlu 2	Taşkömürü	190	Kocaeli
7	Kangal	Linyit	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü-İskenderun	Taşkömürü	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Örneğin Fransa ve İspanya gibi uçucu küllerle ilgili standart bulunmayan ülkelerde külün içeriği kireç ve SO₃ miktarına bağlı olarak sınıflandırma yapılmaktadır. Buna göre;

- Esas yapısı silikoalüminatlardan meydana gelen ve genellikle taş kömüründen elde edilen uçucu küllere silikoalüminoz uçucu küller,
- Genellikle linyit kömüründe elde edilen ve diğerlerine oranla yüksek miktarlarda SO₃ ve CaO içeren uçucu küllere sülfokalsik uçucu küller,
- Yine genellikle linyit kömüründen elde edilen, kireç ve silika oranı yüksek uçucu küllere de silikokalsik uçucu küller adı verilir (Çelik, 2004).

Öte yandan, son yıllarda daha geniş kabul gören bir başka sınıflandırma yöntemi ise uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre, CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kireçli ya da düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli ya da yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar (Çelik, 2004).

ASTM C 618'e göre uçucu küller iki geniş kategoriye ayrılmaktadır (ASTM C 618, 1991).

- 1) F sınıfı uçucu küller; bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını sağlayan küllerdir.
- 2) C sınıfı uçucu küller ise genelde linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlayan küllerdir. ASTM C 618'e göre silikoalüminaz küller F sınıfına, silikokalsik uçucu küllerin bir kısmı C sınıfına, sülfokalsik uçucu küllerin birçoğu ise C sınıfına girerler.

TS 639, ASTM F sınıfı uçucu küller için öngörülen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ şartını öngörür. Ayrıca uçucu küldeki SO_3 ve MgO yüzdesi $< \%5$ olmalıdır. EN 450 ise SO_3 miktarının %3'den, kızdırma kaybının ise %10'dan küçük olmasını, reaktif silisin $> \%25$ öngörmektedir (TS EN 450). EN 197-1 W sınıfı ise, reaktif silisin $> \%25$, reaktif CaO'in $> \%5$ olmasını öngörür.

Ancak, yukarıda belirtilen sınıflandırmaların tümü sorunu, gerçektekinden daha basitleştirmektedir. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının elde edildikleri kömürün jeolojik geçmişiyle ve termik santraldeki yanma sıcaklığına doğrudan bağlı olması her türlü sınıflandırılma çabasını yetersiz kılmaktadır. Yukarıda da görüldüğü geniş sınırları olan sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Ancak bazı uçucu küller birden fazla sınıfın özelliklerini taşıırken bazıları da neredeyse kendileri bir sınıf yaratacak kadar özel niteliklere sahip olabilirler. Bazı araştırmacılar uçucu küllerin sınıflandırılması çabalarına oldukça radikal bir biçimde yaklaşarak her uçucu külün bizzat kendi sınıfını meydana getirdiğini belirtmektedirler (Çelik, 2004).

2.3 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu külün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uçucu kül, genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha koyu bir hal almaktadır. Uçucu kül, % 60-90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir (Aruntaş, 2006).

Uçucu külün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1-200 μm arasında değişir. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 μm 'den, % 50'den çoğu ise 20 μm 'den daha küçüktür. Uçucu külün yoğunluğu, 2.2-2.7 g/cm^3 dolayındadır (Erdoğan, 1993).

Uçucu külün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabilceğini göstermektedir. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Çap (μm)	Şekil	Renk	Özgül ağırlık (g/cm^3)	İncelik
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2-2.7	~Çimento inceliğinde

2.4 Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları

Uçucu küllerde S+A+F toplamının, genellikle %70 değerinden fazla olduğu ve ASTM C 618'deki şartın sağlandığı görülmektedir. Kullanılan kömür cinsine bağlı olarak bazı uçucu küllerde önemli oranda CaO bulunmaktadır. CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. ASTM C 618'e göre uçucu küller, S+A+F toplamı % 70'in üzerinde ise F sınıfı uçucu kül, S+A+F toplamı % 50'nin üzerinde ise C sınıfı uçucu kül olarak gruplandırılmaktadır (ASTM C 618, 1991).

Türkiye'de elde edilen bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları, TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerleri ile birlikte Çizelge 2.3'te verilmiştir (Tokyay, 1993).

Afşin-Elbistan uçucu külü dışında diğerlerinin genel olarak TS 639'da belirtilen sınır değerlere uygun olduğu, ASTM C 618'e göre ise Afşin-Elbistan uçucu külünün C sınıfı, diğer uçucu küllerin F sınıfı olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3 Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları (Tokyay, 1993).

Bileşim (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639 Sınırları	ASTM C 618 sınırları	
						F	C
SiO ₂	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-	-
Al ₂ O ₃	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	47.0	1.4	4.43	13.2	-	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na ₂ O	(N+K) 0.3	(N+K) 0.3	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K ₂ O	-	-	1.81	1.76	-	-	-
SO ₃	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<5	<5
K.K	2.4	0.6	1.39	0.72	<10	<12	<6

2.5 Uçucu Küllerin Mineralojik Yapıları

Uçucu küllerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir.

Düşük kireçli uçucu küllerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip uçucu küller rutubetli ortamda sönmüş kireç (Ca(OH)₂) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli uçucu küller ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum aluminat, amorf silis ve alumina ve benzeri sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler. Düşük kireçli uçucu küllerdeki camsı faz miktarı, yüksek kireçli uçucu küllerden daha fazladır. Düşük kireçli uçucu küllerde mineral faz olarak; camsı faz, mullit (Al₆Si₂O₁₃), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₂O₄), kuvarz (SiO₂) ve benzeri var iken yüksek kireçli uçucu küllerde sayılanlara ek olarak serbest kireç (CaO), anhidrit (CaSO₄), trikalsiyum aluminat (Ca₃Al₂O₆), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Türkiye’deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları Çizelge 2. 4’de verilmiştir

Çizelge 2.4 Türkiye'deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları (Tokyay, 1993)

Mineral, %	Uçucu kül					
	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma B	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	1.0	18.1	1.2	4.3	8.8	6.0
Kuvartz	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
Manyetit	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
Hematit	4.0	0.1	6.0	2.0	3.0	7.0
Anhidrit	12.2	-	9.3	7.4	-	-
Serbest CaO	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1.0
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Camsı ve amorf faz	~30	~70	~50	~50	~70	~35

2.6 İnşaat Sektöründe Uçucu Külün Kullanımı

Dünyada 1970'li yıllarda başlayan petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir.

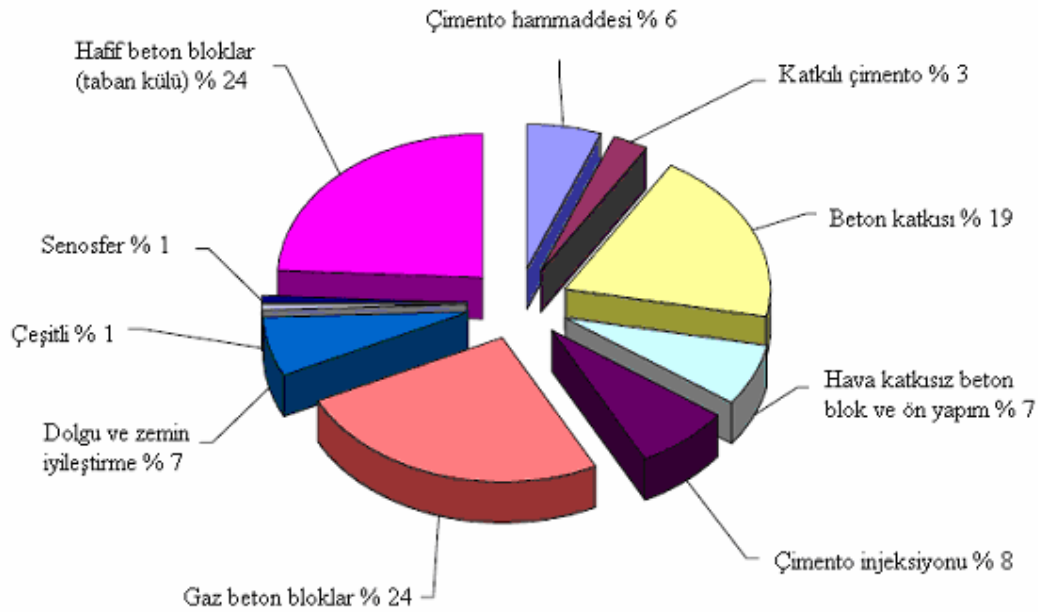
Çizelge 2.5 Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar (Aruntaş, 2006)

Malzeme	Kullanım amacı / yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega üretiminde	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar / uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilmesi ve dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğer taraftan çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunmasının da mümkün olacağı görülmektedir. İnşaat sektöründe uçucu kül; çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Türkiye ve Dünyada uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar Çizelge 2.5’de özetlenmiştir (Aruntaş, 2006).

Türkiye’de uçucu kül kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir (Tokyay, 1993).

Avrupa’da inşaat sektöründe uçucu kül kullanımına örnek olarak İngiltere’deki durum Şekil 2.1’de gösterilmiştir [7].



Şekil 2.1 İngiltere’deki termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin kullanım alanları [7]

İngiltere’de uçucu külün ağırlıklı olarak beton, hafif beton blok ve gaz beton blok üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

2.6.1 Agrega olarak uçucu külün kullanımı

Uçucu külün agrega olarak beton ve harç içinde kullanıldığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Uçucu kül; Türk, Amerikan ve İngiliz standartlarında beton ve duvar elemanları için yapay hafif agrega olarak kabul edilmektedir (Aruntaş, 2006).

Betonda uçucu kül kullanımı; ince agrega, sinterleme sonrası yapay hafif agrega ve uçucu kül ile bir miktar Portland Çimento karıştırılarak elde edilen iri hafif agrega olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır. Ülkemizde yapılan bir çalışmada, sinterlenmiş uçucu kül hafif agregası üretimi laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiş ve bu malzemenin inşaat sektöründe başta agrega olmak üzere birçok alanda kullanılabilmesi önerilmiştir (Baykal vd., 1993).

Sinterlenmiş uçucu kül hafif agregasının geleneksel agrega yerine betonda içi dolu veya boş blok üretimi için kullanılabilmesi ve çok katlı binalarda ölü yükü azaltacağı belirtilmektedir (Verma vd., 1998).

Uçucu külden elde edilen hafif agregalarla ilgili literatürde birçok çalışma vardır. Yapılan bu çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta sinterlenerek yapay iri hafif agrega olarak üretilen uçucu kül, hafif beton yapımında kullanılmış ve beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Diğer taraftan yüksek oranda uçucu kül ile bir miktar Portland Çimento karıştırılarak elde edilen iri hafif agregaların, hafif beton üretiminde kullanıldığı ve taşıyıcı betonlar elde edildiği görülmektedir (Chang ve Shieh, 1996; Gesoğlu vd., 2004).

3. BETON ve BETON BİLEŞENLERİ

3.1 Beton Tanımı

Beton, kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega v.b.), çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Betonun karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede katılaşıp ve zamanla dayanım kazanır (Ersoy, 1985).

Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, %20 oranında su oluşturur. Gerekğinde, çimento ağırlığının %5'sinden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir. Betonun günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür:

- Ucuzluğu,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,
- Şekil verilebilme kolaylığı,
- Çelik donatı ile (betonarme) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi, pigmentlerle renklendirilmesi [4].

Çizelge 3.1'de beton karışım oranlarına göre kullanıldığı yerler verilmiştir [5].

Çizelge 3.1 Beton karışım oranlarına göre kullanıldığı yerler [5]

Miktarlar			Kullanıldığı yerler
Çimento (kg)	Kum (lt)	Çakıl (lt)	
325	400	800	Yüksek mukavemetli kolon, vibrasyon ve su etkisi
275	400	800	Betonarme döşeme, kiriş, kolon, makine temelleri
250	500	800	Toprak üstü beton inşaat, temeller
500	500	850	Kütle betonu, duvar dolgusu

3.2 Hazır Betonun Tarihçesi

İnsanoğlu M.Ö.3000 yılından itibaren kalsiyum (Ca) esaslı bağlayıcı maddeleri yapı malzemesi olarak kullanmaktadır. Modern Portland Çimentosu ise ilk kez 1824 yılında üretilmesine rağmen ilk betonarme yapı ancak 1857 yılında yapılmıştır. Çizelge 3.2’de beton kullanım tarihçesi yıllara göre verilmiştir [2].

Çizelge 3.2 Beton kullanım tarihçesi [2]

Yıllar	Gelişme	Ülke
1848	İlk Çimento Fabrikası	İngiltere
1857	Betonarmenin Keşfi	Fransa
1865	Yüksek fırın curufunun portland çimentosu ile birlikte kullanımı	Almanya
1903	Hazır beton sektörünün başlangıcı	Almanya
1936	Kimyasal katkıların kullanımı	Amerika
1950	Uzun dönem testler için mikrosilisin deneysel olarak kullanımı	Norveç
1965	Süper akışkanlaştırıcıların betonda kullanımı	Amerika
1971	Mikrosilisin taşıyıcı sistemde kullanımı	Norveç
1981	Üçlü karışım (PÇ+mikrosilis+uçucucu kül) çimentonun ilk kez kullanımı	İzlanda

Hazır beton üretimi ise dünyada ilk kez yirminci yüzyıl başında (1903) Almanya’da ortaya çıkmış, sonraki birkaç yıl içerisinde de ABD’de görülmeye başlanmıştır. 1914 yılında beton taşıma amaçlı transmikser aracı Amerika’da geliştirilmiştir. Transmikserin hemen ardından Alman mühendisler betonun mikserden kullanım alanına pompalanması amacıyla 1927 yılında "Beton harç iletme pompası" aracının patentini almışlardır. Özellikle savaş yıllarından sonra, bazıları bugün de faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur. Sonraki yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip yaygınlaşması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede hazır beton üretilip kullanılmaya başlamıştır. Özellikle 20.Yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve alt yapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip kolayca yaygınlaşmasını sağlamıştır. Dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir [2].

3.3 Beton Bileşenleri

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agregası (kum, çakıl, kırma taş), kimyasal katkıları ve mineral katkılardır. Kimyasal katkılarla (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, antifriz ve geçirimsizlik sağlayıcı) mineral katkılar (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı) betonun performansını istediğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşır sertleşerek agregası tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti, çimento hamurunun mukavemetine, miktarına, agregası tanelerinin mukavemetine, agregası taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderans), betonun işçilik ve kür koşullarına bağlıdır [4].

3.3.1 Çimento

Çimento, mineral parçalarını (kum, çakıl vs.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütölüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400–1500°C'de döner fırınlarda pişirilir ve ani olarak soğutulur. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (% 4–5) oranında, çok ince toz halinde öğütölerek Portland Çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürüflü Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır [4].

Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşılarak taşlanmaya başlar. Priz olarak adlandırılan bu katılaşmanın süresi, ortamın koşullarına bağlıdır. Normal koşullar altında katılaşma 1 ile 10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklığı altında katılaşma hızlanır. Katılaşma ile birlikte "sertleşme" olarak tanımlanan, betonun dayanım kazanma olayı başlar. Dayanım zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun süre alır (Ersoy, 1985).

3.3.2 Agregata

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregata önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum.. gibi) ve kaba (çakıl kırmataş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

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

Agreganın kirli (kil, silt, mil ve toz gibi) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Agregata ile ilgili bilgiler daha geniş kapsamda bölüm 4'te verilmiştir.

3.3.3 Beton karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

- Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.
- Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamak [4].

Kıvam 1 m³'e giren su miktarına bağlıdır. Hatırlanacağı üzere beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yok eder. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır. Betona verilebilecek en büyük zarar, fazladan su katılmasıdır.

3.3.4 Katkı maddeleri

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiklere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür [4].

3.3.4.1 Kimyasal katkıları

Kimyasal katkıların belli çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

- Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar): Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.
- Priz Geciktiriciler: Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.
- Priz Hızlandırıcılar: Priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.
- Antifrizler: Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.
- Hava Sürükleyici Katkıları: Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.
- Su Geçirimsizlik Sağlayan Katkıları: Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkıları, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur [4].

3.3.4.2 Mineral katkıları

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılarından yüksek dayanımlı

beton üretiminde de yararlanılır [4].

3.4 Betonda Aranılan Özellikler

Bu özellikleri iki grupta sınıflandırmak mümkündür [5]:

Taze Betonda:

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

Sertleşmiş Betonda:

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

3.5 Beton Sınıfları

3.5.1 Basınç Dayanım Sınıfları

Betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, normal beton ve ağır beton için Çizelge 3.3’de verilen sınıflar uygulanır. Sınıflandırma çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan silindirik şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, küp}$) kullanılabilir (TS EN 206-1, 2002).

Çizelge 3.3 Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıflar (TS EN 206-1, 2002)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck, sil}$ (N/mm ²)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck, küp}$ (N/mm ²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

3.5.2 Kıvam Sınıfları

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkanlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı TS EN 206-1'de 5 kıvam bulunmaktadır. S1, S2, S3, S4 ve S5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir. Çizelge 3.4'de beton çökme sınıfı değerleri verilmiştir (TS EN 206-1, 2002).

Hazır betonda şantiye teslimi kıvam, taşıma süresi ve beton sıcaklığına bağlıdır. Taşıma süresi kıvamı etkilemekte, süre uzadıkça ve hava sıcaklığı yükseldikçe santralden şantiyeye kıvam kaybı artmaktadır. Bu kıvam kaybının betona su verilerek dengelenmesi mukavemeti düşürmektedir.

Çizelge 3.4 Beton kıvam sınıfı ve çökme değerleri (TS EN 206-1, 2002)

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
S1	0 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220

3.6 Özel Betonlar

Taşıyıcı normal betonlar dışındaki betonlar, yapıdaki kullanılma yeri ve şekline göre, farklı yöntemlerle ve farklı malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Bu şekilde üretilen ve yapıda dolgu, yalıtım, kaplama elemanları, dekoratif yüzeyler, hazır elemanlar olarak kullanılan çeşitli betonları, özel betonlar adı altında incelememiz mümkündür. Bu betonları normal betonlardan ayıran yönler; birim ağırlıklarının, kullanılma yerlerinin farklı olması ve farklı malzemeler kullanılarak üretilmeleridir [5].

3.6.1 Hafif beton

Hafif beton altmış yılı aşkın bir süredir kullanılan bir beton türüdür. Dayanımı ile ağırlığı arasında doğrudan bir ilişki bulunur. Hafif beton normal betonla kıyaslandığında daha düşük ağırlıkta olması nedeni ile temel boyutlarında küçülmeye neden olması ve yalıtım özelliklerinin daha iyi olması gibi avantajlarının yanında, daha yüksek maliyet, daha fazla gözeneklilik, daha yüksek rötre ve yapımda daha fazla özen gerektirmesi gibi, dikkat gerektiren özelliklere de sahiptir (Gazioğlu, 1997).

Hafif beton, ağırlığı az, ısı yalıtımı yüksek, mukavemeti normal betonlardan biraz düşük ve yanmaz bir malzemedir. Birim ağırlıkları 2,0 kg/lt'nin altındadır. Birim ağırlığın küçültülmesi ısı iletkenlik katsayısını küçültür ve ses yutuculuğu artar. Betonun birim ağırlığının

azaltılması ise başlıca üç yolla yapılabilir [5].

Normal agregaların yerine boşluklu olan doğal ve yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar hafif agregaya ile üretilen yalıtım betonunda agregaya olarak ponza taşı, genişmiş perlit, genişmiş kil, plastik köpüğü veya odun talaşı gibi çok hafif ve çok boşluklu agregaya belirli granülometride ve uygun oranlarda çimento ile karıştırılarak kullanılırlar.

Üretilen hafif betonların çoğunluğu öndökümlü blok ve döşemeler şeklindedir ve karışım oranları hacimce yaklaşık 1/6 ile 1/10 (çimento/agregaya) arasındadır. Bunlar genellikle iç bölmeler için kullanılırlar, dayanım ve kalınlıklarına göre yük taşıyan veya taşımayan olarak sınıflandırılırlar.

Yalıtım veya taşıyıcı yapılar özelliğine göre birim ağırlıkları artırılır veya azaltılabilir. Memleketimizde Nevşehir’de izobims hafif yapı elemanları fabrikaları ponza taşlı briket ve hafif taşıyıcı elemanlar üretmektedir [5].

Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturarak üretilen gaz ve köpük betonlar; çok ince kum ile yapılmış sulu bir harç içine alüminyum tozu gaz çıkartıcı ve kabartıcı yahut da çalkalandığı vakit köpürtücü maddeler katmak suretiyle elde edilir. Bu harç sertleşince sünger gibi boşluklu bir yapıya sahip olur.

Gaz veya köpük betonu fazla sulu yapıldığı için rötre ve sünme değerleri yüksektir. İyice kurumadan kullanılmaz. Birim ağırlığı 0,8 kg/lt, yalıtımı yüksek, çivi çakılabilen, testere ile kesilebilen, basınç mukavemetine göre 25–50 kg/cm² gibi sınıfları vardır.

Gerçekten agregaya taneleri birbirine değme noktalarında saf çimento hamuru ile tutturulmuştur. Çimento hamurunun su/çimento oranı çok kritiktir. Çünkü çok katı olursa agregaya tanelerini yeterince kaplamayacak ve çok yumuşak olursa agregalardan süzülerek alt kısımlara toplanacaktır. En iyisi aşırı emici agregaların kullanılmadan önce iyice ıslatılması ve süzülmesidir.

Günümüz beton teknolojisinde yeni yeni gelişmekte olan bu beton türünde beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel kuraldır. Boşluk oluşturmaya harç içinde veya iri agregaya taneleri arasında veya agreganın içinde yapılır.

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.
- Üretilen bu betonların yapıya vereceği yükler azdır, temel ve diğer yapı elemanlarının

boyutları küçük boyutlu yapılabilir.

- Isı yalıtımları yüksektir.
- Yangın bakımından daha elverişlidir.

Bununla birlikte bazı sakıncaları da vardır. Bunlar boşluklu olmaları nedeniyle mukavemeti aşınmaya karşı dayanıklılığı azdır. Bu betonlar birim ağırlıklarına göre kullanma yönünden yalıtım betonları, orta mukavemetli taşıyıcı betonlar olarak kullanılırlar.

Ülkemizde hafif agrega olarak Kayseri, Nevşehir ve Van dolaylarında sadece doğal olanları vardır. Bunlardan da ponza taşı en çok bulunanıdır. Ponza taşı ile yapılan hafif betonlar ise ya yalıtım ya da orta mukavemetli betonlardır. Bu hafif agrega ile daha güvenli taşıyıcı betonlar üretebilmek için ancak yarı hafif türden beton üretmek gerekir. Böylece doğal hafif agregaların daha rasyonel biçimde değerlendirilmesi söz konusudur.

Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılmasında Çizelge 3.5’de verilen sınıflar uygulanır (TS EN 206-1, 2002).

Hafif betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında Çizelge 3.6’de verilen sınıflar uygulanır. Sınıflandırma çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, küp}$) kullanılabilir (TS EN 206-1, 2002).

Çizelge 3.5 Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (TS EN 206-1, 2002)

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk Aralığı (kg/m³)	≥800 ve ≤1000	≥1000 ve ≤1200	≥1200 ve ≤1400	≥1400 ve ≤1600	≥1600 ve ≤1800	≥1800 ve ≤2000

Çizelge 3.6 Hafif beton için dayanımı sınıflar (TS EN 206-1, 2002)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck, sil}$ (N/mm ²)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck, küp}$ (N/mm ²)
C 8/9	8	9
C 12/13	12	13
C 16/18	16	18
C 20/22	20	22
C 25/28	25	28
C 30/33	30	33
C 35/38	35	38
C 40/44	40	44
C 45/50	45	50
C 50/55	50	55
C 55/60	55	60
C 60/66	60	66
C 70/77	70	77
C 80/88	80	88

4. BETON AGREGASI

4.1 Tanım

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır [1].

Bağlayıcı maddeler birkaç özel hal dışında hiçbir zaman yalnız başına kullanılmaz. Bağlayıcı maddeler genel olarak mineral kökene sahip muhtelif boyutta sert tanelerden oluşan ve agregası ismi verilen malzeme ile birlikte kullanılır. Agregalar, ince ve iri agregası olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. İnce agregası boyutları belirli bir değerden küçük olan tanelerden meydana gelir. Kum, bir ince agregasıdır. İri agregası ise boyutları belirli bir değerden büyük olan tanelerden teşekkül eder (Postacıoğlu, 1975).

Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen uçucu kül agregası. Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75 ini oluşturur. Betonda agregası kullanılmasının ekonomik ve teknik özellikler bakımından büyük yararları bulunmaktadır. Çimento, agregası ve su karışımından yapılan betonun, hacim olarak yaklaşık 3/4'ü agregası tarafından oluşturulmaktadır [10].

Betonda agregası kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun 'hacim değişikliğini' önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun 'aşınmaya karşı dayanımını' arttırması, çevre etkilerine karşı 'dayanıklılığını' arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı 'dayanımı' sağlayabilmesi gelir. Betonda kullanılan agregasının dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agregasının temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir [1].

- Agregası üretim merkezlerinde, beton santrallerinde ve şantiyelerde agregası yığınlarının depolanmasında ve taşınmasında şu hususlara dikkat etmek gerekmektedir;
- Agregası tanelerinin kirlenmemesi için önlem alınmalıdır. Agregasının kirlenmemesi veya dikkatsizlik sonucu agregası içerisine zararlı maddelerin girmemesi için gerekli önlem gösterilmelidir. Agregası yığınları oluşturulurken, mümkünse sert ve temiz bir zemin

seçilmeli veya beton döşeme hazırlanarak agregalar bu döşeme üzerine yığılmalıdır; Tabana önceden kum, çakıl veya kaya parçaları da serilerek agrega yığını böyle bir zemin üzerine oturtulabilir. Agregadaki suyun yığından dışarıya kolayca drenajını ağlayabilecek önlemler alınmalıdır. Çevredeki gevşek toprak tanelerinin rüzgar etkisiyle agrega danelerinin arasına karışmamasına dikkat edilmelidir.

- Ayırışmaya neden olunmamalıdır. Agregaların bir yere yerleştirilmesi, depolanması veya taşınması esnasında iri agregaların ve ince agregaların bir yığın içerisinde adeta ayrı ayrı kümeler oluşturarak ayırışma (segregasyon) yapmasını önleyecek önlemler alınmalıdır [1].

4.2 Agreganın Sınıflandırılması

Agreganın sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

- Elde ediliş şekline göre
- Tane Boyutlarına Göre

Elde ediliş şekline göre sınıflama:

- Doğal agregası (Doğal taş agregası)
- Yapay agregası (Sanayi ürünü agregası)

Tane boyutlarına göre sınıflama:

- İnce agregası (4mm altı)
 - Kum
 - Kırma kum
 - Yapay kum
- İri agregası (4mm üstü)
 - Çakıl
 - Kırmataş (mıcır)
 - Yapay taş
- Taşunu (Filler) (0,25mm altı)

Şekil 4.1’de tane boyutlarına göre 3 farklı agregası örneği verilmektedir [1].



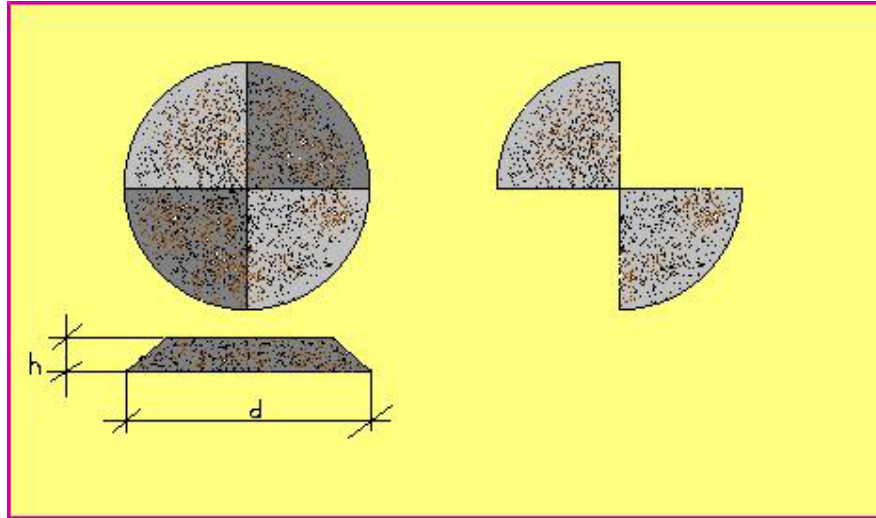
Şekil 4.1 Taşunu, ince agrega ve iri agrega [1]

4.3 Agreganın Özellikleri

4.3.1 Agregadan numune alma

Agregadan numune alma şekli genelde çeyreklenme metodu ile yapılmaktadır. Bu metotta agrega düzgün dairesel bir yığın haline getirilerek, bir malanın keskin kenarı ile dört eşit kısma ayrılmaktadır. Sonra bunlardan karşılıklı iki dördte birlik kısımlar uzaklaştırılıp kalan iki dördte bir karıştırılarak, yeniden dairesel bir yığın oluşturulmaktadır. Bu şekilde dörde bölme işlemleri, kalanlar, yaklaşık olarak deney numune miktarına eşdeğer olana kadar sürdürülmektedir (Hüseyin vd. 2003).

Agregalardan numune alma şekli Şekil 4.2’de gösterilmiştir [1].



Şekil 4.2 Agregalardan numune alma [1]

4.3.2 Agreganın fiziksel özellikleri

4.3.2.1 Rutubet durumu

Agreganın rutubet durumu aşağıdaki gibi 4 şeklidir.

- Etüv kurusu
- Hava kurusu
- Suyu doymuş yüzey kuru
- Islak

4.3.2.2 Birim ağırlık

Birim ağırlık yığın halindeki agreganın taneleri arasındaki boşluklar da dahil birim hacmin ağırlığıdır [1].

4.3.2.3 Özgül ağırlık

Özgül ağırlık; agrega tanelerinin işgal ettiği mutlak birim hacim ağırlığıdır [1].

4.3.2.4 Kompasite

Agreganın kompasitesi agreganın özgül ağırlığının birim ağırlığına oranıdır.

Beton karışım agregasının ideal bölge içinde kalmasının istenmesinin en önemli nedenlerinden biri kompasitenin yüksek olmasıdır. Dolayısıyla kompasitesi yükselen betonun dayanımı da büyük değer olacaktır. Diğer taraftan kompasitesi yüksek agreganın kullanılması ile tanelerin arasını doldurmak için daha az çimento gerekecektir, böylece daha ekonomik beton üretilmiş olacaktır.

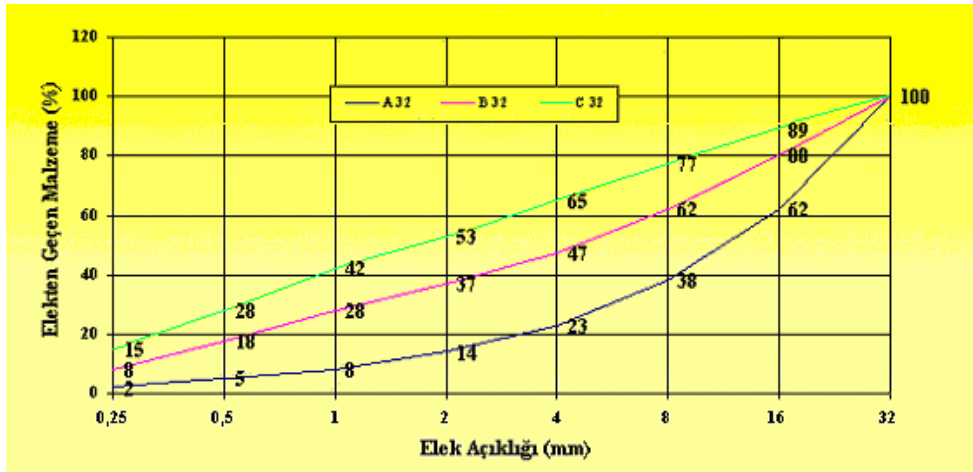
Boşluk; Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre kompasite 1'den küçük değer olacaktır. Bu durumda, yığın halindeki agreganın birim hacimdeki boşluk kompasiteyi 1'e tamamlayan değer olacaktır [1]

4.3.2.5 Granülometri (Tane dağılımı)

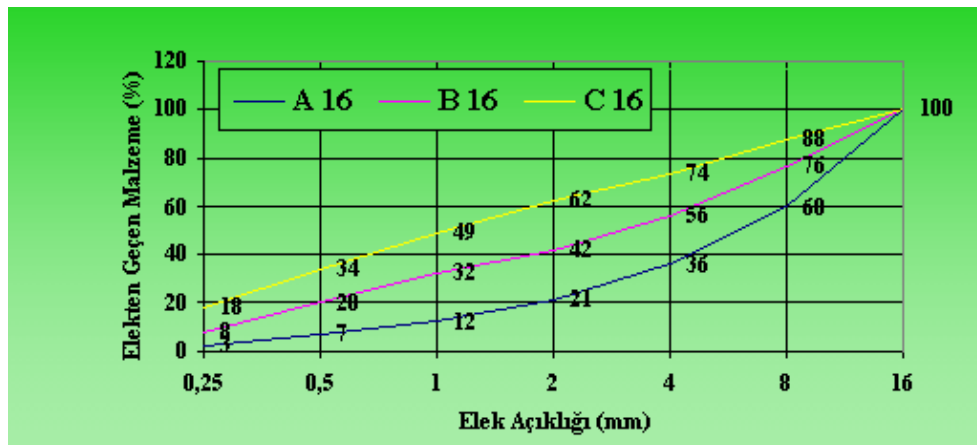
Bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye “granülometri eğrisi” denilir. Bu eğrinin belirlenmesi için elek analizi deneyi yapılır. Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi “ideal granülometri eğrileri” ile uyumlu veya “ideal bölge” içinde kalmalıdır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de referans granülometri eğrileri verilmektedir.

Bir agreganın granülometri eğrisi aşağıdaki özellikleri gösterir:

- Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
- Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgisi ile çakışması, o bölgede bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agrega yığımında o iki elek arasında kalan malzeme % sini verir.
- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane boyu tane yok demektir. Bu tür granülometriye sahip olan agregalara “kesikli” granülometrilik agregalar denir.



Şekil 4.3 Referans granülometri eğrisi (D_{max}=31,5mm) (TS 706 EN 12620, 2003)



Şekil 4.4 Referans granülometri eğrisi (D_{max}=16 mm) (TS 706 EN 12620, 2003)

4.3.2.6 İncelik Modülü

İncelik modülü, bir agreganın granülomerik bileşimi hakkında bilgi veren tek bir sayıdır. İncelik modülü, her bir eleğe karşı gelen % ordinatların, 100'den farklarının toplanması ve bu toplamın 100'e bölünmesi ile elde edilir. Agregataneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür. Aynı incelik modülüne sahip agregaların granülometri eğrileri farklı olabilir [1].

4.3.2.7 Maksimum tane büyüklüğü sınıfları

Beton içinde kullanılacak en iri agregatane büyüklüğünün kalıp en dar boyutu, döşeme derinliği, pas payı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde, TS 500 de belirtilen şekilde seçilmesi gerekir.

Çizelge 4.1 En büyük agregatane büyüklüğü sınıfı (TS 500, 2000)

En büyük agregatane büyüklüğü sınıfı	D _{max.} (mm)
D1 (1 No.lu)	12
D2 (2 No.lu)	22
D3 (3 No.lu)	32
D4 (4 No.lu)	64

4.3.3 Agreganın mekanik özellikleri

4.3.3.1 Tane Dayanımı

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. TS 706 EN 12620'ye göre agreganın suya doygun haldeki küp basınç dayanımı veya çapı yüksekliğine eşit silindirik basınç dayanımı en az 1000 kgf/cm² (98N/mm) ise mekanik özellik ile ilgili başka incelemeye gerek yoktur.

Tane dayanımı Basınç dayanımının 1000 kgf/cm² den küçük olması halinde ve kuşku durumlarında agregalarda aşağıda açıklanan aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılır. Eğer iri agregatane olarak çakıl kullanılıyor ise aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak karar verilir.

4.3.3.2 Aşınma dayanımı (Los Angeles deneyi)

Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, eksenini etrafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içinde belirli ağırlıkta ve sayıda çelik iyeler mevcuttur. Alet 100 ve 500 devir sonunda silindirden çıkarılan numune 1,6 mm'lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın %'si hesaplanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder (TS 699, 1987).

4.3.3.3 Dona Dayanıklılık

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisi ile yüzeyinin soyulmaması ve bir bütün olarak betonun parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir [1].

Üç farklı dona dayanıklılık deney yöntemi vardır;

- Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (suda donma)
- Dona dayanıklılığın orta şiddetteki don etkisi altında belirlenmesi (havada donma)
- Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle belirlenmesi (Sodyum Sülfat veya Magnezyum Sülfat Deneyi) [1].

4.3.4 Agregada içindeki zararlı maddeler

Agreganın içinde betona zarar veren maddeleri belirlenmesi için aşağıdaki deneyler yapılır.

- İnce maddeler (Yıkabilir maddeler)
- Organik maddeler
- Hafif maddeler
- Alkali-agrega reaksiyonuna sebep olan maddeler [1]

4.4 Özel Agregalar

Bazı haller üretilen betonun, normal özellikleri dışında bazı özelliklere, örneğin yüksek sıcaklığa dayanması veya X veya γ ışınlarını geçirmemesi gibi, sahip olması istenmektedir. Bu değişik özelliklere sahip bir beton ancak özel agregaların kullanılması ile elde edilebilmektedir (Postacıoğlu, 1975).

4.4.1 Ağır agregalar

Atom reaktörlerinde ve benzeri yerlerde meydana gelen ve organları tahrip eden γ ve X

ışınlarından korumak için birim ağırlığı 3,2 kg/litre'den büyük olan betonun üretimine ihtiyaç vardır. Bu özellikle bu betonda ancak ağır agregaların kullanılması ile elde edilebilir. Bu maksatla kullanılan belli başlı agregaların cinsleri, bileşimleri ve bunların özgül ağırlıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir (Postacıoğlu,1975).

Çizelge 4.2 Ağır agregaların özgül ağırlıkları (Postacıoğlu, 1975)

Agrega	Özgül Ağırlığı (kg/dm ³)
Barit (BaSO ₄)	4.2
Magnetit (Fe ₂ O ₄)	4.6
Limonit (2Fe ₂ O ₃ H ₂ O)	3.7

4.4.2 Yüksek sıcaklığa dayanıklı agregalar

Bazı fabrikalarda strüktür malzemesi olarak kullanılan beton devamlı olarak yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Böyle bir durumda betonun çatlamaması ve sahip olduğu özellikleri kaybetmemesi gereklidir. Betonun bu çeşit bir özelliğe sahip olması geniş ölçüde üretiminde kullanılan agreganın durumuna bağlıdır.

Betonun 300°C'ye kadar bir sıcaklık içinde kalacak ise bu önceki paragraflarda belirtilen özelliklere sahip agregaların kullanılması kabildir. Sıcaklık derecesi 300°-800° dereceleri arasında pişirilmiş kil agreganın yerini almalıdır. Sıcaklık 1300°C'yi aştığı zaman, sıcaklığa dayanıklılığı bilinen şu agregaları kullanmak zorunluluğu vardır.

- Siliminat (Al₂SiO₅)
- Koridon (Al₂O₃)
- Kromit (FeCr₂O₄)

Bu durumda yüksek sıcaklığa dayanıklı bir bağlayıcı madde olan alüminli çimento kullanılarak beton üretilmelidir (Postacıoğlu, 1975).

4.4.3 Hafif agregalar

Hafif agregalar ile daha ziyade içinde fazla boşluk bulunması sebebiyle birim ağırlığı düşük olan agregalar anlaşılmaktadır. Bu cins agregaların kullanılması da gayesi kolaylıkla anlaşılacağı gibi hafif beton elde etmektir. Hafif betonu yapılarda kullanılmasının taşıyıcı elemanlara gelen yükleri azaltmak, termik iletkenlik katsayısının küçük bir değer almasını

sağlamak ile ısı kaybını önlemesi gibi gayet önemli faydaları vardır.

Beton üretiminde kullanılan hafif mineral (organik kökene sahip olmayan) agreganın doğal ve suni (yapay) olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Gayet değişik ve ilginç özelliklere sahip bu agregalar hakkında burada son derece kısa bilgiler verilmekle yetinilmiştir (Postacıoğlu, 1975).

4.4.3.1 Doğal hafif agregalar

Doğal hafif agregaların içinde en önemlisi volkanik bir kökene sahip olan süngertaşdır. Bu taşın çok fazla boşluklu olmasında dolayı bunların parçalanmasından meydana gelen agregaların düşük bir özgül ağırlığı (1,6 kg/litre dolayında) düşük bir birim ağırlığı (0,75 kg/litre dolayında) vardır. Bu agregada tanelerinin boyutları da genel olarak 20 mm'den küçük bulunmaktadır. bu sünger taşı ile üretilen betonların birim ağırlıkları 0,55-0,80 kg/litre arasında değişir. Genel olarak birim ağırlığın azalması betonun mukavemetinin önemli derecede düşmesine sebep olur. Bununla beraber bazı terdirlere alınarak, bu şekilde üretilen hafif betonların mukavemetindeki düşmeyi azaltmak ve bunları stüktür malzemesi olarak kullanmak mümkündür.

Türkiye'de bims olarak bilinen bu agregaya Nevşehir, Kayseri ve Van civarında bulunmaktadır. Nevşehir bimsi yapılan betonların birim ağırlığı 0,83 kg/litre değerine kadar inebilmiştir. Bileşimin uygun seçilmesi ve gerekli miktarda su kullanarak bu agregaya üretilen betonun 28 günlük basınç mukavemetinin 112 kgf/cm²'ye çıkartmak kabil olmuştur.

Hafif doğal agregaya olarak kullanılan diğer bir malzeme tüfleridir. Kökeni yine volkanik olan bu tüfler gayet değişik şekillerde doğada bulunmaktadır. bunların özgül ağırlıkları 1,8 kg/litre ve birim ağırlıkları 1,4 kg/litre civarında olup bu malzeme kullanılarak üretilen betonun en düşük birim ağırlığı 1,37 kg/litre ve 28 günlük basınç mukavemetinin en büyük değeri 236 kgf/cm²'dir. Türkiye tüf kaynakları bakımından da zengin bir durumdadır.

Esası volkan atıkları olan puzolanlar da önemli bir diğer doğal hafif agregadır. Bu agregayı teşkil eden taneler 30 mm ile 0,2 mm arasında yer almaktadır. Birim ağırlığı takriben 0,75 kg/litre civarında bulunan agregayı kullanarak yapılan betonların birim ağırlığı 0,8-1,2 kg/litre arasında değişmektedir. Bu agreganın içinde fazla miktarda bulunan aktif aktif silis çimentonun hidrasyonu sonunda açığa çıkan kireçle birleşerek puzolonik olayın vukuuna sebep olur. Daha ziyade ince tanelerin meydana getirdiği bu olay bu agregaya ile üretilen betonların mukavemetini artırmakta olduğundan gayet faydalıdır (Postacıoğlu, 1975).

4.4.3.2 Yapay (suni) hafif agregalar

Yapay (suni) hafif agregaları da iki gruba ayırmak mümkündür. Birisi bazı özel yapılı doğal malzemeyi termik bir işleme maruz bırakarak genişlemesini sağlamak suretiyle meydana getiren agregalar. Bunların içinde perlit, vermikulit ve genişletilmiş kil veya şist yer almaktadır. Diğerleri maşfer (maden kömürünün yanmasından geri kalan (bakie) artık, tuğla ve kiremit kırığı, letiye, yapı yıkıntısı gibi kalıntı malzemelerdir (Postacıoğlu, 1975).

5. PELETLEME İŞLEMİ

Peletleme, ince boyutlu demir cevheri veya genellikle konsantrelerin, uygun bağlayıcı ve gerekli su katkısı ile özel cihazlarda, belirli boyutlarda yaş küreler haline getirilmesi, ardından dayanıklılık kazandırmak amacıyla 1000-1300 °C sıcaklıklarda pişirilmesi işlemini kapsayan bir aglomerasyon yöntemidir.

Peletleme işlemi yapay agrega üretiminde dünyada yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Fakat inşaat sektöründe kullanımı yaygın değildir. İstatistiksel verilere göre 1985 yılında metalürjik ürün olarak toplam 435 milyon ton pelet üretilmiş ve buna karşı 1989 yılında inşaat sektöründe aglomerasyon ürünü olarak sadece 1.2 milyon ton hafif agrega üretilmiştir. İnşaat sektöründe uçucu külden yapılan hafif agrega kullanımının düşük olmasının sebebi aglomerasyon prosesinin maliyetinin yüksek olması, bunu yerine doğal kaynakların kullanılması ve malzemelerin dayanımlı olması için aglomerasyon prosesinde enerji gereksiminin (sinterleme vb.) olmasıdır (Baykal ve Döven, 2000).

Uçucu kül peleti üreten ülkelerin başında Bulgaristan, Çin, Kolombiya, Almanya, İtalya, Japonya, Hollanda, İngiltere, Amerika ve Rusya gelmektedir.

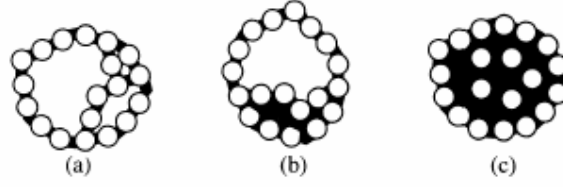
5.1 Peletleme Teorisi

Peletleme teorisi 1940 yılında geliştirilmiştir. Peletleme prosesini etkileyen unsurlar şunlardır (Srb ve Ruzickova, 1988);

- Peletlenmiş malzemenin mühendislik özellikleri,
- Ortamdaki nem miktarı,
- Diskin dönme hızı ve çalışma açısı gibi mekanik işlem parametreleridir.

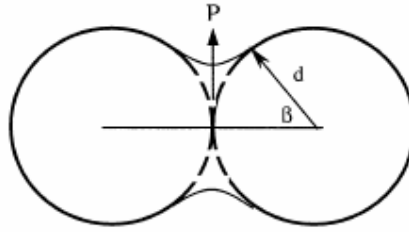
Bu parametreler ile analiz yapılarak mekanik ve kinetik kanun yardımı ile peletleme prosesinin teorisi çıkarılmıştır (Srb ve Ruzickova, 1988).

Şekil 5.1a'da görüldüğü gibi ince taneli malzemelere nem verildiğinde bu tanelerin yüzeyinde ince sıvı tabaka oluşmakta ve tanecikler birbirlerinin yanına gelerek köprüye benzeyen şekiller ortaya çıkmaktadır. Bu tanecikler bir diskin içinde döndürüldüğü taktirde, tanelerin yapısı, yer çekim ve merkezkaç kuvveti ile ve arasındaki bağ yardımı ile küresel forma gelmektedir (Şekil 5.1b ve 5.1c).



Şekil 5.1 Pelet şekillenme mekanizması

Peletin dayanımı, peletleme işleminin parametrelerine ve pelet üzerine uygulanan basıncın büyüklüğüne bağlıdır. Üstelik kılcal kuvvetler (P , sıvı kolonun yüksekliği tarafından uygulanan yüzey gerilim) peletlerin birbiriyle tutulmasında büyük rol oynamaktadır. Kılcal kuvvet tanecik çapının (D) ve tanecik ve sıvı bağlayıcı arasındaki menisküs açının (β) fonksiyonudur. Yapının bağlanması peletler üzerine uygulanan mekaniksel ve kılcal kuvvetler ile doğru orantılıdır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Tanecikler arasındaki su köprüsünün yarattığı yüzey gerilim kuvvetinin şematik görüntüsü

Peletleme prosesinde, taneler arası su ile dolma derecesine bağlı olarak 3 aşama mevcuttur;

- 1) Pendular durum, tanelerin sadece temas eden noktasında suyun bulunması,
- 2) Füniküler durum, pendular durumdaki koşullarına ilave olarak bazı gözeneklerin tamamen su ile dolu olması,
- 3) Kılcal durum, taneler arası tamamen su ile dolu olmakta ve pelet üzerinde su tabakası bulunmamaktadır. Pelet şeklini alması için kılcal durum en uygun bir durumdur ve taneler arasındaki bağlayıcı tarafından uygulanan en yüksek çekim kuvveti mümkündür (Srb ve Ruzickova, 1988).

H. Rumpf aşağıdaki varsayım ve sadeleştirmeyi yaparak tanecikler üzerinde harcanan kılcal ve kohezyon kuvvetleri formüle etmiş (Srb ve Ruzickova, 1988);

- 1) Tüm taneler küresel ve aynı çaptadırlar,
- 2) Bağlanma modeli kürenin her tarafında aynıdır,
- 3) Küredeki tanecikler eşit olarak dağılırlar,
- 4) Bağlanma kuvvetinin etkisi ortalama değer civarında değişir.

Kılcal durumdaki kohezyon kuvveti, yukarıda söylenen varsayımlarına göre (5.1) eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$P_c = 8 * \frac{(1 - \varepsilon) * \sigma}{\varepsilon * D} \quad (5.1)$$

Burada;

σ : Sıvının yüzey gerilimi,

P_c : Kılcal durumdaki yapıya uygulanan kohezyon kuvveti,

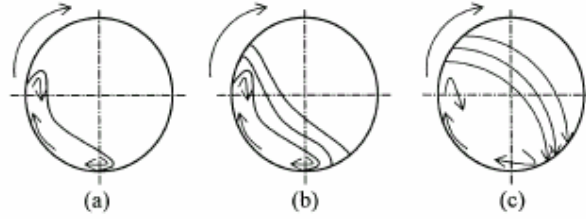
ε : Kürenin gözenekliliği,

D : Küresel taneciklerin çapıdır (Srb ve Ruzickova, 1988).

Yaş pelet dayanımı, işlem sırasında taneciklere uygulanan bağlanma kuvvetinin büyüklüğü ve birbirine bağlanma etkisi olmak üzere iki faktörden etkilenmektedir. Yaş peletin dayanımı bu faktörlerden meydana gelen dayanımın üst üste gelmesi ile eşdeğer olmaktadır. Bağlanma kuvvetinin büyüklüğü yapının boşluk oranı ile belirlenmekte, oysa birbirine bağlanma etkisi ile meydana gelen kuvvet taneciklerin yüzey sertlik derecesinin fonksiyonu olmaktadır. Bununla birlikte yaş pelet dayanımı, birbirini tutması (işlem sırasında şeklini almak) ile eşit olarak varsayılabilir.

Pelet boyutunun büyüme hızı, işlem sırasında bağlayıcının beslenme hızının ayarlanması ile kontrol edilebilmektedir. İşlemden kullanılan bağlayıcı miktarı, istenilen boşluk oranı veya son ürünün en az boşluk oranına, işlemin verimliliğe uyularak önceden belirlenmeli ve bağlayıcı miktarı son ürünün boşluk oranını aşmamalıdır. Bağlayıcının bu miktarı, optimum durumunu yani capillary durumunu temsil etmektedir. Yukarıda ve aşağıda her iki durumda optimum bağlayıcı miktarı kılcal kuvvetin yok olmasına sebep olmakta, ve bundan sonra üretilen peletlerin mühendislik performansında ve boyutunda büyük değişikliğe sebep olmaktadır. Belli ki, tutulan nem içeriği, son ürünün en iyi performanstaki optimum içeriğinden ya küçük ya da eşit olmaktadır (Srb ve Ruzickova, 1988).

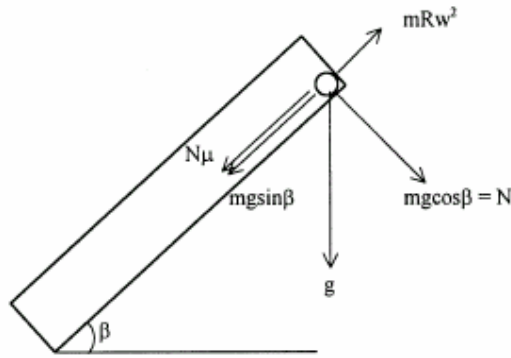
Mekaniksel parametreler, işlem üzerine etkilendiği gibi, disk dönme hızını peletleme diskindeki peletlerin hareket değişimlerine uyararak tanımlanmalıdır. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi dönme hızının düşük olması durumunda peletlerin hareketini yer çekim kuvveti etkilemekte ve dönme hızının yüksek olması durumunda ise peletlerin hareketini merkezkaç kuvveti etkilemektedir. Eğer bu kuvvetlerden birisi baskın olursa ya peletler dağınık bir yapıda şekillenmekte ya da şekillenme tamamen durdurulmaktadır.



Şekil 5.3 Değişik hızlarda dönen peletleme diskindeki malzeme hareketleri

Özellikle, bu merkezkaç kuvvet için geçerli ise nemden dolayı adherence (bağlılık) yoluyla bütün parçacıklar diskin duvarlara yapışmaktadır (Srb ve Ruzickova, 1988).

En uygun işlemin belirlenmesini etkileyen diğer faktörler ise; peletleme diskin dönme hızının yer çekim kuvvetinin veya merkezkaç kuvvetinin baskın olmasından kaçınması, peletlenme disk düzeyi normal düzey arasındaki açı ve diskin çapıdır. Şekil 5.4’de peletleme işlemi sırasında diskin yarıçapında (R) tek pelet üzerine etkileyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Peletleme işlemi sırasında tek pelet üzerine etkileyen kuvvetler

Bu parametreler üzerindeki teorik çalışmalar ‘dakikadaki kritik dönmeler’ olarak aşağıdaki eşitlikler yardımı ile ifade edilmektedir. Kritik durum, disk düzeneği üzerinde yer çekim ve merkezkaç kuvvetlerinin dengede olan bir halidir.

$$m * g * \sin \beta + \mu * m * g * \cos \beta = m * R * w^2 \quad (5.2)$$

Burada;

m: Tek peletin ağırlığı,

g: Yer çekim ivmesi,

β : Disk düzeneğinin normal düzeneğine göre açısı,

μ : Disk ve pelet arasındaki sürtünme katsayısı,

R: Diskin yarıçapı,

w: Radyan/t²'deki merkezkaç kuvvetinin katsayısıdır.

Bununla birlikte merkezkaç ivmesi ve yer çekim kuvvetleri, pelet tarafından uygulanan normal kuvvet sıfıra yakın olduğundan (5.2) eşitliği aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir.

$$m * g * \sin \beta = m * R w^2 \quad (5.3)$$

Dakikadaki kritik dönmeler (5.4) eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$n_{cr} = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \sin \alpha \quad (5.4)$$

Burada;

n_{cr} : Dakikadaki kritik dönmeler (rpm),

D: Disk çapı (m),

α : Diskin eğilim açısı (°),

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Deneysel Programı

Bu çalışmada farklı termik santrallerden atık olarak çevreye bırakılan uçucu küllerden beton agrega üretilmesi ve hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması asıl amacı oluşturmaktadır.

Deneysel çalışmada asıl amaca ulaşmak için yapılan işlem iki aşamada gerçekleşmiştir.

İlk aşama Türkiye'nin farklı yörelerdeki 6 termik santralden getirilen uçucu küllerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi, uçucu kül numunelerinden farklı boyutlarda (6 ile 13 cm çaplarında) bentonit katkılı 13 farklı peletlerin üretilmesi ve bu peletler üzerine dayanım testlerinin yapılmasıdır.

İkinci aşama ise, üretilen 6 farklı pelet üzerine agrega deneylerinin yapılması ve agregaların hafif beton üretimde kullanılması ile hafif beton dayanım özelliklerinin tespit edilmesidir.

6.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Aletlerin Tanıtılması

6.2.1 Taramalı elektron mikroskobu cihazı

Uçucu kül ve pelet numunelerinin mikroyapılarının incelenmesinde Jeol marka Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı kullanılmıştır.

6.2.2 X-ışını difraktometre cihazı

Uçucu kül ve pelet numunelerinin mineralojik yapılarının belirlenmesinde Philips Panalytical X'Pert Pro marka X-ışını difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.1 XRD cihazı

6.2.3 X-ışını flüoresans cihazı

Uçucu kül ve pelet numunelerinin kimyasal kompozisyonun tayininde Philips Panalytical Minipal-4 marka X-ışını flüoresans (XRF) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.2 XRF cihazı

6.2.4 Etüv

Malzemelerin kurutulması için, Binder marka, 250°C'ye kadar ısıtan bir etüv kullanılmıştır.



Şekil 6.3 Etüv

6.2.5 Kül fırını

Peletlerin pişirilmesi için, Protherm Furnaces marka, 1100°C'ye kadar ısıtan bir kül fırını kullanılmıştır.



Şekil 6.4 Kül fırını

6.2.6 Peletleme diski

Pelet üretiminde Apex marka, laboratuvar tipi, 40 cm çaplı peletleme diski kullanılmıştır. Peletleme diski; disk, motor, hız kontrol ünitesi ve titreşimli besleme ünitesinden oluşmaktadır.



Şekil 6.5 Peletleme diski

6.2.7 Mikser

Beton denemelerinde 45 lt kapasiteli mikser kullanılmıştır.



şekil 6.6 Mikser

6.2.8 Çökme hunisi

Taze beton çökmesini bulmak için, taban çapı 200 mm ve üst yüzeyi 100 mm çapında, yüksekliği ise 300 mm olan, saçtan yapılmış kekik huni ve 16 mm çapında ucu yuvarlatılmış elik çubuk kullanılmıştır.



şekil 6.7 çökme hunisi

6.2.9 Numune kalıpları

Beton numunelerini almak için, 7x7x7 cm'lik küp demir döküm kalıplar ve 20 cm yüksekliğinde ve 10 cm çapta olan silindir kalıplar kullanılmıştır.



şekil 6.8 Numune kalıpları

6.2.10 Basınç aleti

Beton denemelerinde, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı test için ELE marka, modeli AUTOTEST 3000 olan, 3000 kN'a çıkabilen basınç aleti kullanılmıştır.



Şekil 6.9 Basınç aleti

6.3 Kullanılan Malzemeler ve Özellikler

6.3.1 Bentonit

Bentonit başlangıçta Wyoming'de (USA) Ford-Benton yakınlarında bulunmuştur. Koloidal özellik gösteren, plastisitesi yüksek olan bir kil çeşididir. Amerika'da Bentonit adı altında tanınmıştır. Daha sonra Fransa'nın Montmorillon bölgesinde de aynı kil bulunduğundan bu kil mineraline Montmorillonit adı verilmiştir. Bentonitle birlikte kuvars, mika, feldspat, pirit ve diğer bazı mineraller bulunur. Kil mineralinin bir çeşidi olan bentonitin genel kimyasal formülü; $(\text{Na,Ca}) (\text{Al,Mg})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 (\text{OH})_6 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ 'dur [8].

Kimyasal özelliklerine göre başlıca iki gruba ayrılır:

Sodyum bentoniti: Genelde ağırlıklı olarak sondaj bentoniti ve döküm bentoniti şeklinde işlenir ve kullanılır.

Kalsiyum bentoniti: Özellikle ağartma toprağı olarak işlenir ve kullanılır.

Kalsiyum bentoniti su ile temasta kendi hacminin 2 – 3 katı kadar şişer ancak bu oran sodyum bentonitinde 8 – 10 kata kadar ulaşabilmektedir. Rengi beyaz, gri, sarı, pembe, yeşil, olabilir. Yoğunluğu $2,6 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. İyonlaşma kapasitesi yüksektir [8].

Bir kil çeşidi olan bentonit birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. Başlıca kullanıldığı alanlar:

- Döküm kumu ve paletleme
- Sondajlarda
- Gıda sanayi
- Berraklaştırma işleminde(şarap, meyva suyu, bira)
- Ağartma işleminde (yağ sektöründe)
- İlaç sanayi
- Seramik sanayi
- Kağıt sanayi
- Lastik sanayi
- Gübre sanayi
- Yangın söndürücülerde
- Boya sanayi
- Katalizör olarak kullanılır [8].

Agrega üretimi için bağlayıcı madde olarak Bensan A.Ş.'den temin edilen Sodyum-bentoniti ve Kalsiyum-bentoniti kullanılmıştır.

Denemelerde kullanılan bentonitlerin kimyasal özellikleri Çizelge 6.1'de ve makroskobik görüntüsü ise Şekil 6.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Sodyum ve Kalsiyum bentonitinin kimyasal özellikleri

İsim	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Tl ₂ O (%)
Sodyum-bentoniti	70,18	18	3,6	2,3	3,4	1,9	0,6	0,02
Kalsiyum-bentoniti	69,77	17	3,8	3,3	4,2	0,8	1,1	0,03



Şekil 6.10 Bentonitin makroskobik görüntüsü

Jeolojik araştırmalar Türkiye'nin zengin bentonit rezervlerine sahip olduğunu göstermektedir. Çok yaygın kullanımı olan endüstriyel ham maddenin ülke düzeyinde yıllık üretiminin yaklaşık 500 000 ton dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye bentonit rezervleri Çizelge 6.2'de belirtilmiştir (Erdoğan, 2006).

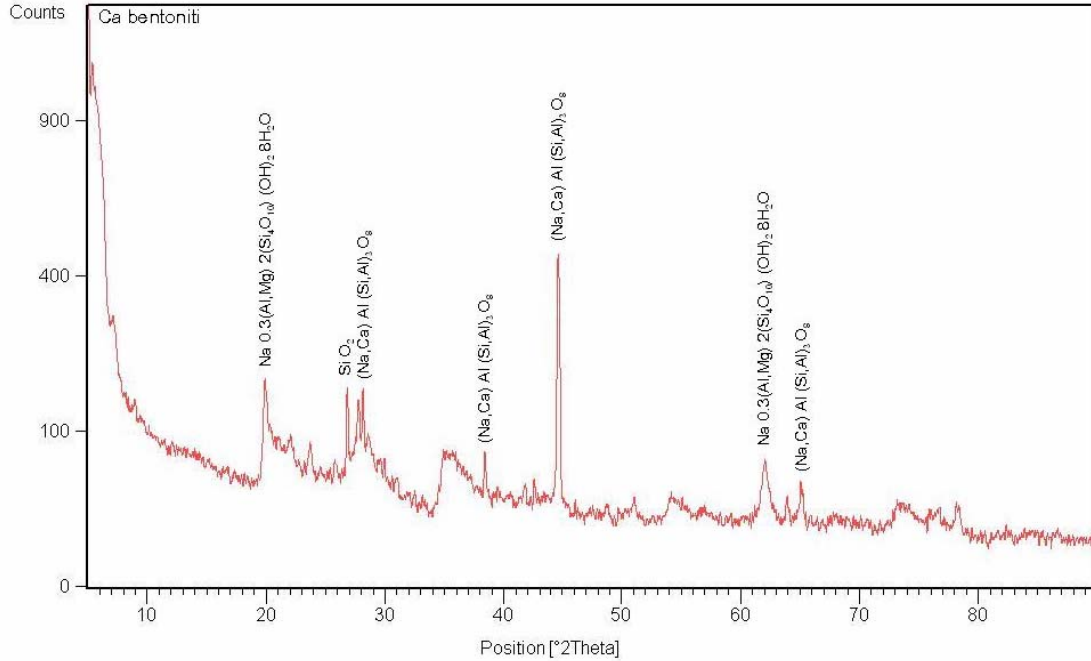
Çizelge 6.2 Türkiye bentonit rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (Erdoğan, 2006)

Yer	Jeolojik Rezerv x1000 ton*	Görünür Rezerv X1000 ton
Çankırı	5 000	-
Ankara	75 000	18 000
Tokat	1 160	180
İstanbul	40 000	19 000

*Jeolojik rezerv = Görünür + Muhtemel + Mümkün rezerv

6.3.1.1 Bentonitin X-ışını difraktometresinde incelenmesi

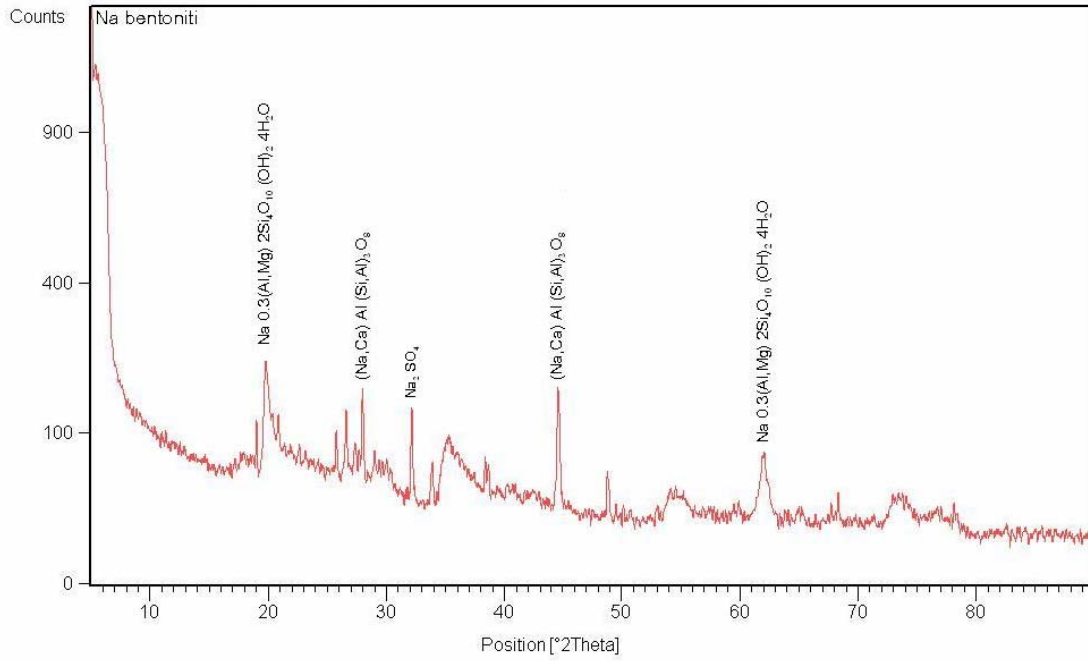
Bentonit numunelerinin mineralojik kompozisyonları X-ışını difraktometre (XRD) cihazı ile incelenmiştir. Numuneler XRD analizi yapılmadan önce $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 2 saat bekletilerek nemi giderilmiş ve XRD çekimleri yapılmıştır. Bentonit numunelerinin XRD sonuçları Şekil 6.11, Şekil 6.12, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Ca-bentonitinin XRD sonucu

Çizelge 6.3 Ca bentonitinin mineralojik yapıların isimleri

Bileşğin ismi	Kimyasal formülü
Montmorillonite-22A	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8$
Quartz low, syn	Si O_2



Şekil 6.12 Na-bentonitinin XRD sonucu

Çizelge 6.4 Na bentonitinin mineralojik yapıların isimleri

Bileşğin ismi	Kimyasal formülü
Montmorillonite-15A	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8$
Thenardite, syn	Na_2SO_4

6.3.2 Uçucu Kül

Çalışmada endüstriyel katı atık olarak; Türkiye'deki Çayırhan (Ankara), Orhaneli (Bursa), Seyitömer (Kütahya), Çatalağzı (Zonguldak), İskenderun Sugözü (Adana) ve Tunçbilek (Kütahya), termik santrallerinden getirilen uçucu küller kullanılmıştır.

Denemelerde kullanılan uçucu kül numunelerinin kimyasal bileşenleri X-ışını difraktometre cihazında analiz edilmiştir. Çizelge 6.5 ile Çizelge 6.10 arasında uçucu küllerin kimyasal bileşenleri % olarak verilmiştir.

Farklı termik santrallerden alınan uçucu küllerin, yaklaşık 20 ay boyunca kimyasal özellikleri yapılan analizlerle incelenmiştir. Numunelerin geniş bir zaman diliminde toplanmasıyla özelliklerinin daha iyi yansıtılacağı düşünülmüştür. TS EN 196-2 (Çimento Deney Metotları-Çimentonun Kimyasal Analizi) standardına göre, kükürt trioksit tayini, TS EN 451-1 (Uçucu Kül Deney Metodu, Serbest Kalsiyum Oksit Tayini) standardına göre, serbest kalsiyum oksit tayini, TS EN 196-21 (Çimento Deney Metotları-Çimentoda Klorür, Karbon Dioksit ve Alkali Muhtevası Tayini) standardına göre, klorür tayini ve TS EN 450 (Uçucu Kül-Betonda Kullanılan Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol) standardına göre, kızdırma kaybı tayini yapılmıştır. Deneylerde kullanılan uçucu küllerin tüm kimyasal analiz sonuçları her ay olmak üzere Ek 1'de Çizelge Ek 1.1 ile Çizelge Ek 1.21 arasında gösterilmiştir. Ayrıca Çayırhan, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve İskenderun Sugözü Termik Santrallerine ait uçucu küllerin 2004 ve 2005 yılı kimyasal analiz sonuçlarının ortalamaları alınarak, Çizelge 6.11 ve 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.5 Çayırhan termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
50.49	14.08	8.09	10.58	2.39	2.04	0.46	1.00

Çizelge 6.6 Orhaneli termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
49.97	19.83	9.87	8.72	4.00	1.25	0.53	1.08

Çizelge 6.7 Seyitömer termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
51.76	23.29	11.83	3.65	3.16	2.44	0.61	1.50

Çizelge 6.8 Çatalağzı termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
52.11	23.54	5.89	1.50	2.38	4.44	0.89	0.82

Çizelge 6.9 İskenderun Sugözü termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
52.25	21.51	5.77	3.22	1.47	1.49	0.92	0.85

Çizelge 6.10 Tunçbilek termik santralinden gelen uçucu külün kimyasal bileşenleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
54.16	24.34	9.70	3.09	3.54	1.20	0.50	1.33

Çizelge 6.11 Uçucu küllerin 2004 yılı ortalama kimyasal analiz değerleri

Termik santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çayırhan	0.292	0.023	1.191	1.507
Orhaneli	0.574	0.089	0.549	2.592
Seyitömer	1.750	0.014	0.261	1.215
Çatalağzı	1.186	0.020	0.304	0.443
İskenderun Sugözü	3.358	0.019	0.368	0.700
Tunçbilek	0.908	0.013	0.131	0.665
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge 6.12 Uçucu küllerin 2005 yılı ortalama kimyasal analiz değerleri

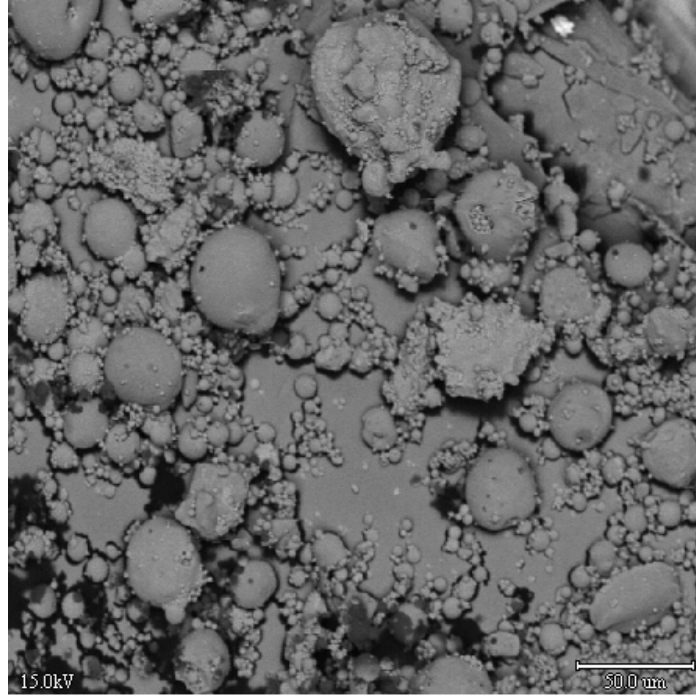
Termik santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çayırhan	1.010	0.024	0.835	1.572
Orhaneli	0.808	0.008	1.198	0.383
Seyitömer	1.427	0.022	0.373	1.325
Çatalağzı	1.026	0.017	0.219	0.435
İskenderun Sugözü	2.347	0.017	0.729	0.775
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

6.3.2.1 Uçucu kül numunelerinin taramalı elektron mikroskopunda incelenmesi

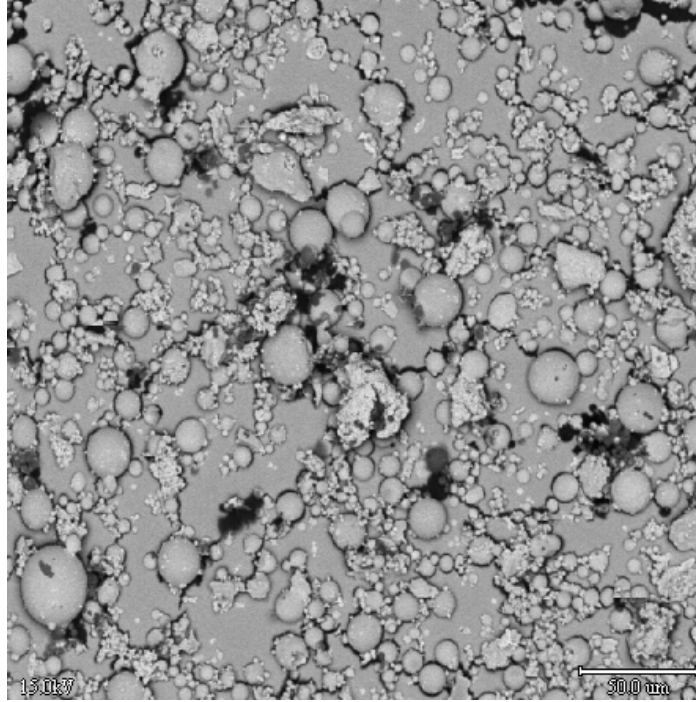
Ayırım gücü olarak tanımlanan, iki noktayı birbirinden ayırt edebilme yeteneği, çeşitli optik sistemler için farklıdır. İnsan gözünün ayırım gücü, aralarında 2,5 cm mesafe olan iki noktayı 100 metreden ayrı ayrı görmeye yetecek kadardır. Dolayısıyla insan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarını merceklerle değiştirerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan cihazlar geliştirilmiştir. Elektron-optik prensipler çerçevesinde tasarlanmış tarama elektron mikroskop (Scanning Elektron Microscope-SEM) bu amaca hizmet eden cihazlardan biridir.

Taramalı elektron mikroskobu 4 bileşenden oluşur. Bunlar sırasıyla; kolon, numune odası, vakum pompa sistemi ve elektronik kontrol ve görüntü sistemidir.

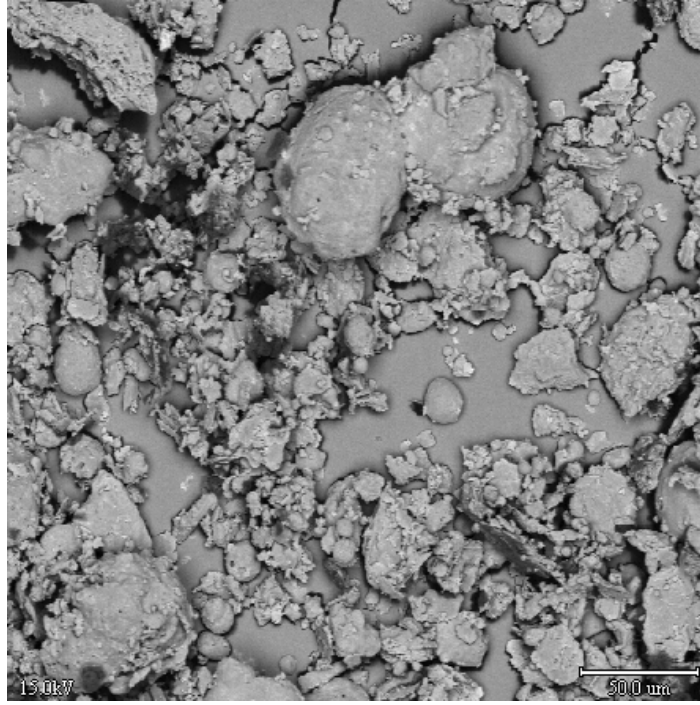
Numune odasına numune yerleştirildikten sonra vakuma alınır. Daha sonra kolonun üst kısmında bulunan tungsten flamanı uygulanan voltaj farkının etkisi ile elektron üretimi başlar. Bu elektronlar kondansör objektif lenslerden geçerek bir demet halinde numune odasında bulunan numunenin yüzeyine çarparlar ve bu çarpma neticesinde numune ile etkileşime girerler. Bu elektronları şiddeti uygulanan voltaj farkının bir fonksiyonudur. Demet elektronları eğer enerjileri yeterli ise numune atomlarının yörüngesinde yer alan elektronlara çarparak bunları yerinden çıkarabilir. Çekirdeklere olan mesafesi neden ile en dış yörünge elektronlarını yerlerinden çıkarmak iç yörünge elektronlarına oranla daha kolaydır. Bu tür etkileşimler sonucu ortaya çıkan elektronlar çarpışmanın elastik olup olmamasına göre sınıflandırılmakta olup elastik çarpışmalar sonucunda serbest hale geçen elektronlara “birincil elektronlar” denirken elastik olmayan çarpışmalar sonucunda ortaya çıkan elektronlara ise “ikincil elektronlar” denir. Elektron mikroskobunun çalışma prensibi, uçucu kül numunelerini düşük vakum altında görüntülemek ve numunenin üzerine elektron püskürtme ile görüntü oluşturmasıyla açıklanabilir. Vakuma alınmasını nedeni havadaki atomlarla etkileşimin ve saçılmasının önlenmesidir. Numuneler alt girişe yerleştirildikten sonra filament kafaya yerleştirilerek mikroskop çalıştırılır. Göstergeden vakumun oluşması takip edilir. Ardından elektronlar püskürtülerek birinci monitörde ayarlamalarla numunelerin görüntüleri yansıtılır. Gerekli ayarlamalar ile istenilen görüntüler elde edildikten sonra ikinci monitöre görüntü aktarılır ve büyütme işlemleri burada gerçekleştirilir. Uçucu kül numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18’da verilmiştir.



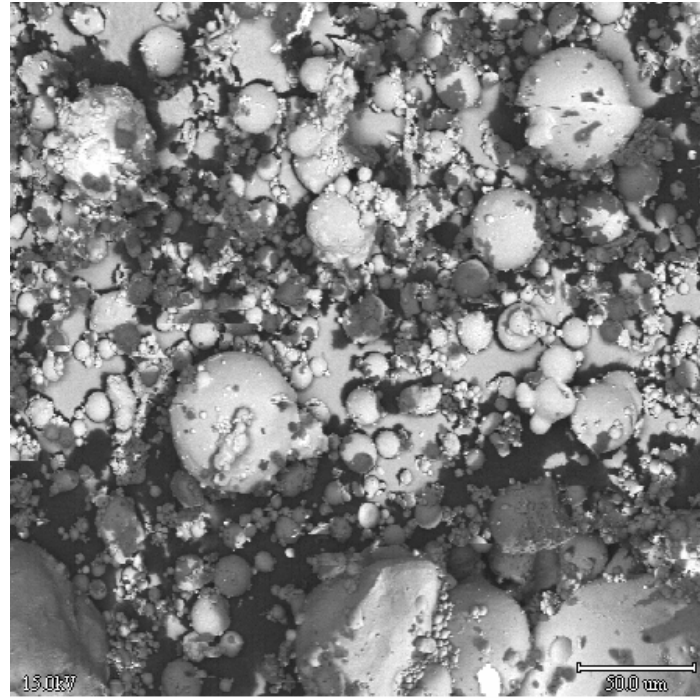
Şekil 6.13 X350 - Çayırhan termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü



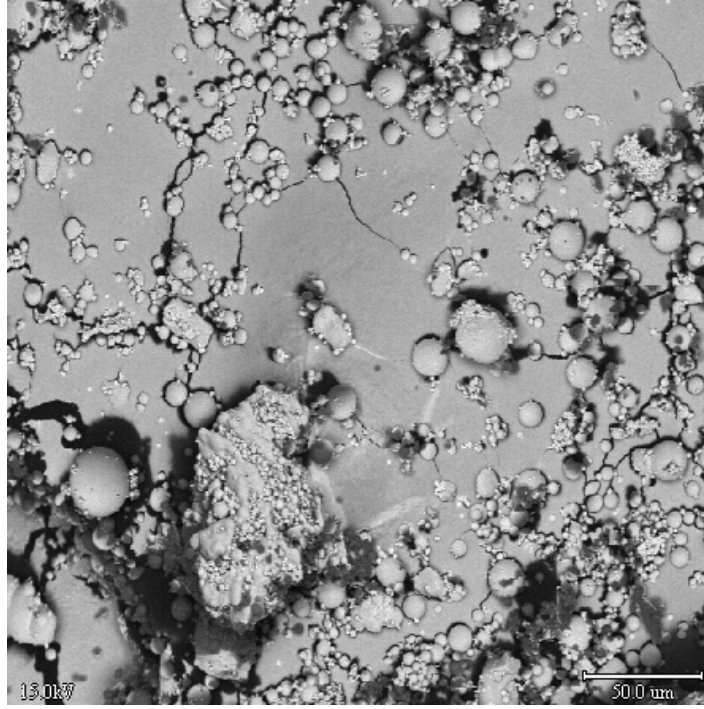
Şekil 6.14 X350 - Orhaneli termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü



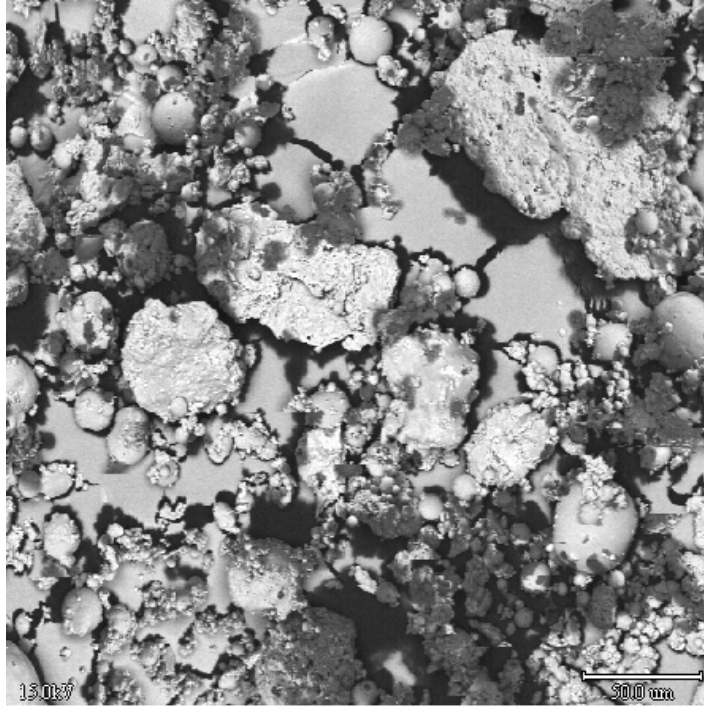
Şekil 6.15 X350 - Seyitömer termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü



Şekil 6.16 X350 - Çatalağzı termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü



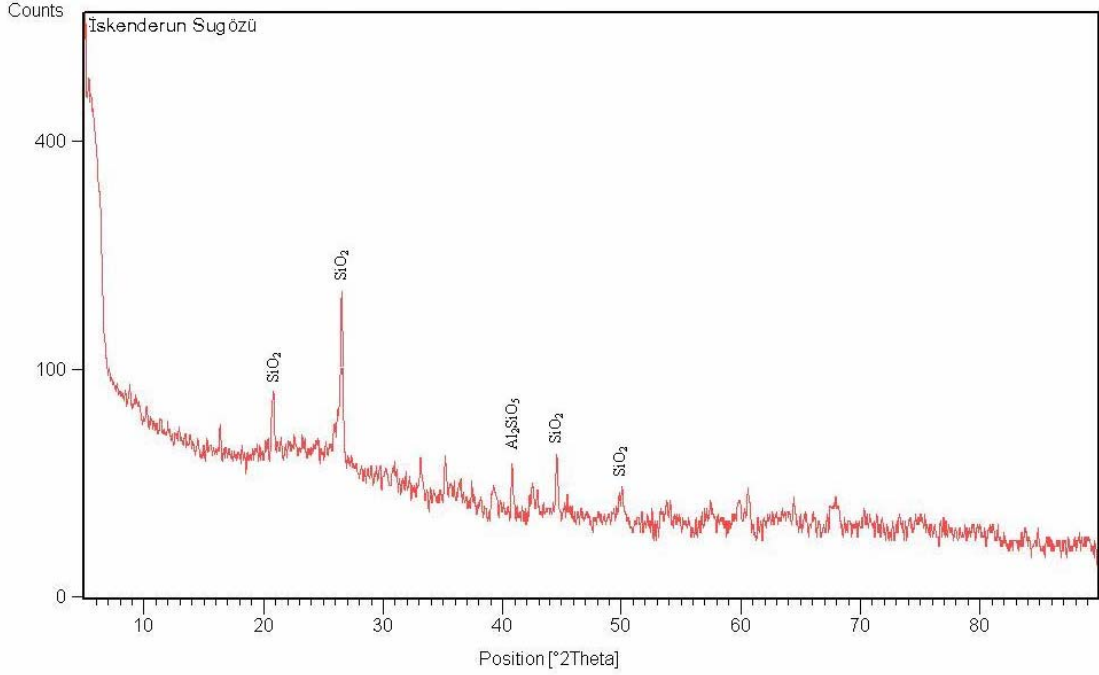
Şekil 6.17 X350 - İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü



Şekil 6.18 X350 - Tunçbilek termik santrali uçucu külü SEM görüntüsü

6.3.2.2 Uçucu kül numunelerinin X-ışını difraktometresinde incelenmesi

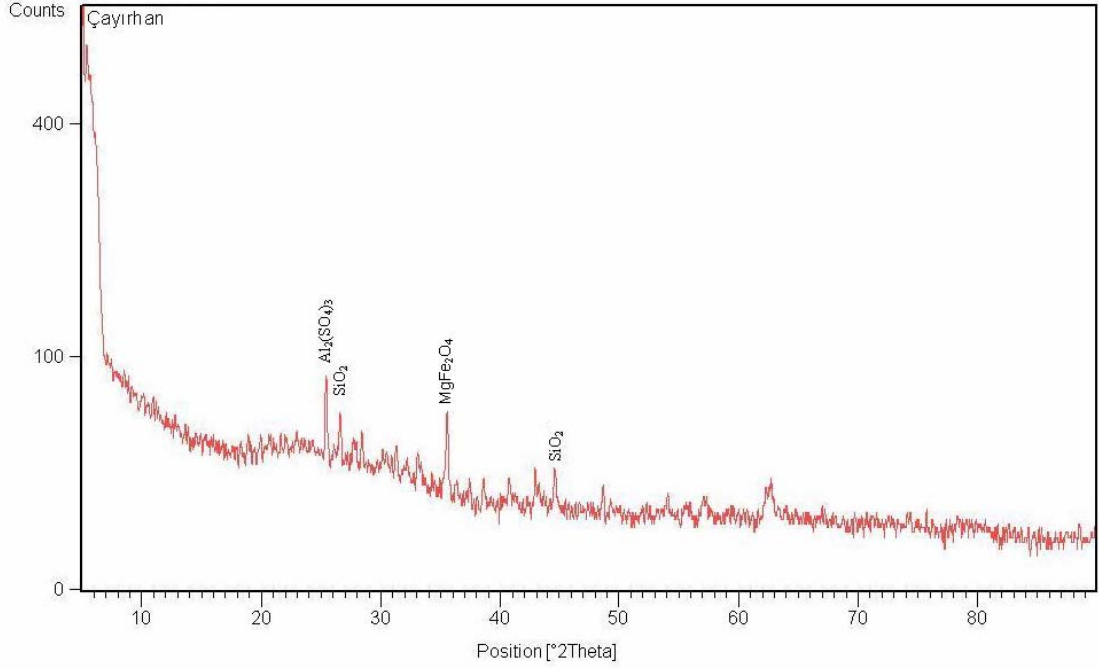
Uçucu kül numunelerinin mineralojik kompozisyonları X-ışını difraktometre (XRD) cihazı ile incelenmiştir. Numuneler XRD analizi yapılmadan önce $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 2 saat bekletilerek nemi giderilmiş ve XRD çekimleri yapılmıştır. Uçucu kül numunelerinin XRD sonuçları Şekil 6.19 ile Şekil 6.24 ve Çizelge 6.13 ile Çizelge 6.18 arasında gösterilmiştir.



Şekil 6.19 İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.13 İskenderun Sugözü uçucu külü mineralojik yapı isimleri

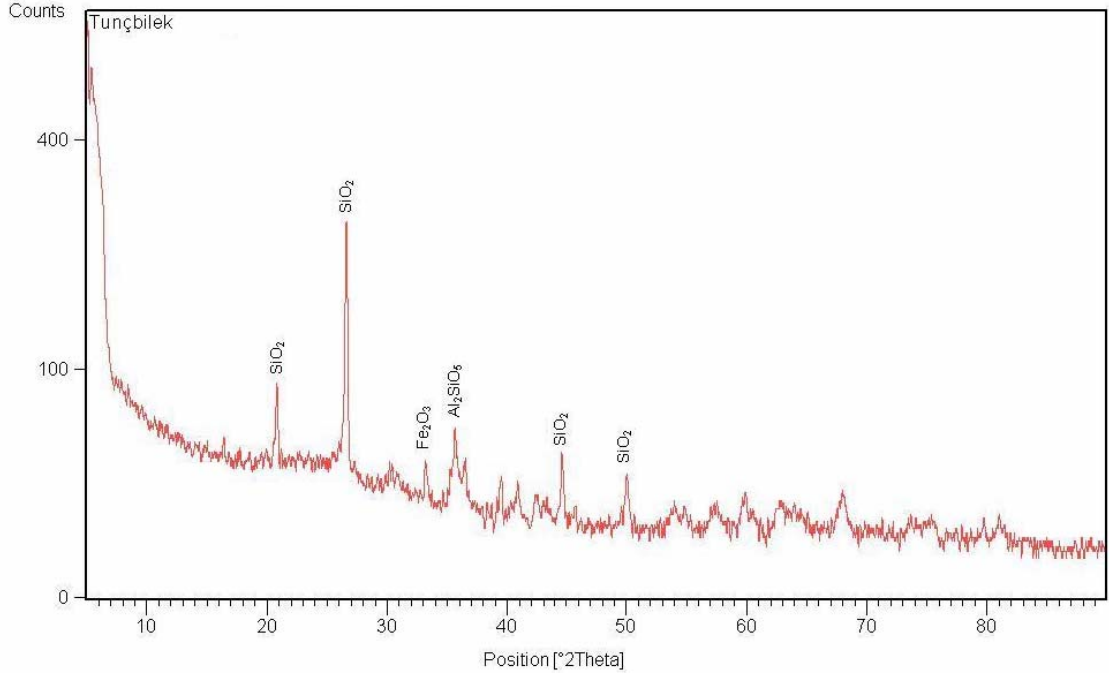
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz α -alpha	SiO_2
Sillimanite	Al_2SiO_5



Şekil 6.20 Çayırhan termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.14 Çayırhan uçucu külü mineralojik yapı isimleri

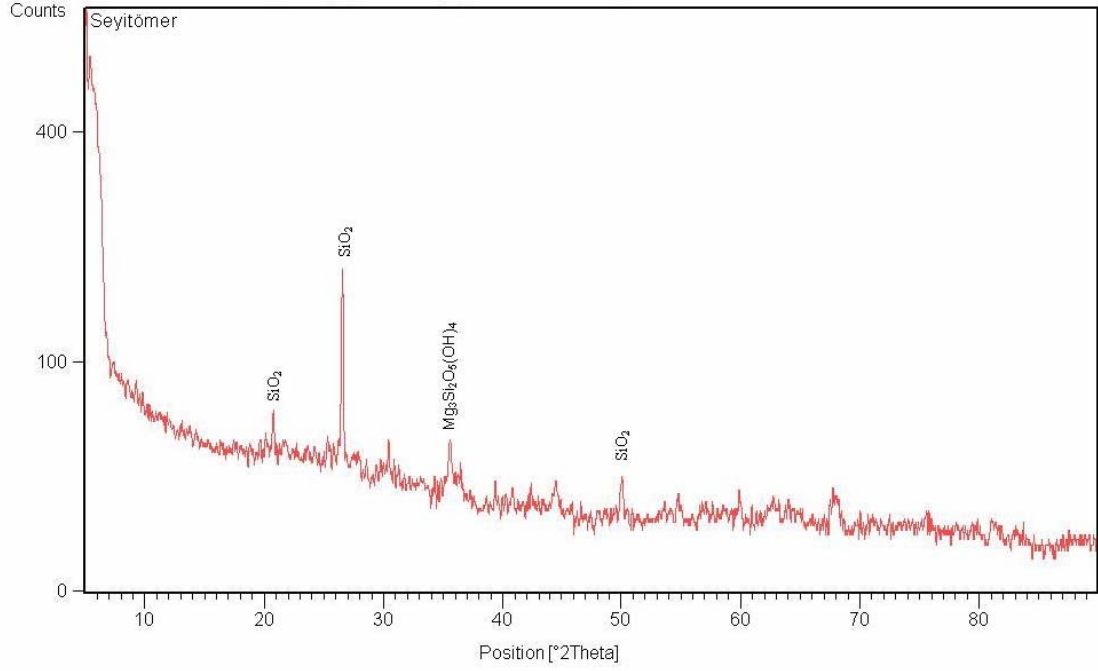
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz low, dauphinee-twinned	SiO ₂
Magnesioferrite, syn	MgFe ₂ O ₄
Millosevichite, syn	Al ₂ (SO ₄) ₃



Şekil 6.21 Tunçbilek termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.15 Tunçbilek uçucu külü mineralojik yapı isimleri

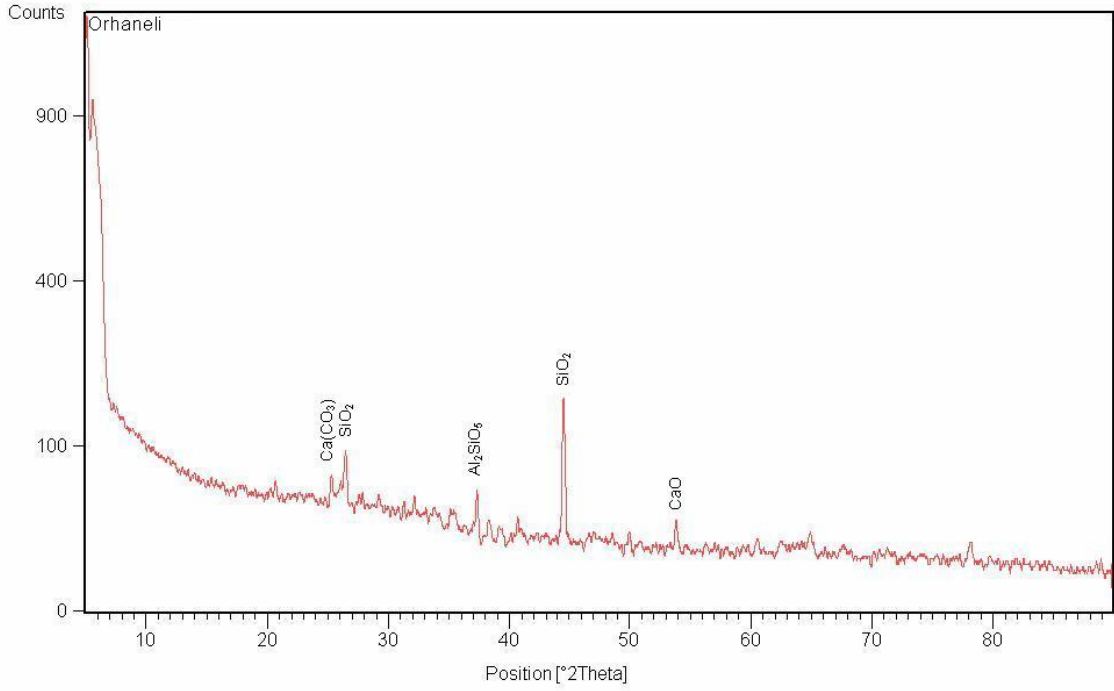
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz	SiO ₂
Sillimanite	Al ₂ SiO ₅
Hematite, syn	Fe ₂ O ₃



Şekil 6.22 Seyitömer termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.16 Seyitömer uçucu külü mineralojik yapı isimleri

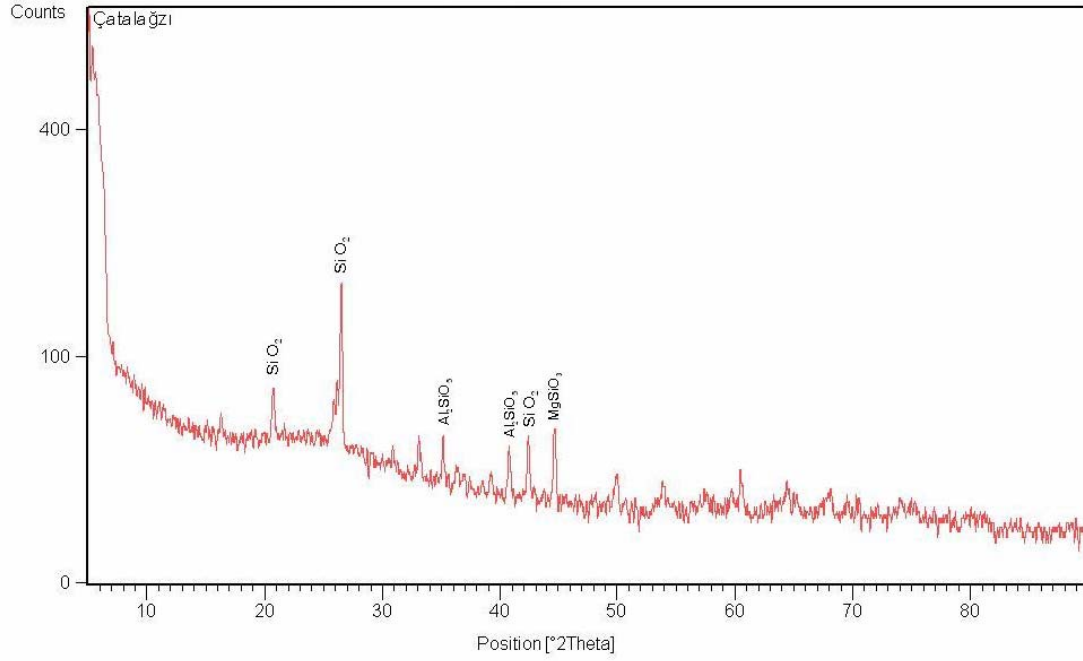
Bileşimin ismi	Kimyasal formülü
Quartz \$-alpha	SiO ₂
Antigorite	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄



Şekil 6.23 Orhaneli termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.17 Orhaneli uçucu külü mineralojik yapı isimleri

Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz	SiO ₂
Lime	CaO
Sillimanite	Al ₂ SiO ₅
Aragonite	Ca(CO ₃)



Şekil 6.24 Çatalağzı termik santrali uçucu külü XRD sonucu

Çizelge 6.18 Çatalağzı uçucu külü mineralojik yapı isimleri

Bileşimin ismi	Kimyasal formülü
Quartz α -alpha	Si O ₂
Sillimanite	Al ₂ SiO ₅
Perovskite (Mg, Si), syn	MgSiO ₃

6.3.3 Çimento

Beton denemelerinde Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'de üretilen CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır.

Portland çimento; kalker, marn, kil, demir cevheri, pirit külü, boksit, vb. hammaddelerin uygun oranda karıştırılıp, öğütülerek, pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin, bir miktar priz düzenleyici (genellikle alçıtaşı) ile birlikte öğütülmesinden oluşan; suyla karıştırıldıktan belirli bir süre sonra donarak dayanım kazanan üründür.

Genel olarak yüksek dayanım gerektiren yapılarda, soğuk havada dökülen betonlarda, prefabrik yapılarda, tünel-kalıp uygulamalarında, yapı kimyasalları üretiminde ve temel betonları uygulamalarında kullanılır.

Denemelerde kullanılan çimento numunelerin fiziksel özellikleri Çizelge 6.19'de ve kimyasal özellikleri Çizelge 6.20'de gösterilmiştir [9].

Çizelge 6.19 Çimentonun fiziksel özellikleri [9]

Fiziksel özellikleri	Nuh Çimento	Standard	Birim
Priz Başlangıcı	156	minimum 60	dakika
Priz Sonu	194	-	dakika
Özgül Ağırlık	3.18	-	g/cm ³
Hacim Genleşmesi	1	maksimum 10	cm
Özgül Yüzey (Blaine)	2960	-	cm ² /g
Litre Ağırlığı	1020	-	g/l
2 Günlük Dayanım	25	minimum 20	N/mm ²
28 Günlük Dayanım	57	42.5/62.5	N/mm ²

Çizelge 6.20 Çimentonun kimyasal özellikleri [9]

Kimyasal Özellikleri	Nuh Çimento	Standard	Birim
SO ₃	2.4	maksimum 4	%
MgO	1.0	-	%
Kızdırma Kaybı	0.9	maksimum 5	%
Çözünmeyen Kalıntı	0.3	maksimum 5	%
Cl-	0.01>	maksimum 0.1	%
Toplam Alkali (Na ₂ O+0.658K ₂ O)	0.53	-	%
Serbest Kireç	1.0	-	%

6.3.4 Kum

Beton denemelerinde özgül ağırlığı 2.686 kg/dm³ olan kum kullanılmıştır. Kumun birim ağırlığı tayini yapılmış ve gevşek birim ağırlığı 1.457 kg/dm³ olarak bulunmuştur.

Kumun su emme değerleri 30 dakika için %1.1 ve 24 saat için %1.15 olarak hesaplanmıştır.

Deneyde kullanılan kumun elek analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.21’de verilmiştir.

Çizelge 6. 21 Kumun elek analizi

Elek	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25	0.125
Geçen (%)	100	99	90	12	1

6.3.5 Beton kimyasal katkı maddeleri

6.3.5.1 Akışkanlaştırıcı

RHEOBUILD® 1000, naftalin sülfonat esaslı, betona Reoplastik özellik vererek betonun erken ve nihai dayanımlarını artıran, yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir.

Kullanım yerleri:

- Pompasız ve pompalı Hazır beton üretimlerinde,
- Yaş püskürtme beton üretiminde,
- Prekast ve prefabrik beton üretiminde,
- Erken kalıp alınması gereken yerlerde,
- Düşük su/çimento oranına sahip öngermeli beton üretiminde,
- Sık donatılı betonarme elemanlara kolay yerleştirilebilen Reoplastik beton üretiminde,
- C 30 ve üzeri beton sınıfları için kullanılır.

Avantajları:

- Katkısız betona göre, su miktarını en az ağırlıkça %12 oranında azaltır.
- Katkısız betona göre, aynı işlenebilirlikte daha düşük su/çimento oranı veya aynı su/çimento oranında yüksek işlenebilirlik ve kolay pompalanabilirlik sağlar.
- Katkısız betona göre, erken ve nihai dayanımları artırır.
- Katkısız betona göre, betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Katkısız betona göre, kalıp sökme süresini kısaltır.
- Ayrışma ve terlemeyi azaltarak, betonun aşınma direncini artırır.
- Betonun Donma - Çözünme döngüsüne karşı dayanıklılığını artırır.
- Betonun geçirimsizlik, kalıcılık, büzülme ve sünme gibi diğer mekanik özelliklerini iyileştirir.
- Sık donatılı betonarme yapılarda bile daha az vibrasyon ile yerleşme sağlar.
- RHEOBUILD® 1000 klor içermez [3].

Teknik özellikleri Çizelge 6.22'de verilmiştir.

Çizelge 6.22 Akışkanlaştırıcının (RHEOBUILD 1000) teknik özellikleri

Malzemenin yapısı	Naftalin sülfonat esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,20-1,22 kg/lt
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkol içeriği % (EN 480-12)	< 5

Kimyasal katkılarının çalışma prensibi; katkılar genel olarak sadece bağlayıcı ile reaksiyona girer. Katkı, betona ilave edildiğinde; bağlayıcı tanecikleri tarafından absorbe edilir. Bağlayıcı tanecikleri, elektrostatik kuvvetle birbirlerini iter. Böylece istenilen işlenebilirlik, daha düşük su miktarı ile sağlanır. Karışım suyunun azalması ile orantılı olarak mekanik dayanımlar da artar.

Bağlayıcı (çimento-mikro silika-uçucu kül-cüruf gibi) ve agrega, homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır. Karışıma ilave edilecek suyun %50 - %70'i ilave edildikten sonra, kalan suyla beraber RHEOBUILD®1000 karışıma ilave edilir. RHEOBUILD® 1000, karışımın içinde homojen olarak dağılması için, tercihen 60 saniye veya laboratuvar deneylerinde belirlenen sürede karıştırılır.

RHEOBUILD® 1000, 100 kg bağlayıcıya (çimento-mikro silika-uçucu kül-cüruf gibi) 1,0-2,0 kg oranında ilave edilir.

6.3.5.2 Hava sürükleyici

MICRO AIR® 200, yağ alkolü ve amonyum tuzu esaslı, betonun içerisine kontrollü hava sürükleyerek kalıcı, küçük ve optimum aralıklı hava kabarcıkları oluşturan ve betonun donma - çözünme döngüsüne karşı dayanıklılığını artıran, hava sürükleyici beton katkı malzemesidir.

Kullanım yerleri:

- Donma - Çözünme etkisi altında kalacağı düşünülen betonların dökümünde,
- Pompalı ve pompasız hazır beton üretiminde,
- Kaba granülometreli betonların pompalı üretiminde,
- Donatılı ve donatısız, hafif veya normal ağırlıklı her türlü betonun üretiminde,

- Saha ve yol betonlarının üretiminde,
- Kütle betonu üretiminde kullanılır.

Avantajları:

- Optimum düzeyde artırılmış hava sürüklenme özelliği sayesinde, betonun donma - çözünme döngüsüne karşı direncini artırır.
- Sertleşmiş betonda optimum aralıklı hava boşluk sistemi sağlar.
- Katkısız betona göre su/çimento oranının düşük olması sebebiyle, kalıcılık ve düşük geçirimsizlik sağlar.
- Taze betonda ayrışma ve kasma olasılığını azaltır.
- Katkısız betona göre, betonun işlenebilirliğini ve plastik özelliğini artırır.
- Düşük kıvamlı, farklı tip bağlayıcı (tüm çimento tipleri/uçucu kül/cüruf/mikro silika gibi), ince granülometrilili, yüksek sıcaklıklı betonlarda hava sürüklenme özelliği gösterir.
- MICRO AIR ® 200 klor içermez [3].

Teknik özellikleri Çizelge 6.15'de verilmiştir.

Çizelge 6.23 Hava sürükleyicinin MICRO AIR ® 200 teknik özellikleri

Malzemenin yapısı	Yağ alkolü ve amonyum tuzu esası
Renk	Amber
Yoğunluk	1,00-1,02 kg/lt
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkol içeriği % (EN 480-12)	< 10

Kimyasal katkılarının çalışma prensibi; katkılar genel olarak sadece bağlayıcı ile reaksiyona girer. Katkı, betona ilave edildiğinde; bağlayıcı tanecikleri tarafından absorbe edilir. Bağlayıcı tanecikleri, elektrostatik kuvvetle birbirlerini iter. Böylece istenilen işlenebilirlik, daha düşük su miktarı ile sağlanır. Karışım suyunun azalması ile orantılı olarak mekanik dayanımlar da artar.

Bağlayıcı (çimento-mikro silika-uçucu kül-cüruf gibi) ve agrega, homojen bir karışım elde

edilinceye kadar karıştırılır. Karışıma ilave edilecek suyun %50 - %70'i ilave edildikten sonra, kalan suyla beraber MICRO® AIR 200 karışıma ilave edilir. Bunu yaparken \pm %3 hassasiyette elektronik terazi kullanılır. MICRO® AIR 200 ile sürekli üretim yaparken; her karışımda beton miktarı, beton sıcaklığı, karıştırıcı tipi, gücü ve karıştırma süresi sabit tutulmalıdır. Bu parametrelerde olacak değişiklikler betonda sürüklenen hava miktarını değiştirecektir. İstenen miktarda hava sürüklemek için karışım süresi önceden belirlenmelidir, laboratuarda elde edilecek süreler ve beton santralindeki üretimler farklı sonuçlar doğurabilir. İlk karışımda elde edilen hava miktarına göre, gerekiyorsa tekrar dozajlama yapılabilir.

MICRO® AIR 200, 100 kg bağlayıcıya (çimento-mikro silika-uçucu kül-cüruf gibi) 0,09-0,20 kg oranında kullanılır. Başka bir akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanıldığında, aynı hava sürükleme miktarı için tek başına kullanıldığındaki dozlardan daha düşük dozlarda kullanılmalıdır.

6.4 Peletleme Denemeleri ve Sonuçları

Hafif beton üretiminde uçucu küllerin agrega olarak kullanılması için uçucu küllerden pelet üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de bulunan 6 çeşit termik santralden getirilen uçucu küllerden pelet üretimi yapılmıştır. Bunlar; Çayırhan (Ankara), Orhaneli (Bursa), Seyitömer (Kütahya), Tınçbilek (Kütahya), Çatalağzı (Zonguldak), ve İskenderun Sugözü (Adana) termik santrallerden getirilen uçucu küllerdir.

Peletleme, ince boyutlu demir cevheri veya genellikle konsantrelerin, uygun bağlayıcı ve gerekli su katkısı ile özel cihazlarda, belirli boyutlarda yaş küreler haline getirilmesi, ardından dayanıklılık kazandırmak amacıyla 1000–1300 °C sıcaklıklarda pişirilmesi işlemini kapsayan bir aglomerasyon yöntemidir.

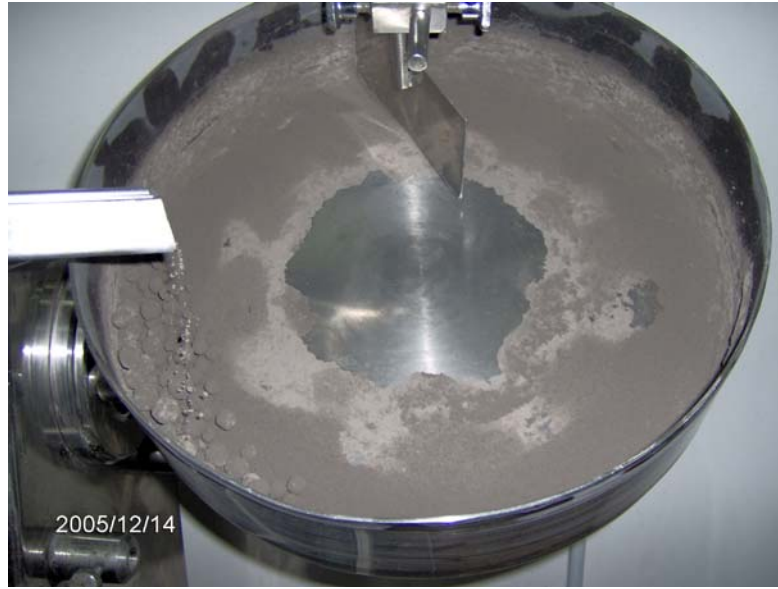
Peletleme denemelerinde bağlayıcı olarak sodyum bentoniti ve kalsiyum bentoniti kullanılmıştır. Pelet üretiminde uygun bentonit miktarını bulmak için değişik oranlarda bentonitin katılmasıyla peletler üretilmiş ve dayanım testleri yapılarak uygun bentonit miktarı belirlenmiştir. Bunun için Çayırhan termik santralinden getirilen uçucu küle %0.5, %0.7, %0.9 ve %1.0 (kütlece) oranında Sodyum-bentoniti ve Kalsiyum-bentoniti katılarak pelet üretilmiştir.

6.4.1 Yaş peletlerin elde edilişi

Uçucu küller laboratuvar tipi 40 cm çaplı, 60° eğimli ve 25 devir/dakika hızlı peletleme diskinde peletlenmiştir. Tüm peletleme denemelerinde, tamburun eğimi 60° ve dönme hızı 25 devir/dakika olarak sabit şartlarda yapılmıştır. Bağlayıcı olarak bentonit kullanılmıştır. Peletleme denemelerinden önce uçucu küllerin nemi giderilmiştir.

Pelet hamuru hazırlamak için 2 kg numuneye bentonit ilave edilmiş ve elde edilen hamur iyice karıştırıldıktan sonra bir kısmı tambura, kalan kısmı ise titreşimli besleyiciye verilmiştir. Tamburun dönmesiyle peletlerin tabana yapışmaması için gerekli miktarda su verilerek hamurdan ince tabaka yapıldıktan sonra besleyiciden hamur akıtılarak ve belli aralıklarda gerekli miktarda su püskürtülmesiyle pelet oluşumu ve büyümesi sağlanmıştır. İstenilen büyüklüğe geldiğinde peletler tamburdan alınmıştır. Peletleme işlemleri yaklaşık olarak 20-30 dakika sürmüştür (Şekil 6.25).

Pelet üretimi için ilave edilmesi gereken nem miktarı, peletlenecek malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır.



Şekil 6.25 Pelet üretimi

Peletleme denemelerinde nem yüzdesi, peletlerin yaş olarak ve 105°C'de 24 saat kurutulduktan sonra bulunan tartı farkından hesaplanmıştır. Üretilen yaş peletlerin % nem değerleri Çizelge 6.24'da verilmiştir.

Oluşan yaş peletlerden 10'ar adet düşme sayısı ve basma dayanımı testleri için ayrılmış, geri kalanlar ise 105°C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş peletlerden 10'ar adeti ürün pelet basma dayanımı testi için ayrılmış, geri kalanlar için pişmiş pelet basma dayanımı testine ve diğer denemelerine tabii tutmak amacıyla 1000 °C'de elektrik fırında 1 saat pişirilmiştir.

Çizelge 6.24 Yaş peletlerin nem tayini sonuçları

Numune	% Nem
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,5 Na-bentoniti)	11.72
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	11.23
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,9 Na-bentoniti)	8.73
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%1,0 Na-bentoniti)	8.84
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,5 Ca-bentoniti)	9.72
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,7 Ca-bentoniti)	11.31
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,9 Ca-bentoniti)	10.07
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%1,0 Ca-bentoniti)	7.64
İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	12.59
Tunçbilek termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	25.13
Seyitömer termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	21.49
Çatalağzı termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	15.62
Orhaneli termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	11.93

6.4.2 Yaş peletlerin pişirilmesi

105°C sıcaklıkta 24 saat süre ile kurutulmuş olan peletler 1000 °C’de 1 saat süre ile elektrik fırında pişirilmiştir. Uçucu kül peletlerinin kızdırma kaybı yüzdesi, peletlerin kuru olarak ve 1000 °C’de 1 saat süre pişirildikten sonra bulunan tartı farkından hesaplanmıştır. Uçucu kül peletlerinin kızdırma kaybı Çizelge 6.25’de verilmektedir.

Pişen peletlerin, kırılmadan dayanabildikleri maksimum basma yükü ölçülmüştür. Peletleme denemeleri sonunda elde edilen peletlerin fotoğrafları Şekil 6.26’de verilmiştir.

Çizelge 6.25 Uçucu kül peletlerinin kızdırma kaybı

Numune	% Kızdırma kaybı
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,5 Na-bentoniti)	0.611
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	0.549
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,9 Na-bentoniti)	0.597
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%1,0 Na-bentoniti)	0.615
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,5 Ca-bentoniti)	0.625
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,7 Ca-bentoniti)	0.702
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%0,9 Ca-bentoniti)	0.695
Çayırhan termik santrali uçucu külü (%1,0 Ca-bentoniti)	0.667
İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	2.319
Tunçbilek termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	1.239
Seyitömer termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	1.286
Çatalağzı termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	1.010
Orhaneli termik santrali uçucu külü (%0,7 Na-bentoniti)	0.994



Şekil 6.26 Pişmiş peletlerin makroskobik görüntüsü

6.4.3 Peletlerde uygulanan dayanım testleri

Peletleme denemeleri sonucunda elde edilen peletlerin dayanımlarını ölçmek amacıyla, yaş pelet düşme sayısı, yaş pelet basma dayanımı, kuru pelet basma dayanımı ve pişmiş pelet basma dayanımı testleri yapılmıştır (Tuğrul, 2005).

6.4.3.1 Yaş pelet düşme sayısı tayini

Bu deney, peletleme tambur ya da disklerinden elde edilen yaş peletin, pişirme işleminin uygulanacağı bölgeye kadar taşınması sırasında kırılmaması için gerekli dayanımda olup olmadığının kontrolü için yapılır. En az 10 adet yaş pelet alınıp parçalanıncaya kadar 45cm'den serbest halde bırakılmış ve aynı işlem her pelet için tekrarlanmıştır. Çatlamanın olduğu sayıyı “yaş pelet düşme sayısı” denir (Ripke ve Kawatra, 2000, Ripke ve Kawatra, 2002).

6.4.3.2 Yaş pelet basma dayanımı tayini

Bu deneyde 10 adet ham pelet basma yüküne tabi tutulmuştur. Izgaraya serilen peletlerin birbirlerinin ağırlıkları ve basınçları altında ezilmemeleri için bu değer önemlidir. Yaş peletin fiziksel kalitesini belirleyen en önemli iki faktör düşme sayısı ve basma dayanımıdır. Kullanılan katkı maddeleri, bağlayıcılar, uçucu külün nemi, özgül yüzey alanı, peletleme koşulları ve karışma, düşme sayısını ve basma dayanımını doğrudan etkiler (Ripke ve Kawatra, 2000, Ripke ve Kawatra, 2002).

6.4.3.3 Ürün pelet basma dayanımı tayini

Bu deney, peletin taşınma, stoklanma sırasında ve yüksek fırında şarj ağırlığı altında ezilip kırılmaması için gereklidir. Basma dayanımı için alınan peletler 105°C'de 24 saat kurutulup oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Bu peletlerin basma dayanımları, hızı 10 mm/dakika olan biri sabit diğeri hareketli düz yüzeyle preste 10 adet pelet için ölçülüp ortalaması alınmıştır. Bu ortalamayı alırken çok düşük ve yüksek çıkan basma dayanımları değerlendirilmemiştir (Tuğrul, 2005).

6.4.3.4 Pişmiş pelet basma dayanımı tayini

105°C'de kurutulmuş olan peletler 1000°C'de 1 saat süreyle pişirilmiş ve oda sıcaklığına soğutulduktan sonra basınç mukavemetleri ölçülmüştür.

6.4.4 Peletleme denemelerinin sonuçları

Uçucu kül numunesine ağırlıkça %0.5, %0.7, %0.9 ve %1.0 oranında bentonit ilave edilerek üretilen peletlerde yapılan yaş pelet düşme sayısı, yaş pelet basma dayanımı, kuru pelet basma dayanımı ve pişmiş pelet basma dayanımı testleri her numune için en az 3 kere yapılmıştır. Bu deney sonuçlarının ortalaması alınarak her uçucu kül pelet numunesi için dayanım test sonuçları Çizelge 6.26 ile Çizelge 6.31 arasında verilmiştir.

Çizelge 6.26 Çayırhan termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.5 Na-bentoniti	9.87	2.1	293.6	89.4	13.00
0.7 Na-bentoniti	10.71	2.3	223.7	168.0	26.55
0.9 Na-bentoniti	9.49	2.1	180.3	186.0	21.33
1.0 Na-bentoniti	9.62	2.5	223.0	87.7	18.00
0.5 Ca-bentoniti	12.00	1.2	140.2	93.3	12.33
0.7 Ca-bentoniti	11.32	2.2	166.0	90.2	9.33
0.9 Ca-bentoniti	11.76	1.6	169.0	111.7	10.00
1.0 Ca-bentoniti	10.75	1.9	135.8	78.0	12.00

Çizelge 6.27 İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.7 Na-bentoniti	10.57	1.8	217.4	215.4	40.33

Çizelge 6.28 Tunçbilek termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.7 Na-bentoniti	10.83	2.0	167.9	118.8	2.67

Çizelge 6.29 Orhaneli termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.7 Na-bentoniti	10.37	2.2	200.3	154.5	9.33

Çizelge 6.30 Seyitömer termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

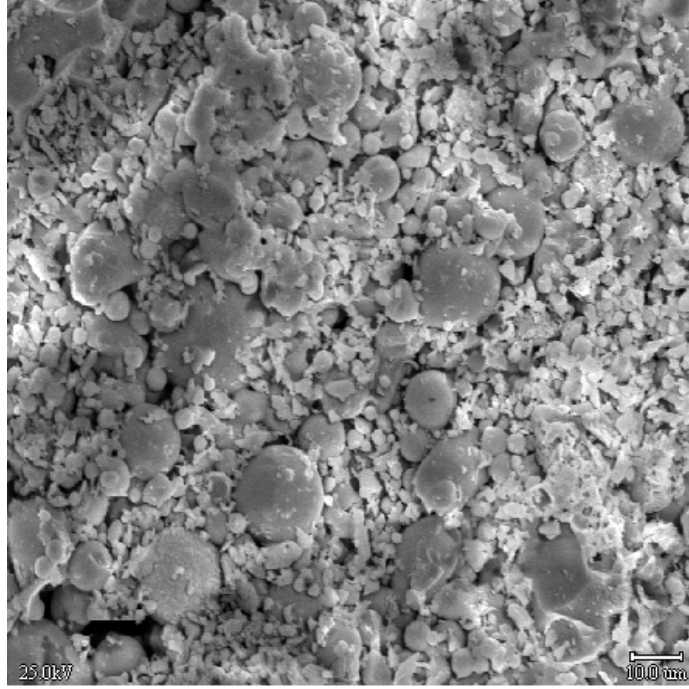
Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.7 Na-bentoniti	9.46	1.7	162.8	42.5	11.00

Çizelge 6.31 Çatalağzı termik santrali uçucu külü peletleme deney sonuçları

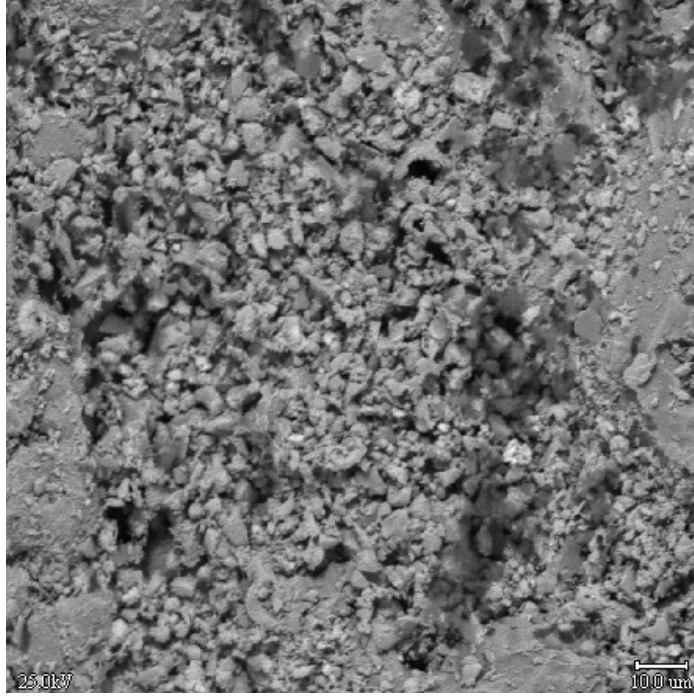
Bentonit (%)	Pelet boyutu (mm)	Yaş pelet düşme sayısı	Yaş pelet basma dayanımı (gr)	Kuru pelet basma dayanımı (gr)	Pişmiş pelet basma dayanımı (kg)
0.7 Na-bentoniti	10.21	1.9	124.4	127.1	5.00

6.4.5 Pelet numunelerinin taramalı elektron mikroskopunda incelenmesi

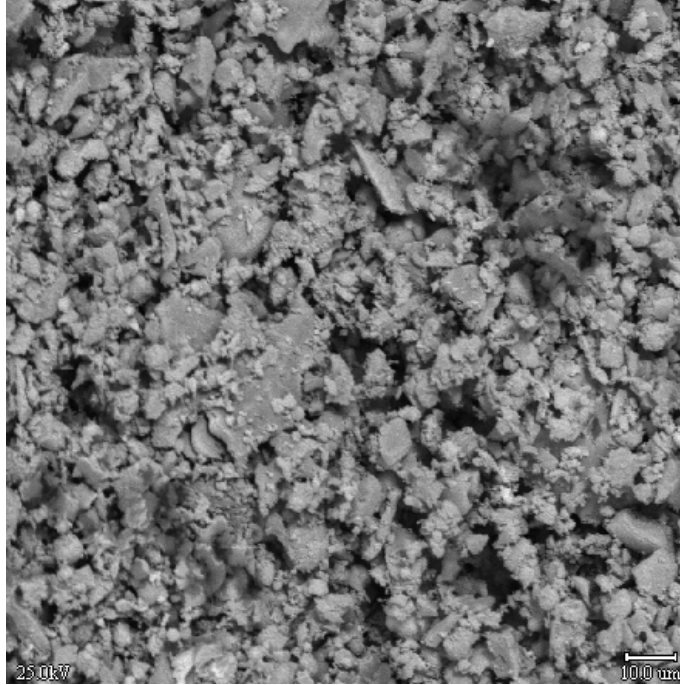
Üretilen pelet numuneleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiş ve pelet numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 6.27 ile Şekil 6.33 arasında verilmiştir.



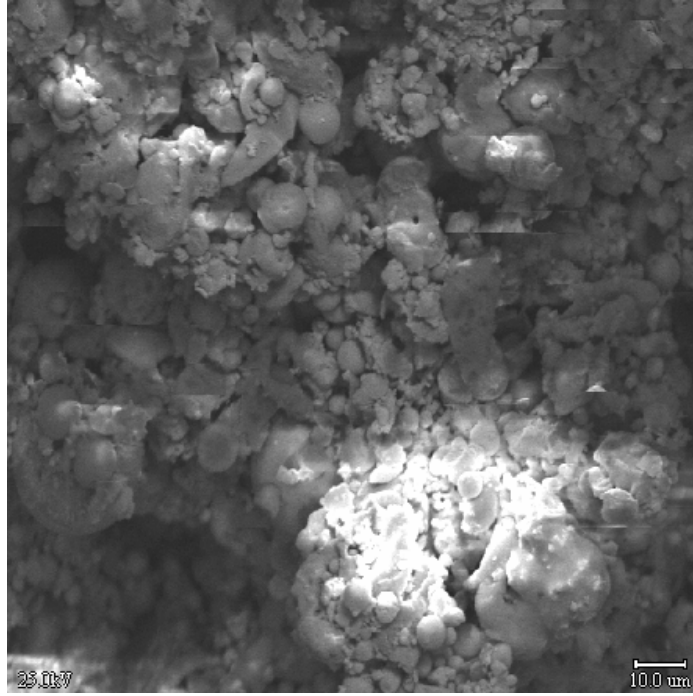
Şekil 6.27 X750 - İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) SEM görüntüsü



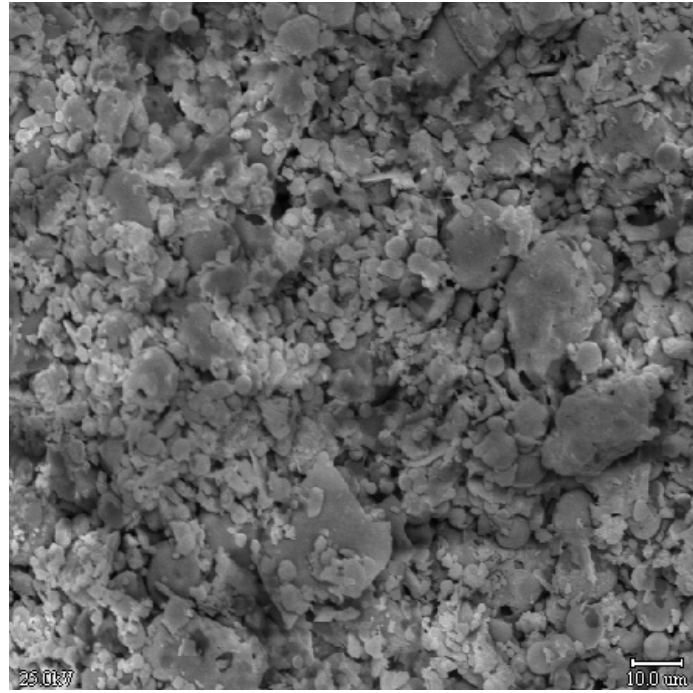
Şekil 6.28 X750 - Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti)
SEM görüntüsü



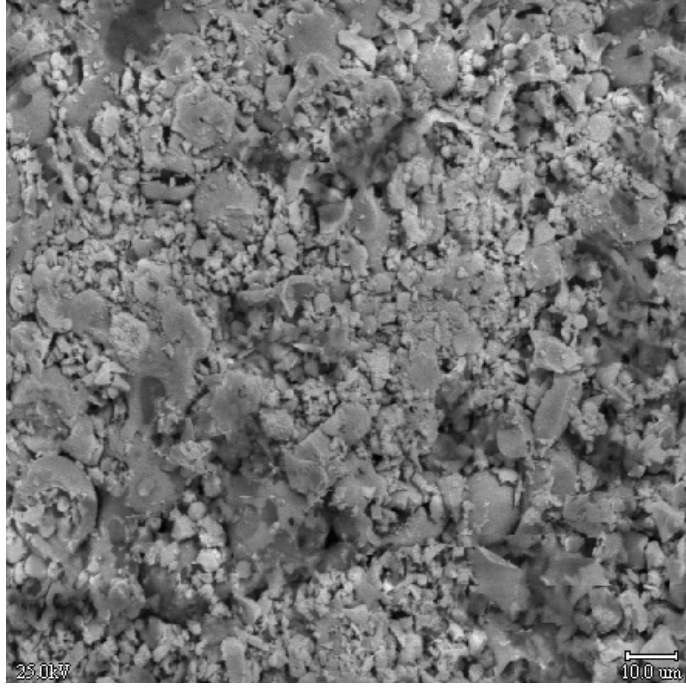
Şekil 6.29 X750 - Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Ca bentoniti)
SEM görüntüsü



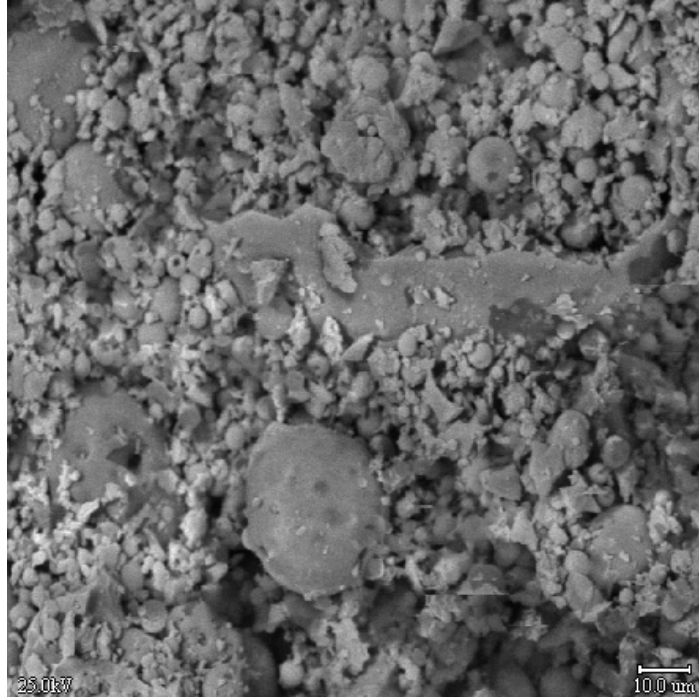
Şekil 6.30 X750 - Tunçbilek termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti)
SEM görüntüsü



Şekil 6.31 X750 - Seyitömer termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti)
SEM görüntüsü



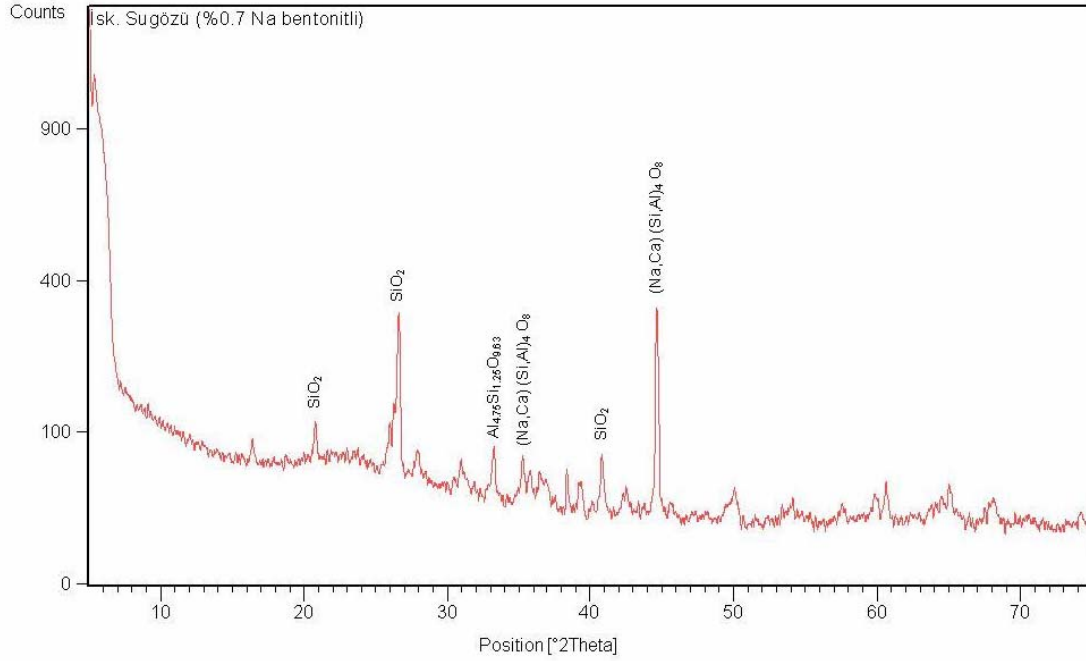
Şekil 6.32 X750 - Orhaneli termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti)
SEM görüntüsü



Şekil 6.33 X750 - Çatalağzı termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti)
SEM görüntüsü

6.4.6 Pelet numunelerinin X-ışını difraktometresinde incelenmesi

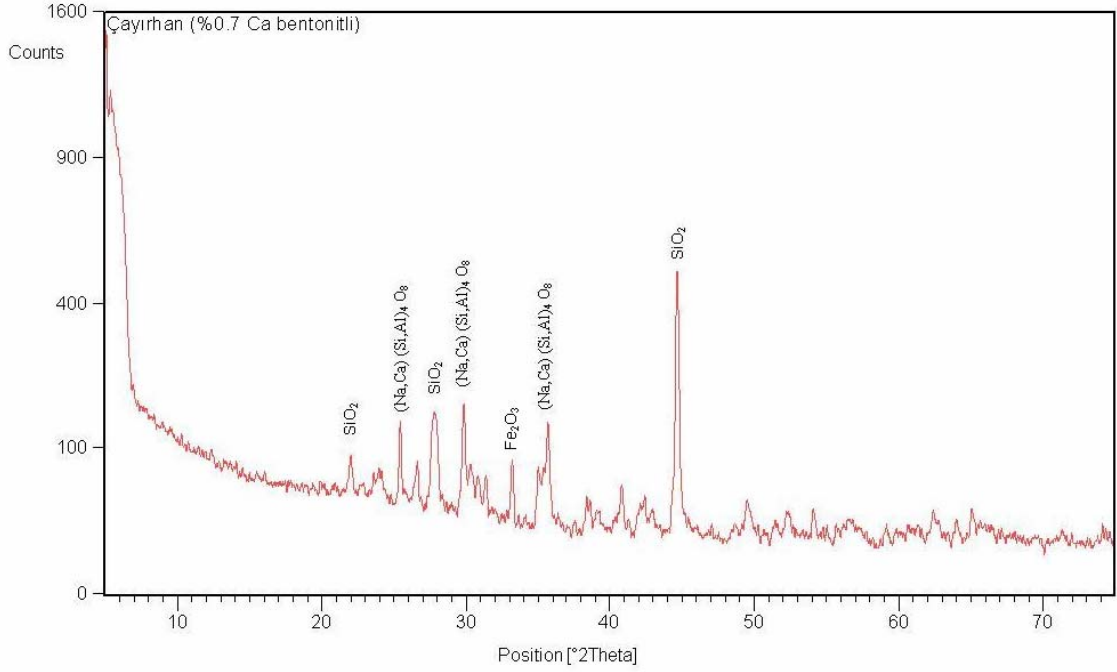
Üretilen pelet numunelerinin mineralojik kompozisyonları X-ışını difraktometre (XRD) cihazı ile incelenmiştir. Pelet numuneleri XRD analizi yapılmadan önce öğütülerek toz haline getirilmiş, $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 2 saat bekletilerek nemi giderilmiş ve XRD çekimleri yapılmıştır. Pelet numunelerinin XRD sonuçları Şekil 6.34 ile Şekil 6.40 ve Çizelge 6.32 ile Çizelge 6.38 arasında gösterilmiştir. Ayrıca pelet numunelerinin kimyasal bileşenleri XRF cihazı ile incelenmiş ve sonuçlar Ek 2'de verilmiştir.



Şekil 6.34 İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentonitli) XRD sonucu

Çizelge 6.32 İskenderun Sugözü uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

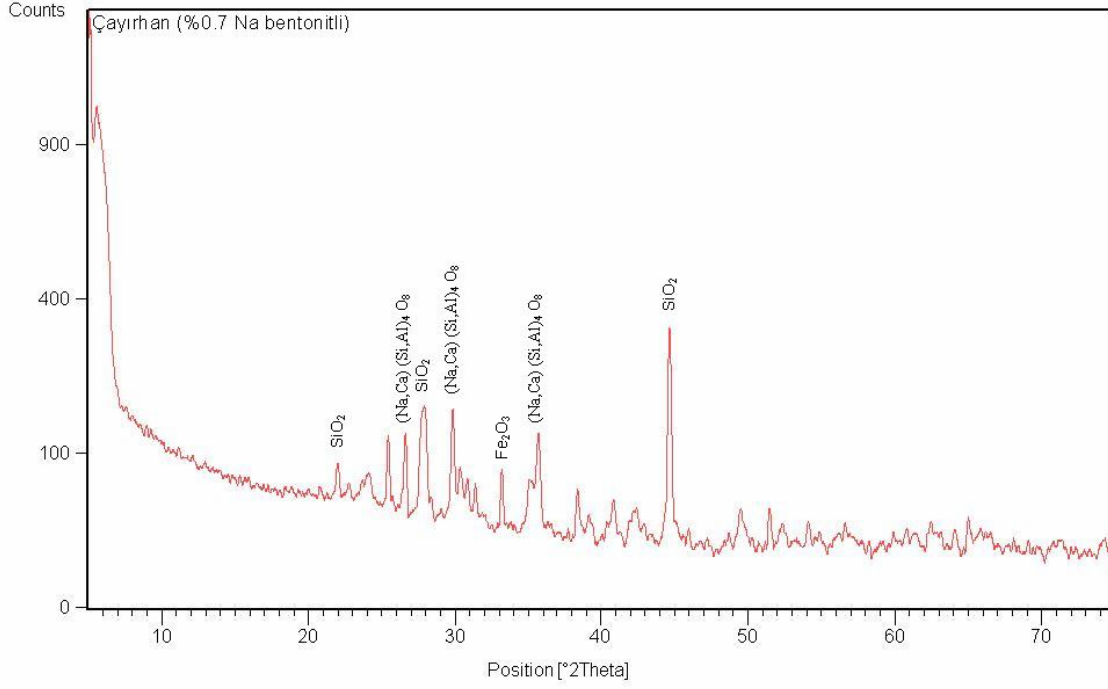
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz α -alpha	SiO_2
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$
Mullite, syn	$\text{Al}_{4.75}\text{Si}_{1.25}\text{O}_{9.63}$



Şekil 6.35 Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Ca bentoniti) XRD sonucu

Çizelge 6.33 Çayırhan uçucu külü peleti (%0.7 Ca bentonitli) mineralojik yapı isimleri

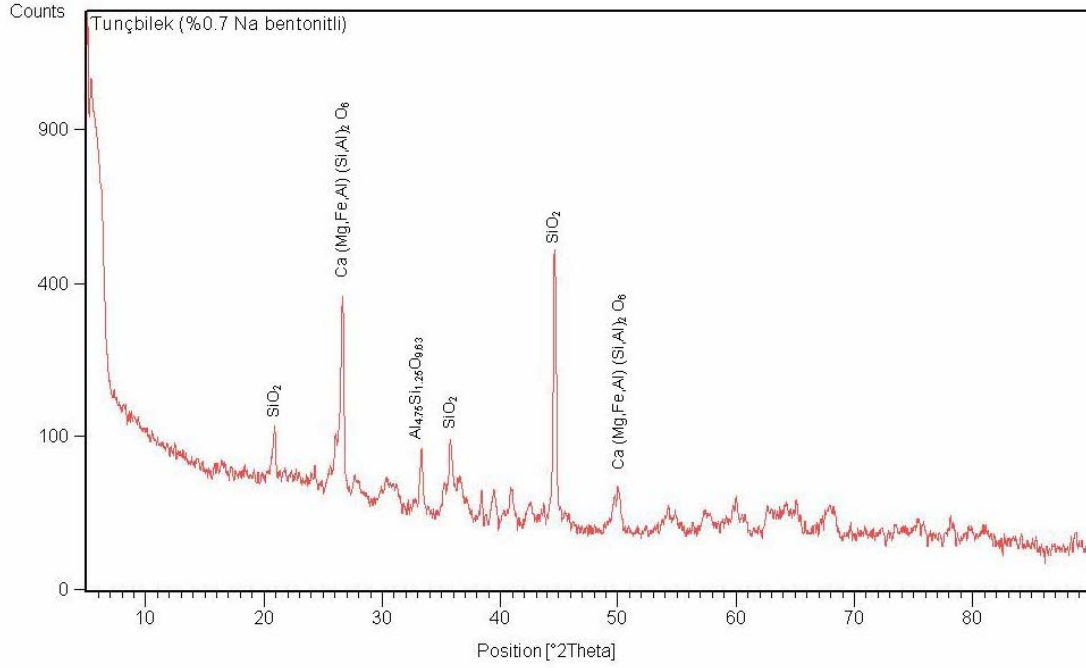
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz low	SiO_2
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$
Hematite, syn	Fe_2O_3



Şekil 6.36 Çayırhan termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentonitli) XRD sonucu

Çizelge 6.34 Çayırhan uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

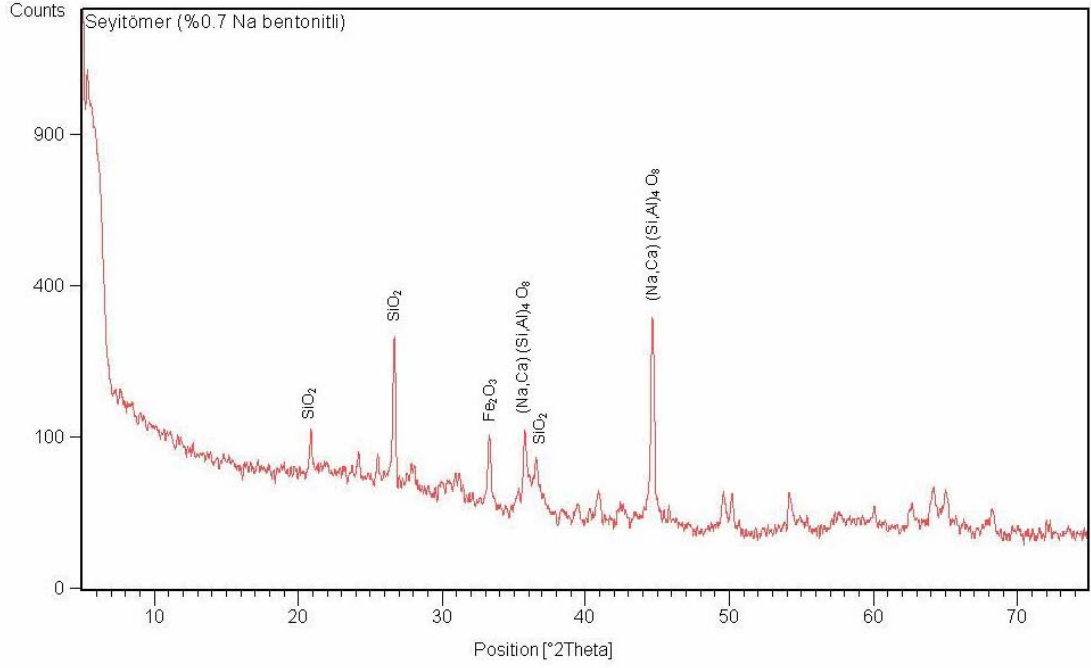
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz low	SiO ₂
Albite, calcian, ordered	(Na,Ca) (Si,Al) ₄ O ₈
Hematite, syn	Fe ₂ O ₃



Şekil 6.37 Tunçbilek termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentonitli) XRD sonucu

Çizelge 6.35 Tunçbilek uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

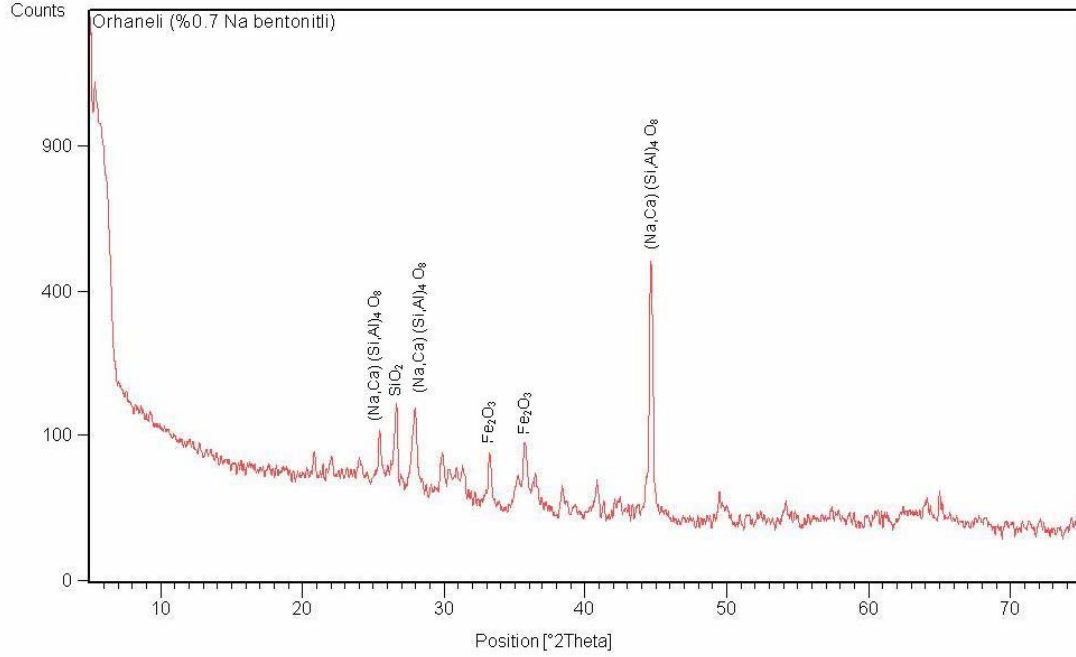
Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz	SiO_2
Mullite, syn	$\text{Al}_{4.75}\text{Si}_{1.25}\text{O}_{9.63}$
Augite, aluminian	$\text{Ca (Mg,Fe,Al) (Si,Al)}_2 \text{O}_6$



Şekil 6.38 Seyitömer termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu

Çizelge 6.36 Seyitömer uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

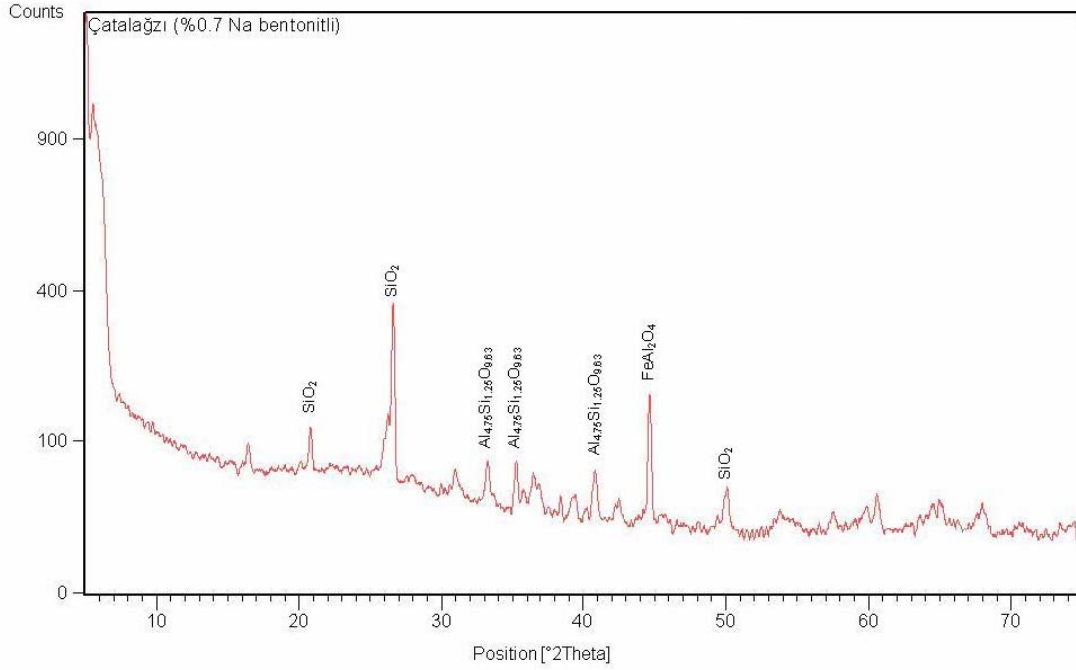
Bileşğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz	SiO_2
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$
Hematite, syn	Fe_2O_3



Şekil 6.39 Orhaneli termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) XRD sonucu

Çizelge 6.37 Orhaneli uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz	SiO ₂
Albite, calcian, ordered	(Na,Ca) (Si,Al) ₄ O ₈
Hematite, syn	Fe ₂ O ₃



Şekil 6.40 Çatalağzı termik santrali uçucu külü peleti (ağırlıkça %0,7 Na bentonitli) XRD sonucu

Çizelge 6.38 Çatalağzı uçucu külü peleti (%0.7 Na bentonitli) mineralojik yapı isimleri

Bileşiğin ismi	Kimyasal formülü
Quartz β -alpha	SiO_2
Mullite, syn	$\text{Al}_{4.75}\text{Si}_{1.25}\text{O}_{9.63}$
Hercynite, syn	FeAl_2O_4

6.5 Agregada Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçlar

6.5.1 Agregada gevşek birim ağırlığı tayini

Uçucu kül agregalarında gevşek birim ağırlığı (gevşek yığın yoğunluğu) deneyi TS EN 1097-3/Nisan 1999 standardına göre yapılmıştır. Gevşek yığın yoğunluğu, belirli bir ölçü kabı içerisindeki sıkışmamış kuru agreganın kütesinin ölçü kabının hacmine bölünmesi ile elde edilen değerdir.

Numunelerin sabit kütleyle gelmesi için $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 24 saat bekletilmiş ve desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Boş kuru ve temiz ölçü kabı tartılmıştır (W_1). Deneyde, korozyona dayanıklı metalden yapılmış, su sızdırmaz, ölçü kabının iç çapının iç derinliğe oranı 0,5 ile 0,8 arasında olan ve üst kenarı tabanına paralel silindirik ölçü kabı kullanılmıştır. Ölçü kabı yatay bir yüzeye yerleştirilmiş ve kürek kullanılarak numune ile tamamen doldurulmuştur. Ölçü kabı doldurulurken, küreği numune kabı üst çevresine dayayarak segregasyon minimum seviyede tutulmuştur. Küreğin ölçü kabının üst kenarından 50 mm daha yüksekte tutulmamasına özen gösterilmiştir. Ölçü kabının üst yüzeyinden taşan agregalar dikkatlice yüzeyden uzaklaştırılmış, segregasyonu önlemek için yüzeyde bir dağılım sağlanmıştır. Agreganın üst yüzeyi sıkıştırmaya sebep olmadan cetvel ile düzeltilmiştir. Dolu numune kabı (W_2) olarak kayıt edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak (6.1) eşitliği yardımı ile agregaların gevşek birim ağırlığı hesaplanmıştır (TS EN 1097-3, 1999).

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (6.1)$$

Burada;

ρ : Agreganın gevşek birim ağırlığı (kg/m^3)

W_1 : Boş ölçü kabı kütlesi (kg)

W_2 : Ölçü kabı ve deney numunesinin kütlesi (kg)

V : Ölçü kabının hacmi (m^3)

Gevşek birim ağırlığı deney her uçucu kül agregada yapılmış ve Çizelge 6.39'de verilmiştir.

Çizelge 6.39 Uçucu kül agregası gevşek birim ağırlığı

Termik santral	Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)
İskenderun Sugözü	855.3
Çayırhan	818.1
Tunçbilek	584.3
Seyitömer	601.0
Orhaneli	707.8
Çatalağzı	647.0

6.5.2 Agreganın özgül ağırlığı tayini

Özgül ağırlık, değişmez kütleyle kadar kurutulmuş agreganın, boşlukları hariç olmak üzere birim hacminin (dolu hacim) kütlesidir.

Bu deney her agregadan üç deney numunesi üzerine yapılmıştır. Numune $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 24 saat bekletilip oda sıcaklığına kadar kurutulmuştur. Soğutulmuş olan numuneden 0.01 gr hassasiyetle tartılarak alınmıştır (W_1). Tartılan numune, oda sıcaklığındaki su ile doldurulup ve doldurulan suyun hacmi kaydedilen (V_1) piknometreye kuru bir huni yardımı ile konularak kapağı kapatılmıştır. Deney numunesi taneleri içerisinde hava kabarcıkları kalmaması için piknometre sık sık çalkalanarak hava kabarcıkları çıkmayınca kadar devam edilmiştir. Numune oda sıcaklığındaki suda 24 saat bekletildikten sonra piknometredeki suyun son hacmi (V_2) kaydedilmiştir. Numuneler sudan çıkarılarak kurutma kağıt veya havlu yardımı ile suya doymuş yüzey kuru hale getirildikten sonra ikinci tartım (W_2) alınmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak (6.2) eşitliği yardımıyla agreganın kuru özgül ağırlığı, (6.3) eşitliği yardımıyla da agreganın suya doymuş yüzey kuru özgül ağırlığı hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$\gamma_k = \frac{W_1}{V_2 - V_1} \quad (6.2)$$

$$\gamma_d = \frac{W_2}{V_2 - V_1} \quad (6.3)$$

Burada;

γ_k : Agreganın kuru özgül ağırlığı (g/dm^3)

γ_d : Agreganın suya doymuş yüzey kuru özgül ağırlığı (g/dm^3)

W_1 : Agreganın etüv kurusu ağırlığı (g)

W_2 : Agreganın suya doymuş yüzey kuru ağırlığı (g)

V_1 : Piknometredeki suyun ilk hacmi (dm^3)

V_2 : Numune ile doldurulmuş suyun son hacmi (dm^3)

Özgül ağırlık tayini her uçucu kül agregası için yapılmış ve ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kuru özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.40'da ve suya doymuş yüzey kuru özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.41'de verilmiştir.

Çizelge 6.40 Uçucu kül agregası kuru özgül ağırlığı

Termik santral	Kuru özgül ağırlığı (kg/m ³)
İskenderun Sugözü	2 097
Çayırhan	2 025
Tunçbilek	1 821
Seyitömer	1 918
Orhaneli	1 931
Çatalağzı	1 673

Çizelge 6.41 Uçucu kül agregası suya doymun yüzey kuru özgül ağırlığı

Termik santral	Suya doymun yüzey kuru özgül ağırlığı (kg/m ³)
İskenderun Sugözü	1 742
Çayırhan	1 699
Tunçbilek	1 459
Seyitömer	1 521
Orhaneli	1 625
Çatalağzı	1 483

6.5.3 Agregaya su emme oranı tayini

Beton karışımında suyun bir kısmı çimento hidratasyonu için, geri kalan kısmı ise betonda çalışabilirliği sağlamak için kullanılır. Agregaya eklenecek su miktarını hesaplayabilmek için absorpsiyon kapasitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Absorpsiyon kapasitesi, agreganın absorplayabileceği maksimum su miktarını ifade eder. Bu miktar da, agreganın suya doymuş yüzey kuru ağırlığı ile etüv kurusu ağırlığı arasındaki farktır. Normal agreganın çoğunda absorpsiyon kapasitesi %2'yi geçmez. Bu duruma normal olmayan absorpsiyon kapasiteleri yüksek poroziteyi ifade eder. Bu nedenle hafif agregalar yüksek absorpsiyon kapasitesine sahip olmaya eğilimlidirler. Bunun yanı sıra etkin absorpsiyon ifadesi de, hava kurusu durumundaki agregayı, suya doymuş yüzey kuru hale getirmek için gereken su miktarını ifade eder. Saklanma koşullarındaki agreganın hava kurusu durumuna yakın olduğu kabul edilirse, bu agreganın suya doymuş yüzey kuru duruma ulaşması için kısa bir süre gerekmektedir. Birçok durumda etkin absorpsiyon değeri, agreganın 30 dakika içerisinde absorplayabileceği suyu ifade eder. Bu durumdan sonraki absorpsiyon çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle, hafif agregaların su emme oranı kadar su emme hızları da büyük önem arz etmektedir. Bu da hafif agregaların kullanılmadan önce belirli bir miktarda suyla doyurulmasını gerektirmektedir (Mindess ve Ve Young, 1981).

Kütlece su emme oranı, değişmez kütleyle kadar kurutulmuş taşın absorbe edebileceği su kütlesinin, taşın kütlesine oranıdır (TS 699, 1987).

105 ± 5°C'de etüvde 24 saat bekletilen numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Oda sıcaklığına kadar soğutulmuş olan numuneler içinde 20°C ± 5°C sıcaklıkta su bulunan uygun büyüklükte ve derinlikte bir kap içerisine, yüksekliklerinin yaklaşık 1/4'üne kadar suya daldırılmıştır. Sırasıyla 15, 30, 45, 60 dakika ve 24 saat suda bekletilmiştir. Bu süre zarfında kaptaki su yüksekliğinin deney numunelerinin üzerini yaklaşık 1,5 cm – 2 cm örtecek seviyede olması sağlanmıştır. Sudan çıkarılan deney numuneleri bir kurutma havlusu ve kurutma kağıdı yardımı ile suya doymuş yüzey kuru hale getirildikten sonra, bekletilmeksizin 0.1 g hassasiyetle tartılmıştır (W₁). Daha sonra deney numuneleri değişmez kütleyle gelinceye kadar 105°C ± 5°C'de etüvde 24 saat kurutulmuştur. Desikatör içerisinde soğutulduktan sonra 0,1 g hassasiyetle tartılarak kütlesi bulunur (W₂).

Elde edilen bu değerler kullanılarak (6.4) eşitliği yardımı ile agregaların kütlece su emme oranı hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$m = \frac{W_1 - W_2}{W_2} 100 \quad (6.4)$$

Burada;

m: Agreganın kütlece % su emme oranı (g/g, %)

W₁: Agreganın suya doymuş yüzey kuru haldeki kütlesi (g)

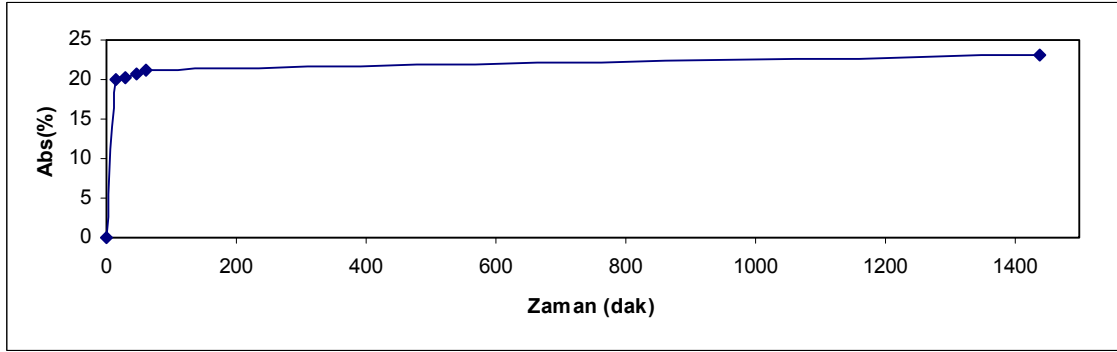
W₂: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş agreganın kütlesi (g)

6.5.3.1 İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.42 ve Şekil 6.41'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.42 İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	20.000	20.353	20.702	21.132	23.211



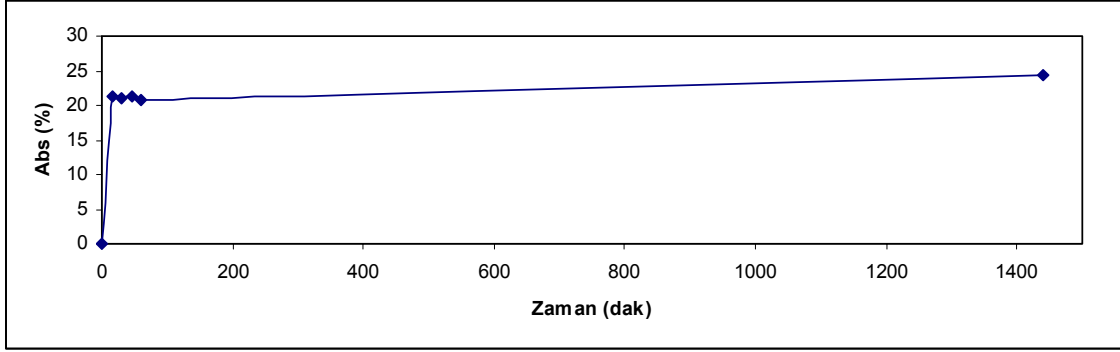
Şekil 6.41 İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.3.2 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.43 ve Şekil 6.42'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.43 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	21.177	20.904	21.331	20.830	24.316



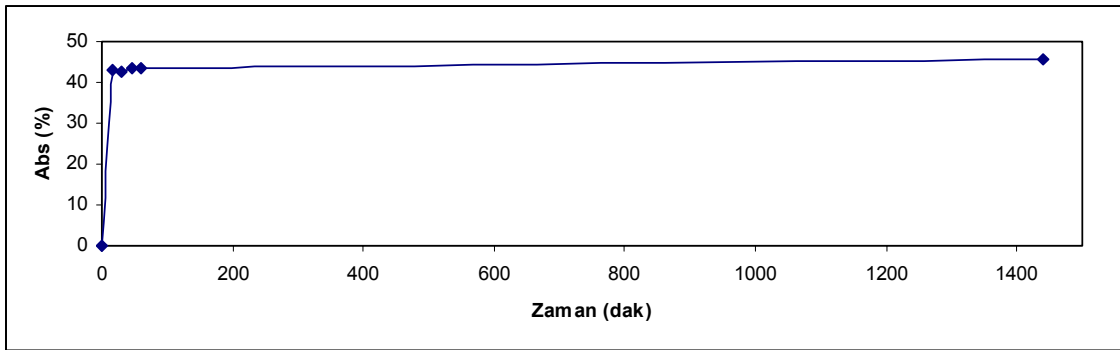
Şekil 6.42 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.3.3 Tunçbilek Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.44 ve Şekil 6.43'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.44 Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	43.080	42.749	43.447	43.385	45.868



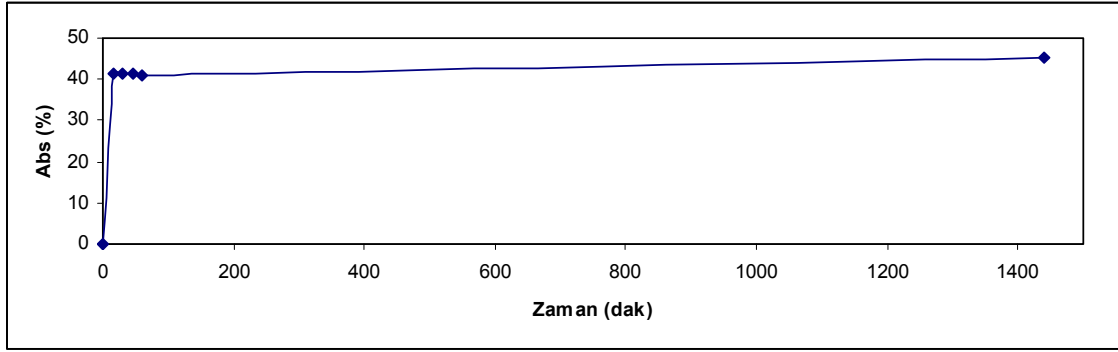
Şekil 6.43 Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.3.4 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.45 ve Şekil 6.44’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.45 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	41.295	41.337	41.314	41.027	45.139



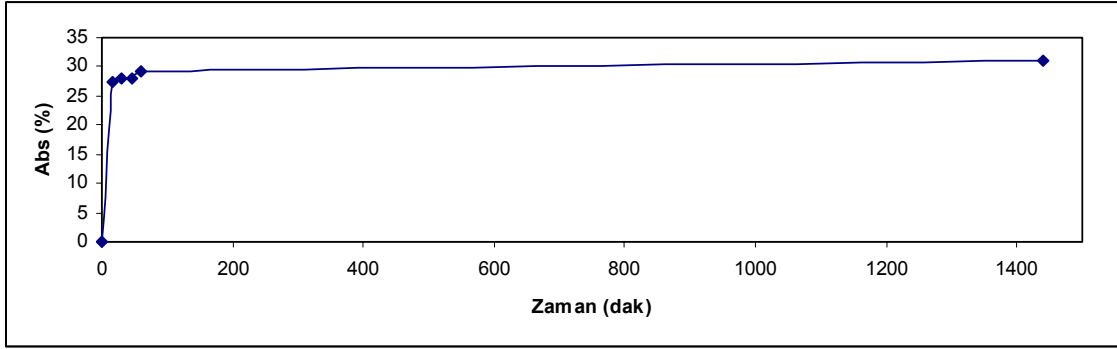
Şekil 6.44 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.3.5 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.46 ve Şekil 6.45’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.46 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	27.352	27.895	28.114	29.175	30.968



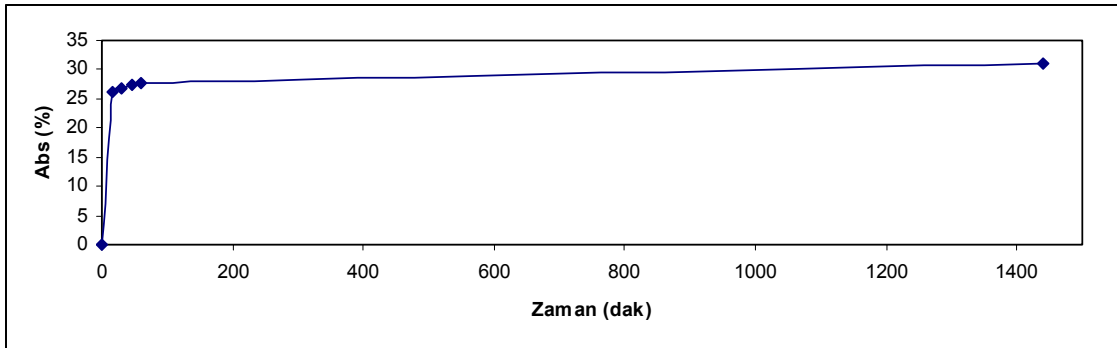
Şekil 6.45 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.3.6 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.47 ve Şekil 6.46'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.47 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası su emme oranı

Zaman (dakika)	15	30	45	60	24 saat
Su emme oranı (%)	26.284	26.796	27.321	27.780	30.907



Şekil 6.46 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası absorpsiyon eğrisi

6.5.4 Agrega elek analizi

Elek analizi deneyi, bir agrega karışımının, kare gözlü Standard deney eleklerinden elenmesi yolu ile en büyük tane çapı yönünden çeşitli büyüklüklerdeki agrega bölümlerinin, bütün agrega karışımına ağırlıkça oranı yüzdelerinin bulunmasıdır.

Betonda yükü ileten ve dolayısı ile taşıyan iskelet agrega taneleridir. Bu yüzden agrega yığındaki boşluk miktarı betonun mukavemeti açısından çok önemlidir. Boşlukların en az olması için betonda kullanılan agrega yığındaki tanelerin değişik çaplarda belirli miktarlarda bulunması gerekir. Çünkü eşit çaplı tanelerden oluşan bir yığında doluluk en çok % 75 olabilir. Doluluğu arttırmak için tanelerin arasına daha küçük ve değişik çapta taneler koymak gerekir. Ancak tane çapları küçüldükçe tanelerin toplam yüzeyi artar ve bu taneleri ıslatmak için gerekli su miktarı artar. Bu da istenmeyen bir durumdur. Her iki olayı birlikte inceleyen detaylar sonucunda bazı ideal eğriler elde edilmiştir. Agrega yığındaki tanelerin dağılımı bu eğrilere uyduğu takdirde o agregadan oluşan yığın hem boşluk oranı, hem de toplam yüzey alanı optimum değerlerde tutulmuş olur. Ancak mevcut agregaların büyük bir çoğunluğu bu eğrilere kendiliğinden uymazlar. Bu yüzden çeşitli dağılıma sahip agregalar belirli oranlarda karıştırılarak ideal eğrilere uyulmaya çalışılır (Akbulut vd., 2003).

Numune agrega iyice karıştırılarak homojen duruma getirilmiş ve böylece deney için gereken miktarda malzeme, deney numunesi olarak ayrılmıştır. Deney numunesi 105°C'e ayarlanmış etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartılmıştır (W_0).

Agregaların granülometri bileşimi veya tane büyüklüğü dağılımının saptanması için her ülkede bir elek serisi kabul edilmiştir. Türkiye'de tellerin örülmesinden meydana gelen kare örgülü elekler kullanılmaktadır. TS EN 933-2'ye göre, bu eleklerde boyutun aldığı en küçük değer 0.063 mm olup, bunun iki misli alınarak geometrik seri esasına göre diğer elek boyutları saptanmıştır. Buna göre elek boyutları; 0.063 mm, 0.125 mm, 0.250 mm, 0.500 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31.5 mm, 63 mm ve 125 mm'dir. Uçucu külden yapılan agregalar iri agregalar oldukları için elek analizinde 2 mm, 4 mm, 8 mm, ve 16 mm çapında elekler kullanılmıştır. Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konulmuş ve eleme hareketlerine başlanmıştır. Böylece elek sarsma makinesi 10-15 dakika süre ile çalıştırılmıştır. Bu şekilde yeterince sürdürülen eleme işlemi sonunda kalan her elekte kalan malzeme 0.1 g duyarlıkla tartılmıştır (W_n). Elek analizi deneyi sonucunda her elek üstünde kalan malzeme oranı, bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi olarak (6.5)

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır (Hüseyin vd., 2003)

$$S_n = \frac{W_n}{W_0} * 100 \quad (6.5)$$

Burada;

S_n : Herhangi bir (n) göz açıklığındaki elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_n : Göz açıklığı (n) elekte kalan malzeme ağırlığı (g)

W_0 : Deney numunesinin ağırlığı (g)

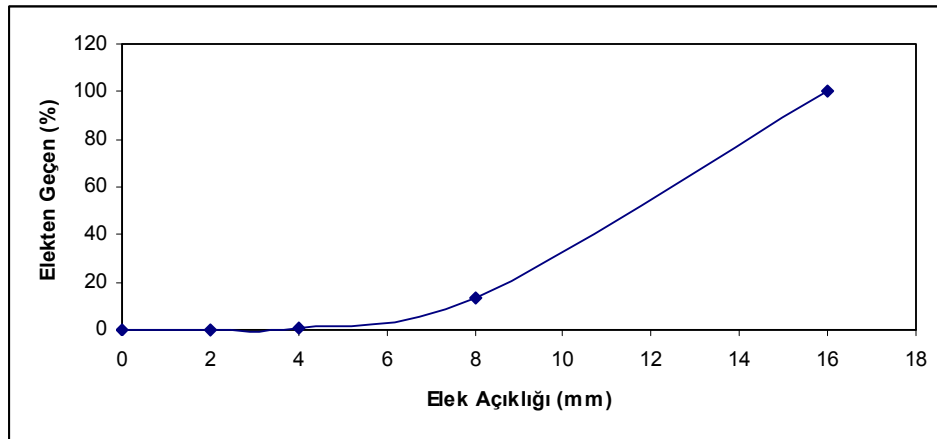
Elde edilen sonuçlar, elek üstünde kalan malzeme miktarı, elek üstünde kalan malzeme yüzdesi ve elekten geçen malzeme yüzdesi olarak kaydedilmiştir.

6.5.4.1 İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve Çizelge 6.48 ve Şekil 6.47’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.48 İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	99.67	99.18	86.5	0
Elekten geçen (%)	0	0.33	0.82	13.5	100



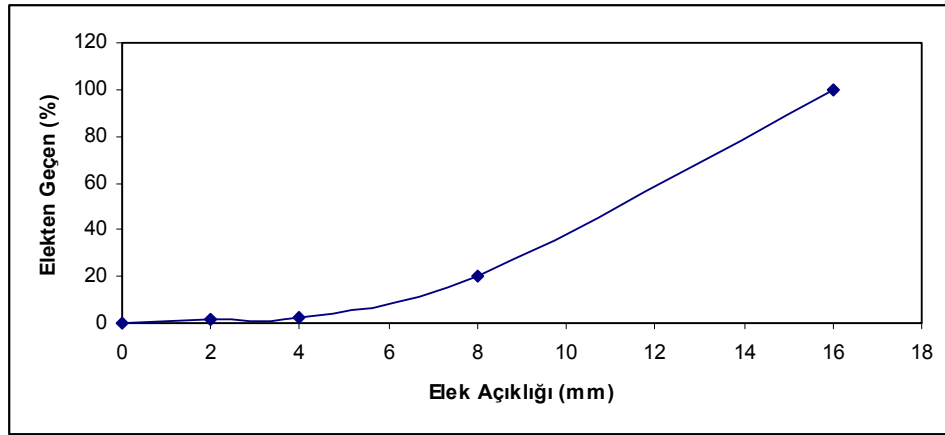
Şekil 6.47 İskenderun Sugözü Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.4.2 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve Çizelge 6.49 ve Şekil 6.48'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.49 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	98.67	97.9	80.14	0
Elekten geçen (%)	0	1.33	2.10	19.86	100



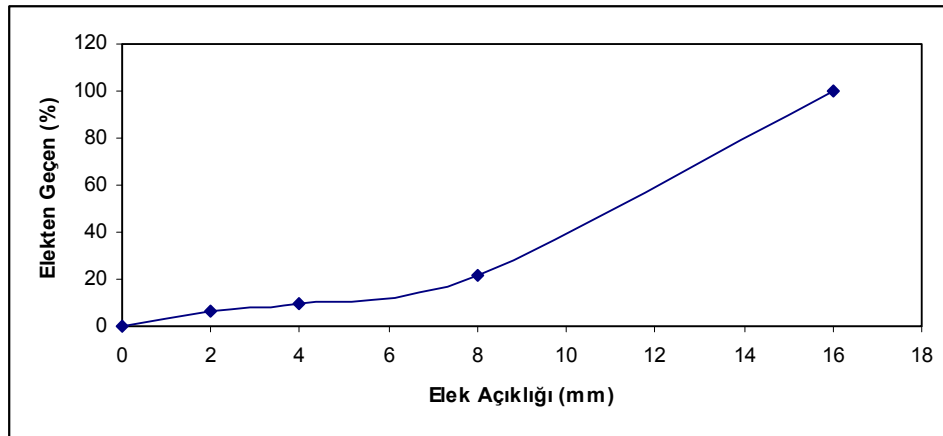
Şekil 6.48 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.4.3 Tunçbilek Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve izelge 6.50 ve Şekil 6.49'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.50 Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	93.23	90.20	78.22	0
Elekten geçen (%)	0	6.77	9.80	21.78	100



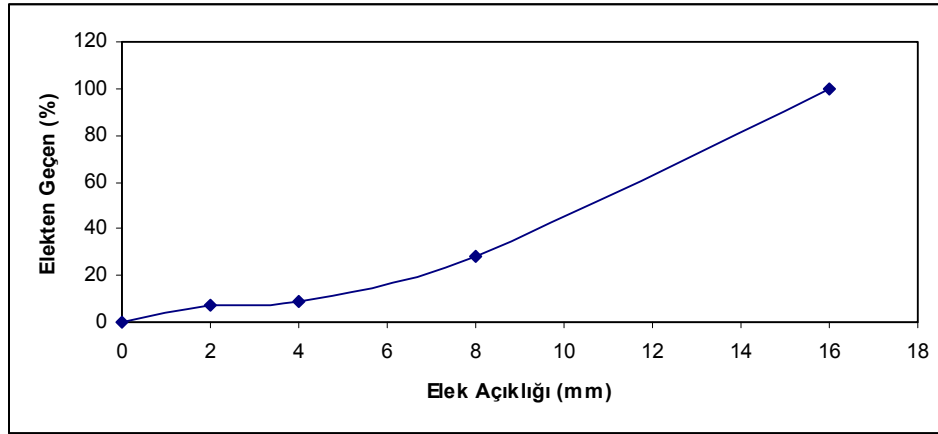
Şekil 6.49 Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.4.4 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve Çizelge 6.51 ve Şekil 6.50'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.51 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	92.88	91.53	72.04	0
Elekten geçen (%)	0	7.12	8.47	27.96	100



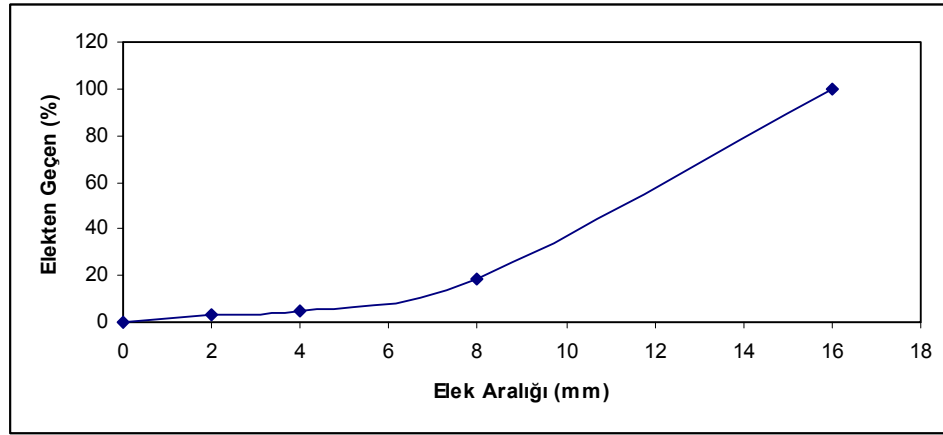
Şekil 6.50 Seyitömer Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.4.5 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve Çizelge 6.52 ve Şekil 6.51’da gösterilmiştir

Çizelge 6.52 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	96.61	95.39	81.82	0
Elekten geçen (%)	0	3.39	4.61	18.18	100



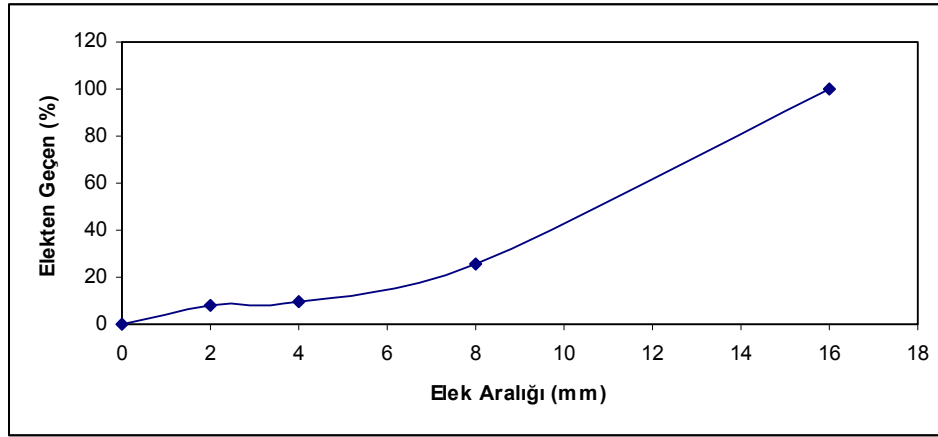
Şekil 6.51 Orhaneli Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.4.6 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi tayini yapılmış ve Çizelge 6.53 ve Şekil 6.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.53 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası elek analizi

Elek açıklığı (mm)	0	2	4	8	16
Elekte kalan (%)	100	91.72	90.24	74.46	0
Elekten geçen (%)	0	8.28	9.76	25.54	100



Şekil 6.52 Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü agregası granülometri eğrisi

6.5.5 Magnezyum sülfatta agrega don kaybı deneyi

Bu deney don deneyinin çabuklaştırılmış şekli olup magnezyum sülfat çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. TS 699 standardına göre agrega donma çözülme çevrimlerinin hepsinin tamamlanmasını takiben, çatlak oluşumu ve/veya kütle kaybı gibi değişiklikler açısından incelenmiştir (TS 699, 1987).

Deneyde kullanılan magnezyum sülfat çözeltisinin hazırlanması için 25°C - 30°C'deki 1 litre su içerisine 350 gram susuz magnezyum sülfat (MgSO₄) ilave edilmiş, tamamen çözününceye kadar karıştırılmıştır. Çözeltinin yoğunluğu 1,295 -1,308 gr/cm³ arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

Agrega numuneler 105°C ± 5°C'deki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş, desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve 5 mm - 10 mm elek arası numuneden 100 gram ve 10 mm - 20 mm elek arası numuneden 500 gram 0,1 g hassasiyetle tartılmıştır (W₀).

20 mm - 10 mm ve 10 mm - 5 mm arasındaki deney numuneleri ayrı ayrı uygun derinlikteki birer kap içerisine konularak üzerine oda sıcaklığındaki magnezyum sülfat çözeltisinden bütün deney numuneleri çözelti içine tamamen batacak şekilde ilave edilmiştir. 16 saat - 18 saat müddetle bu şekilde bekletilen deney numuneleri, kap içindeki çözelti, magnezyum sülfat çözeltisi kovasına geri aktarıldıktan sonra, 110°C±5°C sıcaklığa ayarlanmış hava dolaşımli etüvde kurutulmuştur. Kurutma işleminin takriben 4 saatte tamamlanması sağlanmıştır. Kurutma işleminin tamamlanmasından sonra etüvden çıkarılan deney numunesi kapları, açıkta oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işleminin tamamlanmasından sonra tekrar magnezyum sülfat çözeltisi konulmuştur. Her defasında, çözeltinin deney numunelerinin 1 cm – 2 cm üzerine kadar doldurulmasına dikkat edilmiştir.

Bu işlem 5 defa tekrarlanmış. Beşinci devir sonunda etüvden çıkarılan deney numuneleri soğutulduktan sonra su ile ıslatılmış ve su içinde 16 – 18 saat süre ile bekletilmiştir. Sonra deney numuneleri magnezyum sülfat tamamen temizleninceye kadar bol su ile yıkanmış. Yıkama işlemi en az 20 dakika sürmüştür. Deney numunesi parçalarının magnezyum sülfat tamamen temizlenip temizlenmediğini kontrol etmek için yıkama suyundan alınan yaklaşık 15 ml süzüntüye 1 - 2 ml derişik hidroklorik asit (HCl) ve 5 ml kadar %10'luk baryum klorür (BaCl₂) çözeltisi ilave edilmiştir. Beyaz bir bulanıklık (BaSO₄) meydana geliyorsa çözeltide SO₄⁻² iyonlarının mevcut olduğu anlaşılır ve yıkama işlemine devam edilmiştir.

Bu şekilde magnezyum sülfat artıklarından tamamen temizlenen deney numuneleri bundan

sonra $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş, desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve her grup kendi küçük delikli eleğiyle; 20 mm - 10 mm arasındakiler gör açıklığı 10 mm olan elekten, 10 mm - 5 mm arasındakiler göz açıklığı 5 mm olan elekten elenmiş ve bu elekler üzerinde kalan kısımlar 0,1 g duyarlıkla tartılmıştır (W_1). Bu eleklerden geçen kısımlar don kaybı olarak kabul edilmektedir (TS 699, 1987).

Magnezyum sülfat don kaybı her grup deney numunesi için ayrı ayrı (6.6) eşitliği ile hesaplanmıştır (TS 699, 1987).

$$k_d = \frac{W_0 - W_1}{W_0} 100 \quad (6.6)$$

Burada;

k_d : Agreganın magnezyum sülfatta don kaybı (%)

W_0 : Deney numunesinin başlangıç kütlesi (g)

W_n : Deneyden sonra elek üzerinde kalan deney numunesinin kütlesi (g)

Bu şekilde her grup için bulunan don kaybı değerlerinden (6.7) eşitliği ile agreganın toplam don kaybı hesaplanmıştır.

$$k_{dt} = 0.6k_{d1} + 0.4k_{d2} \quad (6.7)$$

Burada;

k_{dt} : Agreganın toplam magnezyum sülfatta don kaybı (%)

k_{d1} : 20 mm - 10 mm elekler arasındaki deney numunesinin don kaybı (%)

k_{d2} : 10 mm - 5 mm elekler arasındaki deney numunesinin don kaybı (%)

Uçucu kül agregalarda magnezyum sülfat don kaybı deneyi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.54'de verilmiştir.

Çizelge 6.54 Agregat toplam magnezyum sülfat don kaybı deneyi sonuçları

Termik santral	Magnezyum sülfat don kaybı (%)
İskenderun Sugözü	4.7
Çayırhan	4.9
Tunçbilek	58.7
Seyitömer	48.6

6.6 Beton Deneyleri ve Sonuçları

6.6.1 Beton dizaynı

Hafif beton karışım hesapları normal betonlarınkinden oldukça zordur, çünkü hafif beton üretiminde kullanılan agregaların su emmeleri, özgül ağırlıkları, nem ve karışım içerisindeki ince malzeme miktarı oldukça değişkendir. Bu sebepten dolayı bu betonların dizaynında normal betonlardaki gibi minimum su-çimento oranı ile başlamak mümkün değildir. Hafif betonların dizaynındaki en önemli zorluk, karışımda kullanılan hafif agregaların çok ve hızlı bir şekilde su emmeleridir. Bazı araştırmacılar karışımda nemli agregaların veya karıştırma işleminden önce bir miktar su emdirilmiş agregaların kullanılmasını önermektedir. Bu yapılmazsa hafif agrega verilen suyun bir kısmını emece, bunun sonucunda da çimento ve hidratasyonu için gerekli suyu bulamadığı için beton mukavemeti beklenen değerin altında olacaktır (Ulus, 1998).

Hafif betonların bileşim hesabı, TS 2511'e göre 1 m³ betonu meydana getirmek için gerekli çimento, kum, iri agrega ve su miktarını hesaplamak suretiyle yapılmıştır. TS 2511 standarda göre çimento dozu 300-500 kg/m³ arasında olmalıdır. Buna göre çimento dozu 400 kg/m³ olan beton karışım yapmak için hesap yapılmıştır.

Beton dizaynı hesabı her beton için yapıldıktan sonra denemeler için her betonda karışımı 14m³'lük hacimlere geçilmiş, bu hacimlerdeki madde miktarları hesaplanmış ve kuru gevşek tartımlar alınmıştır.

Tüm beton denemelerinde çimento ağırlığının %2'si oranında RHEOBUILD® 1000 akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve çimento ağırlığının %0.1'i oranında MICRO® AIR 200 hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı maddeleri karışım suyuna eklenmiştir.

Malzemeler karıştırıldıktan sonra işlenebilme, çökme değeri ve birim ağırlığı bakılarak su ve agrega miktarında düzeltme yapılmıştır. Eklenen su, agrega ve katkı maddeler hesaba katılarak 1m³'deki beton dizaynı çıkarılmıştır.

Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar çok hızlı ve uzun süre su emdikleri için bu tür betonların karışımında sabit su miktarı belirlemek oldukça zordur. Bu sebepten dolayı denemelerde bütün agregalar 105°C'de etüvde kurutulmuştur. Böylece bulundurduğu rutubetten kaynaklanan sorunlar da ortadan kaldırılmıştır. Beton dizaynlarında hidratasyon için gerekli olan su miktarına ek olarak denemelerin 30 dakika tamamlandığı kabul edilerek, agregaların 30 dakika su emme değerleri hesaplanmış ve su düzeltmeleri yapılarak dizaynlar

tamamlanmıştır.

İskenderun Sugözü betonu dizaynı Çizelge 6.55’de, Çayırhan betonu dizaynı Çizelge 6.56’de, Tunçbilek betonu dizaynı Çizelge 6.57’de ve Seyitömer betonu dizaynı Çizelge 6.58’de verilmiştir.

Çizelge 6.55 İskenderun Sugözü betonu dizaynı

Malzeme	İri agrega (% 20.35 nemli) İnce agrega (% 1.1 nemli)		Kuru agregalı	
	Ağırlık 1 m ³ ,de (kg)	Hacim 1 m ³ ,de (dm ³)	Ağırlık 1 m ³ ,de (kg)	Hacim 1 m ³ ,de (dm ³)
Çimento	390.3	122.7	390.3	122.7
Hava	-	29.3	-	29.3
İri agrega	577.5	331.6	479.8	228.8
İnce agrega	826.4	307.2	817.5	303.9
Su	202.3	202.3	308.3	308.3
Hava sürükleyici	0.4	0.4	0.4	0.4
Akışkanlaştırıcı	7.8	6.5	7.8	6.5

Çizelge 6.56 Çayırhan betonu dizaynı

Malzeme	İri agrega (% 20.90 nemli) İnce agrega (% 1.1 nemli)		Kuru agregalı	
	Ağırlık 1 m ³ ,de (kg)	Hacim 1 m ³ ,de (dm ³)	Ağırlık 1 m ³ ,de (kg)	Hacim 1 m ³ ,de (dm ³)
Çimento	393.2	123.7	393.2	123.7
Hava	-	29.5	-	29.5
İri agrega	559.0	329.0	462.4	228.4
İnce agrega	832.6	309.6	823.6	306.2
Su	201.1	201.2	305.1	305.1
Hava sürükleyici	0.4	0.4	0.4	0.4
Akışkanlaştırıcı	7.9	6.6	7.9	6.6

Çizelge 6.57 Tunçbilek betonu dizaynı

Malzeme	İri agregası (% 42.75 nemli) İnce agregası (% 1.1 nemli)		Kuru agregalı	
	Ağırlık 1 m ³ 'de (kg)	Hacim 1 m ³ 'de (dm ³)	Ağırlık 1 m ³ 'de (kg)	Hacim 1 m ³ 'de (dm ³)
Çimento	391.6	123.2	391.6	123.2
Hava	-	29.4	-	29.4
İri agregası	470.3	322.4	328.9	180.6
İnce agregası	829.2	308.2	820.2	304.9
Su	209.8	209.8	354.9	354.9
Hava sürükleyici	0.4	0.4	0.4	0.4
Akışkanlaştırıcı	7.8	6.6	7.8	6.6

Çizelge 6.58 Seyitömer betonu dizaynı

Malzeme	İri agregası (% 41.34 nemli) İnce agregası (% 1.1 nemli)		Kuru agregalı	
	Ağırlık 1 m ³ 'de (kg)	Hacim 1 m ³ 'de (dm ³)	Ağırlık 1 m ³ 'de (kg)	Hacim 1 m ³ 'de (dm ³)
Çimento	388.8	122.3	388.8	122.3
Hava	-	29.3	-	29.3
İri agregası	473.7	311.5	335.9	175.2
İnce agregası	823.3	306.2	814.3	302.9
Su	223.8	223.8	363.4	363.4
Hava sürükleyici	0.4	0.4	0.4	0.4
Akışkanlaştırıcı	7.8	6.5	7.8	6.5

6.6.2 Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve saklama koşulları

Betonların karıştırılmasında 45 lt kapasiteli laboratuvar çapta bir mikser kullanılmıştır. Denemelerde uçucu kül agregaları granülometri eğrilerine bakılarak iri agrega olarak kullanılmış ve ince agrega olarak da kum kullanılmıştır. Uçucu külden yapılan agregalardan İskenderun Sugözü, Çayırhan, Tunçbilek ve Seyitömer uçucu kül agregalar ile beton numuneler üretilmiştir. Denemelere başlamadan önce çimento, iri agrega (uçucu kül agregası), ince agrega (kum), su ve katkı maddeler tartılarak hazırlanmış ve agregalara beton suyu verilerek 30 dakika bir ön emdirme işlemi uygulanmıştır. Betoniyere bütün malzemeler konulduktan sonra karışımda homojenlik sağlanana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Bu süre yaklaşık olarak 5 dakika kadardır. Karıştırma işlemi sonunda çökme değeri ölçülmüştür. Çalışmalarda sabit su miktarının belirlenmesi için çökme değerinin 2.5 – 10 cm ile sınırlı kalmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca dizaynda hesaplanan birim ağırlık elde edilen taze betonun birim ağırlığı arasındaki farkın %1'den fazla olmamasına özen gösterilmiştir. İstenilen çökme değerine ulaşana kadar suyun bağlayıcıya oranı değiştirilmiş, deney tekrarlanmıştır. İstenilen dizaynlar elde edildiğinde taze beton numuneleri 7x7x7 cm'lik 6'şar adet küp kalıba, 20 cm yüksekliğindeki ve 10 cm çaptaki 6'şar adet silindir kalıba üç kademede ve her kademede 25'er defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Numune yüzeyleri malayla düzeltilmiştir. Kalıplar içinde 1 gün bekletilen numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra, su sıcaklığı $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de ayarlı kür havuzuna konulmuş ve 28 gün süresince bekletilmiştir.

6.6.3 Taze beton üzerinde yapılan deneyler

6.6.3.1 Taze betonda çökme deneyi

Çökme deneyi, betonun kıvamının belirlenmesi ve agrega rutubetlerinde meydana gelebilecek olası artışların gözlemlenmesi için yapılır.

Hafif betonların işlenebilme karakteristikleri normal agregalı betonlarınkinden oldukça farklılık göstermektedir. Bu betonların işlenebilmeleri çok düşük ise bunun neticesinde beton iyi bir şekilde yerleştirilemeyecek ve vibratör kullanımı sonunda hafif ince malzemeler yüzeyde toplanarak segregasyonun oluşmasına sebep olacaklardır. İşlenebilmeleri çok yüksek ise taneler arasında yeterli kohezyonun olmayışından dolayı segregasyon riski artacak ve sıkıştırmadan sonra beton tabana çökerek yüzeyde suyun toplanmasına (betonun kusmasına) sebep olacaktır. Yapılan birçok çalışma bu betonların ideal bir şekilde yerlerine yerleştirilebilmeleri için çökme değerlerinin 2.5 ile 10 cm arasında olmasını yeterli olacağını göstermiştir (Ulus, 1998).

Taze beton çökme denemeleri TS EN 12350–2 standardına göre yapılmıştır. Çökme deneyi, kesik koni şeklinde bir kalıba doldurulan taze betonun kalıbın çekildikten sonraki çökme miktarının cm yada mm olarak ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Deneyde, çimento hamurundan kısa sürede olumsuz etkilenmeyen 1.5 mm kalın metalden yapılmış, iç yüzeyi düzgün, taban çapı 200 mm, üst yüz çapı 1020mm ve yüksekliği 300 mm olan tepesi kesik koni şeklindeki metal bir kalıp, kalıbın üzerine yerleştirileceği, su emmeyen düz bir plaka ve 16 mm çapında ucu yuvarlatılmış şişleme çubuğu kullanılmıştır.

Kalıbın iç yüzeyi ile taban plakası, yüzeyde serbestçe su kalmayacak şekilde nemlendirilmiş ve kalıp yatay konumdaki taban plakası üzerine yerleştirilmiştir.

Taze beton, kalıba eşit kalınlıkta üç tabaka halinde ve her tabakanın sıkıştırılmış durumdaki kalınlığı, kalıp yüksekliğinin yaklaşık olarak 1/3'ü olacak şekilde doldurulmuştur. Doldurma esnasında her tabaka, sıkıştırma çubuğu ile 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma çubuğu darbeleri, her tabakanın yüzey alanına düzgün dağılım olacak şekilde yapılmıştır. En üst tabakanın sıkıştırılması esnasında, taze beton seviyesinin, kalıp üst yüzey seviyesinden daha aşağıya düşmesi halinde, beton seviyesinin sürekli olarak kalıp üst yüzey seviyesinden daha yukarıda olması sağlanacak şekilde beton ilave edilmiştir. Sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra, kalıp üst seviyesinden taşan fazla beton, sıkıştırma çubuğuna kesme ve yuvarlama hareketleri ile alınmıştır. Taban plakasına dökülen beton temizlenmiş ve

kalıp el tutamaklarından tutularak, düşey şekilde yukarıya doğru çekilerek alınmıştır.

Kalıbın çekilme işlemi 5 – 10 saniyede tamamlanmıştır. Tüm deney işlemi, betonun kalıba doldurulmaya başlanılmasından, kalıbın çekilerek alınmasına kadar her hangi bir kesinti olmaksızın 150 saniye içerisinde tamamlanmıştır.

Kalıbın alınmasından hemen sonra, kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütesinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçülen çökme değerleri Çizelge 6.64’de verilmiştir.

6.6.3.2 Taze beton birim ağırlığı deneyi

Taze betonun birim ağırlığı (yoğunluğu) belirli bir hacimdeki betonun ağırlığının ölçülmesi ile hesaplanır.

Deneyde sızdırmaz ve deney esnasında şeklini koruyabilen, çimento hamurundan kısa sürede olumsuz etkilenmeyen metalden yapılmış iç yüzeyi pürüzsüz kap kullanılmıştır.

Taze beton darsı (W_1) alınmış hacmi (V) belli kap içine üç eşit kademedeki, 25’er defa şişlenerek yerleştirilmiş ve titreşim masası yardımı ile sıkıştırılmıştır. Kap içeridekiler ile birlikte tartılarak kütlesi belirlenmiş (W_2) ve belirlenen kütle kaydedilmiştir. Tayin edilen değerler (6.8) eşitliği yardımı ile hesaplanmıştır (TS EN 12350–6, 2002).

$$g = \frac{W_1 - W_2}{V} \quad (6.8)$$

Burada;

g : Taze beton birim ağırlığı (kg/m^3)

W_1 : Kabın kütlesi (kg)

W_2 : Kabın, içerisindeki numune ile birlikte toplam kütlesi (kg)

V : Kabın hacmi (m^3)

Beton dizaynları sırasında hesaplanan teorik birim ağırlıkları ile elde edilen taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.59’de verilmiştir.

Çizelge 6.59 Taze betonda çökme ve birim ağırlığı

Beton	Çökme (cm)	Teorik taze beton birim ağırlığı (kg/dm³)	Deneysel taze beton birim ağırlığı (kg/dm³)
İskenderun sugözü	3.0	2.004	1.981
Çayırhan	2.5	1.993	2.004
Tunçbilek	8.0	1.904	1.910
Seyitömer	2.5	1.911	1.887

6.6.4 Sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler

6.6.4.1 Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabi tutulması

Bu işlem TS EN 12390–2 standarda uygun şekilde yapılmıştır. Dayanım deneyleri 7cm boyutundaki standart küp numuneler ve çapı 10 cm, yüksekliği 20 cm olan standart silindir numuneler kullanılarak yapılmıştır. Numuneler hazırlanırken, taze beton kalıplara konmadan kalıpların iç yüzeyleri hafifçe yağlanmıştır. Sonra taze beton kaplara üç eşit kademede, 25'er defa şişlenerek yerleştirilmiş ve titreşim masası yardımı ile sıkıştırılmıştır. Beton kalıplara konularak sıkıştırıldıktan sonra numunenin üst yüzeyi masterlanarak düzeltilmiştir. Deney numuneleri kalıp içerisinde 24 saat olmak üzere yeterli sertliğe ulaşınca kadar, şoktan titreşimden ve kurumadan korunarak, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki ortamda tutulmuştur. Deney numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonra deney anına kadar $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde küre tabi tutulmuştur. Bu deneyde kullanılan tüm numuneler aynı koşullarda hazırlanıp küre tabi tutulmuştur (TS EN 12390–2, 2002).

6.6.4.2 Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini

Beton basınç dayanımı testleri TS EN 12390–3 standarda göre yapılmıştır. Deney prensibi, numuneler basınç deney makinesinde kırılıncaya kadar yüklenerek numunenin taşıyabildiği en büyük yük belirlemesiyle beton basınç dayanımının hesaplanmasına dayanmaktadır.

Hazırlanan 7cm boyutundaki standart küp numuneler 7 ve 28 gün sonra basınç dayanım deneyine tabi tutulmuşlardır.

Numune, deney makinesine yerleştirilmeden önce, yüzeyindeki fazla su kurutulmuştur. Küp numuneler, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde ve makinenin alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Numune boyutları ve yükleme hızı makinede ayarlandıktan sonra makine çalıştırılarak numuneler en büyük yüke ulaşınca kadar sabit hızda uygulanmış ve numune kırılmıştır. Yükleme hızı bütün beton numunelerde 3 kN/s olarak seçilmiştir. Numune kırılma yükü değerleri kN olarak belirlenmiş (P) ve basınç dayanımı değerleri N/mm^2 olarak (6.9) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_b = \frac{P}{A} \quad (6.9)$$

Burada;

f_b : Sertleşmiş beton basınç dayanımı (N/mm^2)

P: Kırılma yükü (N)

A: Yükün uygulandığı alan (mm^2)

Hesaplanan beton dizaynları ile beton dökülmüş, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6.60'de verilmiştir.

Çizelge 6.60 Sertleşmiş betonlarda basınç dayanımı

Numune yaşı (gün)	İskenderun Sugözü (N/mm^2)	Çayırhan (N/mm^2)	Tunçbilek (N/mm^2)	Seyitömer (N/mm^2)
7	29.92	24.63	16.40	12.35
28	38.38	27.88	20.89	13.81

6.6.4.3 Sertleşmiş betonda yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme dayanımı denemeleri TS EN 12390–6 standarda göre yapılmıştır. Silindirik şekilli deney numuneleri, uzunluğu boyunca dar bir alana, basınç yükü uygulanarak yüklenir ve yükleme doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çekme kuvveti sonucunda, numunedeki çekme gerilmesi parçalanmaya yol açmaktadır. Yarmada çekme dayanım deneyi, bu yüzeyin kırılması için gerekli yük miktarı tespitine dayanmaktadır (TS EN 12390–6, 2002).

Çapı 10 cm, yüksekliği 20 cm olan standart silindirik numuneler 7 ve 28 gün kür havuzunda tutulduktan sonra yarmada çekme dayanımı denemelerine tabi tutulmuşlardır.

Su içinde bekletilen numuneler, deney için sudan çıkarıldıktan sonra, deney makinesine yerleştirilmeden önce silinerek temizlenmiştir.

Deney numunesi, sabitleme cihazı kullanılarak, makineye tam merkezlenmek suretiyle yerleştirilmiştir. Sıkıştırma şeritleri ve yükleme parçaları numunenin yükleme düzleminde üst ve alt kısmı boyunca dikkatlice yerleştirilmiştir. Yükleme hızı makineye girildikten sonra makine çalıştırılarak numuneler en büyük yüke ulaşmaya kadar sabit hızda uygulanmış ve

numune kırılmıştır. Yükleme hızı bütün beton numunelerde 0.8 kN/s olarak seçilmiştir. Numune kırılma yükü değerleri kN olarak kaydedilmiş (P) ve yarmada çekme dayanımı değerleri N/mm² olarak (6.10) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_{yc} = \frac{2 * P}{\pi * l * d} \quad (6.10)$$

Burada;

f_{yc} : Sertleşmiş betonun yarmada çekme dayanımı (N/mm²)

P: Uygulanan kırılma yükü (N)

d: Numune çapı (mm)

l: Numune boyu (mm)

Dökülen betonların 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları ölçülmüştür ve sonuçlar Çizelge 6.61'de verilmiştir.

Çizelge 6.61 Sertleşmiş betonlarda yarmada çekme dayanımı

Numune yaşı (gün)	İskenderun Sugözü (N/mm ²)	Çayırhan (N/mm ²)	Tunçbilek (N/mm ²)	Seyitömer (N/mm ²)
7	1.52	1.36	0.84	0.94
28	1.61	1.46	1.37	1.17

6.6.4.4 Sertleşmiş betonda su emme oranı tayini

TS 3624'e göre deney numuneleri 105°C sıcaklıktaki bir etüvde 24 saat kurutulmuş ve etüv kuru ağırlığı (W_1) saptanmıştır. Etüv kuru ağırlığı saptanmış numuneler soğutulduktan sonra $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içine batırılmıştır. 24 saat suda bekletilen numunelerin yüzeyi bir havlu ile kurulandıktan sonra suya doymuş yüzey kuru tartımları (W_2) alınmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak (6.11) eşitliği yardımı ile sertleşmiş betonun kütlece su emme oranı hesaplanmıştır (TS 3624, 1981).

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100 \quad (6.11)$$

Burada;

m: Sertleşmiş betonda ağırlıkça su emme oranı (%)

W_1 : Sertleşmiş beton kuru ağırlığı (kg)

W_2 : Sertleşmiş beton suya doymun yüzey kuru ağırlığı (kg)

Sertleşmiş betonlarda kütlece su emme oranı tayini yapılmış ve Çizelge 6.62'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.62 Sertleşmiş beton kütlece su emme oranı

Beton	Su emme oranı (%)
İskenderun sugözü	9,611
Çayırhan	10,767
Tunçbilek	11,719
Seyitömer	13,147

6.6.4.5 Sertleşmiş beton birim ağırlığı tayini

Sertleşmiş beton etüv kurusu birim ağırlığı (yoğunluğu) TS EN 12390-7'e göre yapılmıştır. Numune 105°C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde 24 saat süre ile kurutulmuş ve oda sıcaklığına kadar desikatörde soğutularak tartılmıştır (W). Numune boyutları ölçülmüş ve hacmi (V) hesaplanmıştır. Sertleşmiş beton etüv kurusu birim ağırlığı tayin edilen kütlesi ve hacmi kullanılarak (6.12) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D = \frac{W}{V} \quad (6.12)$$

Burada;

D: Sertleşmiş betonun etüv kurusu birim ağırlığı (kg/m³)

W: Sertleşmiş beton etüv kurusu ağırlığı (kg)

V: Sertleşmiş beton hacmi ağırlığı (m³)

Sertleşmiş betonlarda etüv kurusu birim ağırlığı tayini yapılmış ve Çizelge 6.63'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.63 Serleşmiş beton etüv kurusu birim ağırlığı

Beton	Etüv kurusu birim ağırlığı (kg/dm³)
İskenderun Sugözü	1,785
Çayırhan	1,804
Tunçbilek	1,725
Seyitömer	1,643

6.7 Sonuçlar ve neriler

Beton türetiminde, agrega olarak uçucu kül kullanımı ile atık malzeme değerlendirilmiş ve evre kirliliği nlenmiştir.

Türkiye’de bulunan Çayırhan, Orhaneli, Seyitömer, Çatalağzı, İskenderun Sugözü ve Tunçbilek termik santrallerinden aldığımız uçucu kül numuneleri ile yaptığımız analizleri ile bazı sonuçlara varılmıştır. Bunlar, özellikle uçucu küllerin kimyasal bileşenlerinin değişken olduğu ve bazı küllerin belirtilen standartlara uygun olmayıştır. Uçucu küllerin kızıdırma kaybı, klorür, kükürt trioksit ve serbest kalsiyum oksit değerleri TS EN 196–2, TS EN 451–1, TS EN 196–21, TS EN 450 standartlarına göre uygun görülmekte, fakat Çayırhan ve Orhaneli uçucu külün serbest CaO miktarı standart değerinden biraz yüksek olduğu görülmektedir.

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri dikkate alındığında ASTM C 618 ve TS 639 standardına göre tüm uçucu küller F sınıfı uçucu küldür.

şekil-6.13’de görüldüğü gibi Çayırhan termik santrali uçucu külü, iri ve küresel formda olup, ince tanecikli uçucu küllere oranla daha boşluklu bir yapıya neden olmaktadır.

şekil 6.14’de görüldüğü gibi Orhaneli termik santrali uçucu külü, ince tanecikli ve küresel formda olup, iri tanecikli uçucu küllere oranla daha az boşluklu bir yapıya neden olmaktadır.

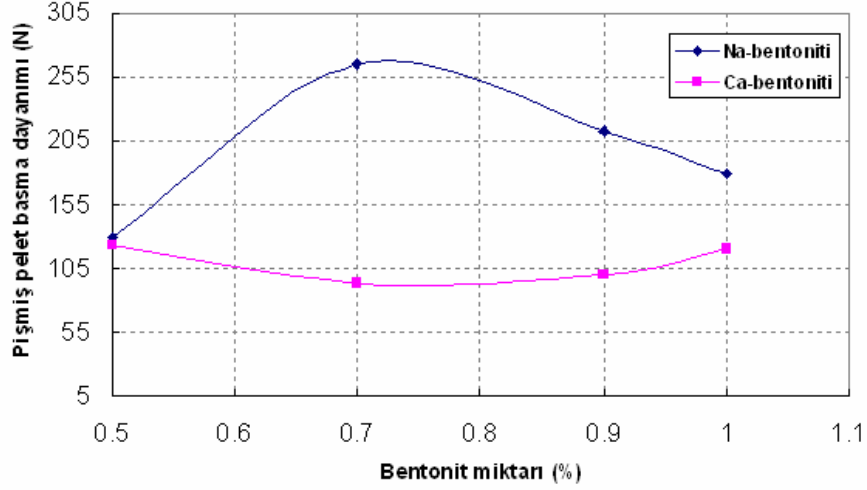
şekil-6.15’de görüldüğü gibi Seyitömer termik santrali uçucu külün mikroyapısı oldukça kendine özgü, şekilsiz ve süngerimsi dokusuyla su ihtiyaını artırıcı niteliktedir.

şekil-6.16’de görüldüğü gibi Çatalağzı termik santrali uçucu külü, hem iri hem ince tanecikli ve küresel forma sahiptir.

şekil-6.17’de görüldüğü gibi İskenderun Sugözü termik santrali uçucu külü, daha ince tanecikli ve küresel formda olup, iri tanecikli uçucu küllere oranla daha az boşluklu bir yapıya neden olmaktadır.

şekil-6.18’de görüldüğü gibi Tunçbilek termik santrali uçucu külün mikroyapısı ise oldukça kendine özgü, daha büyük tanecikli, şekilsiz ve süngerimsi dokusuyla su ihtiyaını artırıcı niteliktedir.

Pelet trimi için, uygun bentonit miktarını bulmak için öncellikle Çayırhan uçucu külüne %0,5, %0,7, %0,9 ve %1,0 oranlarda Na-bentoniti ve Ca-bentoniti katılarak peletler türetilmiş ve daha sonra dayanımın en yüksek olan oran seçilerek diğer uçucu küllere uygulanmıştır.



Şekil 6.53 Bentonit miktarına bağlı olarak Çayırhan uçucu külü pişmiş pelet basma dayanımının değişimi

Sonuç olarak Na-bentonitin %0,7 oranında kullanılması uygun bulunmuştur(Çizelge 6.26 ve Şekil 6.53).

Uçucu küllerin mikroyapıları dikkate alındığında Tunçbilek ve Seyitömer uçucu küller şekilsiz ve süngerimsi dokusuyla su ihtiyacı artırıcı nitelikte olup bunların pelet numuneler en çok (ağırlıkça %25.13 ve %23.49) oranda nem içermiştir. Diğer uçucu küller daha az süngerimsi yapısı ile bunların pelet numuneler daha az oranda nem içermiştir. Diğer pelet numunelerin nem oranı yaklaşık olarak birbirleriyle aynı olduğu saptanmıştır (Çizelge 6.24).

Çizelge 6.26 ile Çizelge 6.31 arasında görüldüğü gibi üretilen pelet numunelerinden en yüksek pişmiş pelet basma dayanımı değerlerini, İskenderun Sugözü uçucu külü peleti ve Çayırhan uçucu külü peleti göstermiştir. Pelet numunenin nem oranı azalması ile pişmiş pelet basma dayanımı artmış olduğu gözükmiştir. Fiziksel yapılarına bağlı olarak bu iki uçucu külün küresel ve süngerimsi olmayan dokuları ile su ihtiyacı azaltıcı özelliğe sahip olması ve daha az gözenekli yapı ortaya çıkması ile peletin dayanımı artmıştır olarak gözükmektedir.

Şekil 6.27'de görüldüğü gibi İskenderun Sugözü uçucu külü peletinin (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) boşlukları diğerlerine göre daha az ve daha düzenli dağılmış uçucu kül tanecikler birbirine daha sıkı bağlanmış olduğu görülmektedir. Bu yapı, agreganın dayanım ve su absorpsiyon özelliğine doğrudan iyi yönde etkilenmiştir.

Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'de görüldüğü gibi Çayırhan uçucu külü peletinin boşlukların büyüklüğü orta düzeyde ve düzenli dağılmış olduğu görülmektedir. Ca bentonitli pelet

numunenin boşlukları Na bentonitli pelet numuneninkinden daha büyük olduğu dolayısıyla Na bentoniti ile uçucu küller daha iyi bağlandığı görülmektedir.

Şekil 6.30'de görüldüğü gibi Tunçbilek uçucu külü peletinin (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) diğerlerine göre daha büyük ve düzensiz boşlukları olduğu görülmektedir. Bu yapı, agreganın dayanımsız ve daha çok su absorplayacağına sebep olmaktadır.

Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de görüldüğü gibi Seyitömer ve Orhaneli uçucu külü peletinin (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) mikroyapıları birbirine benzemekte ve boşlukların büyüklüğü orta düzeyde ve düzenli dağılmış olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu iki pelet numunenin dayanımları yakın çıkmıştır.

Şekil 6.33'de görüldüğü gibi Çatalağzı termik santrali uçucu külü peletinin (ağırlıkça %0,7 Na bentoniti) daha çok boşluklu yapısı ile az dayanımlı olduğu görülmektedir.

XRD sonuçlarından, uçucu küller bentonitle karıştırılarak ısıl işlem uygulanmasından sonra daha büyük yapıli bileşiklerin oluştuğu görülmüştür.

Agregalar üzerinde yapılan deneylerde en yüksek gevşek birim ağırlığını İskenderun Sugözü uçucu külü agregası (855.3 kg/m^3) ve Çayırhan uçucu külü agregası (818.1 kg/m^3) göstermiştir.

En yüksek su emme oranını Tunçbilek uçucu külü agregası ve en düşük su emme oranını ise İskenderun Sugözü uçucu külü agregası göstermiştir.

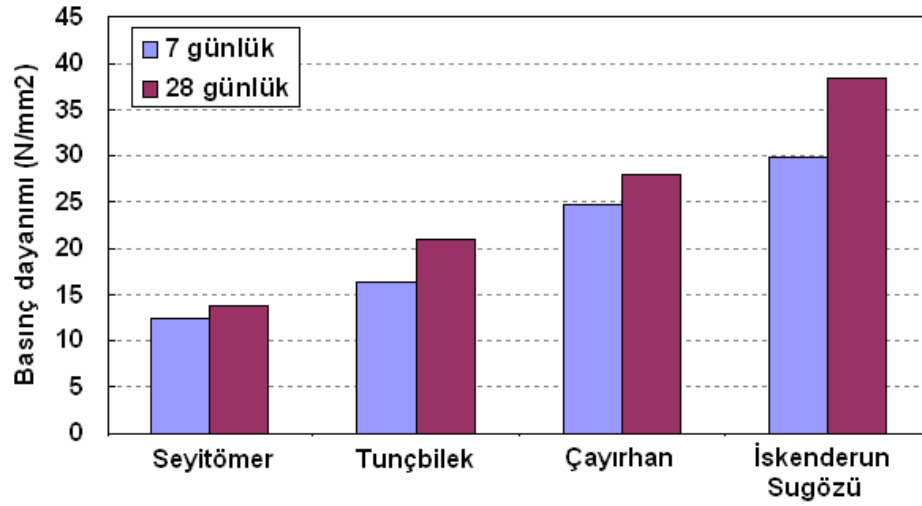
Termik santrallerden gelen tüm uçucu kül numunelerden iri agregalar üretildiği için uçucu kül agrega üzerinde yapılan elek analizinde tüm agregaların granülometri eğrileri birbirine benzeyen şekilde iri argeraların daha ağırlıklı olan eğriler çıkmıştır. Dolayısıyla beton üretiminde ince agrega olarak kum kullanılmıştır.

Agrega toplam magnezyum sülfat don kaybı deneyi sonuçlarına bakıldığında TS 3655'da iri agregaların magnezyum sülfat çözeltisindeki don kaybının kütlece % 18.0'nin altında olması gerektiğine göre İskenderun Sugözü uçucu külü agregası % 4.7 değeri ile ve Çayırhan uçucu külü agregası % 4.9 değeri ile uygun bulunmuştur. Ancak Tunçbilek ve Seyitömer uçucu kül agregaları sıra ile % 58.7 ve % 48.6 toplam magnezyum sülfattaki don kaybı değeri ile TS 3655 standard değerinden çok çok yüksek çıkmış ve standarda uymamıştır (Çizelge 6.54).

İskenderun Sugözü, Çayırhan, Tunçbilek ve Seyitömer uçucu kül agregalı 4 farklı beton dizaynı yapılmıştır. Denemeler sonucunda teorik değerlere en yakın çökme değerine ve birim ağırlıklarına ulaşmıştır.

Uçucu kül agregalarla üretilen beton numuneler 28 günlük kür sonrası basınç dayanımı testlerine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar şöyledir;

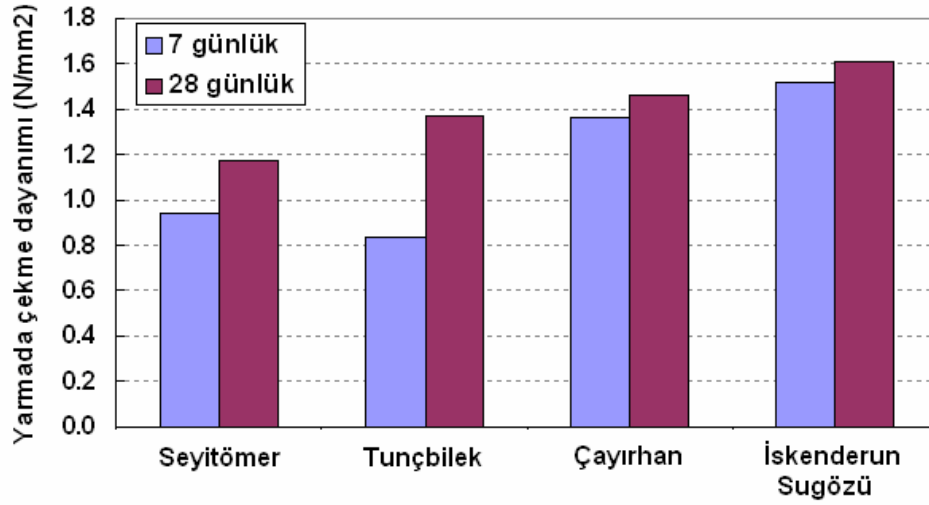
İskenderun Sugözü betonu 38.38 N/mm^2 değeri ile en yüksek basınç dayanımını, Çayırhan betonu 27.88 N/mm^2 değeri ile ve Tunçbilek betonu 20.89 N/mm^2 değeri ile orta basınç dayanımını ve Seyitömer betonu ise 13.81 N/mm^2 değeri ile en küçük basınç dayanımını göstermiştir(Çizelge 6.60 ve Şekil 6.54).



Şekil 6.54 Beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Beton numunelerde 28 günlük kür sonrası yarmada çekme dayanımı denemeleri de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şöyledir;

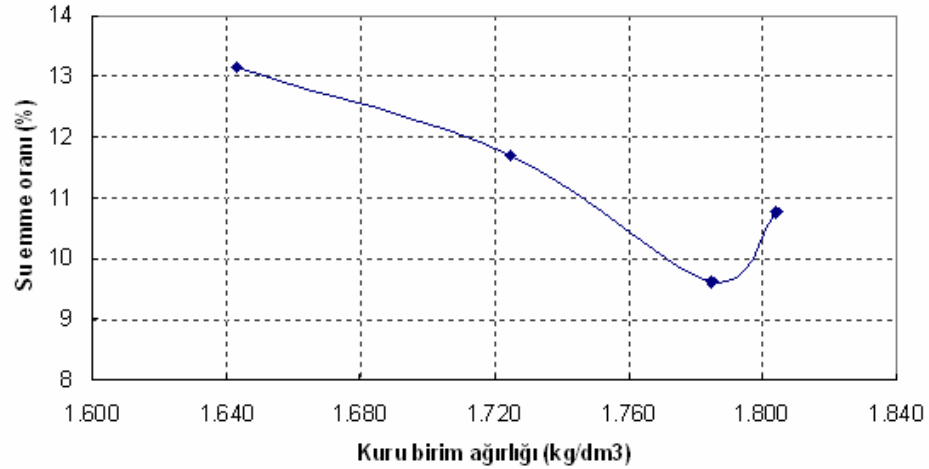
İskenderun Sugözü betonu 1.61 N/mm^2 değeri ile en yüksek yarmada çekme dayanımını, Çayırhan betonu 1.46 N/mm^2 değeri ile ve Tunçbilek betonu 1.37 N/mm^2 değeri ile orta yarmada çekme dayanımını ve Seyitömer betonu ise 1.17 N/mm^2 değeri ile en küçük yarmada çekme dayanımını göstermiştir (Çizelge 6.61 ve Şekil 6.55).



Şekil 6.55 Beton numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları

TS EN 206-1 standarda göre beton kıvam sınıfı olarak hesaplanan dizaynı ile üretilen betonlardan İskenderun Sugözü, Çayırhan ve Seyitömer betonların çökme değerleri 0-40 mm arasında kalması ile S1 sınıfa ve Tunçbilek betonu çökme değeri 50-90 mm arasında kalması ile S2 sınıfa girmiştir (Çizelge 3.4).

Beton numunelerinin birim ağırlığının artması ile su emme oranının genel olarak azalmış olduğu görülmüştür (Şekil 6.56).



Şekil 6.56 Beton numunelerinin birim ağırlığa karşı % su emme oranı

Denemeler sırasında 2.5-10 cm çökme değerinin betonun karıştırılması, kalıplara boşluksuz yerleştirilebilmesi ve birim ağırlık ile bire bir hacim deneyleri sırasında hataların %1'den fazla çıkmaması için uygun olduğu görülmüştür.

Uçucu kül agregalı betonun ağırlığının artması ile dayanımın artmış olduğu görülmüştür. Agreganın dayanımı ne kadar yüksekse beton o kadar dayanımlı olabilmekte ve bunun için de uçucu külden pelet üretimi en etkin şekilde yapılmıştır. Peletleme işleminde, bağlayıcı madde oranı, peletleme koşulları ve sinterlenme sıcaklığı gibi parametreler en uygun şekilde ayarlanarak yapılmıştır.

Sonuç olarak ise atık olarak çevreye bırakılan uçucu küllerden peletleme ve sinterleme işlemi ile agrega üretilmesi, bu uçucu kül agregaların hafif beton üretiminde kullanılması, beton birim ağırlığının 1.64 kg/dm^3 ile 1.80 kg/dm^3 değerler arasında kalması ve 390 kg/m^3 dozajlı, $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}$ 'lik küp numunenin basınç dayanımının 38.38 N/mm^2 değerine ulaşması ile uçucu kül agregaların hafif beton üretiminde uygun olduğu görülmüş, dolayısıyla Türkiye'deki uçucu kül kullanım alanlarının genişletme çabalarına katkıda bulunması ve hem malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlayarak hem de çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunmasının ideal bir çözüm olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akbulut, H., Ünal, O., İçağa, Y., Demir, İ., Zorluer, İ., ve Ergün, A., (2003) “İnşaat Laboratuvar Deneyleri”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Özboy Matbaacılık, Kasım 2003, Afyon.

Aruntaş, H.Y., (2006) “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 1, 193-203, Ankara.

ASTM C 618, (1991) “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, ASTM, 1991.

Baykal, G., ve Döven, A.G., (2000), “Utilization of Fly Ash by Pelletization Process; Theory, Application Areas and Research Results”, Resources, Conservation and Recycling, 30 (2000) 59–77

Baykal, G., Özturan, T., Savaş, M. ve Ramadan, K., (1993) “Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları”, End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., 89-102, 1993, Ankara.

Chang, T.P. ve Shieh, M.M., (1996) “Fracture Properties of Lightweight Concrete”, Cement and Concrete Research, Cilt 26, No 2, 181-188, 1996.

Çelik, Ö., (2004) “Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Yıldık Teknik Üniversitesi, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Davies, D.R. ve Kitchener, J.N., (1996) “Massive Use of Pulverised Fuel Ash in Concrete for the Construction of a UK Power Station”, Waste Management, Cilt 16, No 1-3, 169-180, 1996.

Gazioğlu, M.O., (1997)) “Yapı Malzemeleri El Kitabı”, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Ankara.

Gesoğlu, M., Özturan, T. ve Güneyisi, E., (2004) “Shrinkage Cracking of Lightweight Concrete Made with Cold-Bonded Fly Ash Aggregates”, Cement and Concrete Research, Cilt 34, No 7, 1121-1130, 2004.

Erdoğan, M., (2006) “Türkiye Döküm Bentoniti Potansiyeline Genel Bakış: Güncel Durum, Öngörüler Ve Sorunlar”, Kil Bilim ve Teknolojisi Dergisi, 1 (1) (2006) 1-5, İstanbul.

Erdoğan, T.Y., (1993) “Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı-Uçucu kül ve Yüksek Fırın Cürufu”, Endüstri Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., 1-8, 18-19 Kasım 1993, Ankara.

Ersoy, U., (1985), “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Profesörlerinden, Cilt 1, İstanbul.

Malhotra, V.M., (1996) “İlave Bağlayıcı Maddelerin Betondaki Önemi”, (Çev. S. Güven) Hazır Beton Dergisi, 13(3): 33.

Mindness, S. ve VeYoun, J.F., (1981), Concrete, Prentice-Hall, Inc, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Postacıoğlu, B., (1975) “Bağlayıcı Maddeler ve Agregalar”, Yapı Malzemeler Dersleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.

- Ripke, S.J. ve Kawatra S.K., (2000) “Can Fly Ash Extend Bentonite Binder for Iron Ore Agglomeration?”, *Int. J. Miner. Process*, 60, 181–198.
- Ripke, S.J. ve Kawatra S.K., (2002) “Effect of Bentonite Fiber Formation in Iron Ore Pelletization”, *Int. J. Miner. Process*, 65, 141–149.
- Srb, J. ve Ruzickova, Z., (1988) “Pelletization of Fines” NY, USA: Elsevier Science Publishing Company, 1988.
- Tokyay, M. ve Erdoğan, K., (1998) “Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu”, TÇMB, Ankara.
- Tokyay, M., (1993) “Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, *End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 29-36, 18-19 Kasım 1993.
- TS EN 206-1, (2002), “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- TS EN 450, (1998), “Uçucu Kül - Betonda Kullanılan -Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü”, T.S.E., Nisan 1998, Ankara
- TS 500, (2000), “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, T.S.E., Şubat 2000, Ankara
- TS 639, (1975), “Uçucu Küller-Çimentoda Kullanılan ”, T.S.E., Nisan 1975, Ankara.
- TS 699, (1987), “Tabii Yapı Taşlar – Muayene ve Deney Metotleri”, T.S.E., Ocak 1987, Ankara.
- TS 706 EN 12620, (2003), “Beton Agregaları”, T.S.E., Nisan 2003 1987, Ankara.
- TS 2511, (1977), “Taşıyıcı Hafif Betonların Hesap Esasları”, T.S.E., Şubat 1977, Ankara
- TS 3624, (1981),” Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu” T.S.E., Temmuz 1981, Ankara.
- TS EN 1097–3, (1999), “Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler Bölüm 3– Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini”, T.S.E., Nisan 1999, Ankara.
- TS EN 12350-2, (2002), “Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- TS EN 12350-6, (2002), “Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- TS EN 12390-2, (2002), “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Yapımı ve Küre Tabi Tutulması”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2003), “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımın Tayini”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- TS EN 12390-6, (2002), “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 6: Deney Numunelerinde Yarmada Çekim Dayanımın Tayini”, T.S.E., Nisan 2003, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2002), “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, T.S.E., Nisan 2002, Ankara.
- Tuğrul N., (2005) “Bandırma Etibank Sülfürik Asit Fabrikasından Çıkan Kalsine Pirit

Külünün Yüksek Fırın Hammaddesi Olarak Değerlendirilmesi ve Pik Demir Üretiminde Kullanılması”, Doktora Tezi, Yıldık Teknik Üniversitesi, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Turhan, (1990) “Türkiye’deki Kömüre Dayalı Termik Santraller, Çevreyi Olumsuz Etkileyen Faktörleri ve Yarattığı Çevre Sorunları”, Alternatif Enerji Kaynaklar Toplantısı, Ören.

Ulus, İ., (1998), “Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.

Verma, C.L., Handa, S.K., Jain, S.K., (1998) “Techno-commercial Perspective Study for Sintered Fly Ash Lightweight Aggregates in India”, Construction and Building Materials, Cilt 12, No 6-7, 341-346, 1998.

İNTERNET KAYNAKLAR

- [1] <http://www.agrega.org/index.asp?sec=agr&page=agr>
- [2] <http://www.betonsa.com/>
- [3] www.yks-yapkim.com
- [4] http://www.geocities.com/yasar_yigit/betonrehber.htm
- [5] [http://www.kutuphane.biz/indir/insaatmuh/inst%20\(75\).doc](http://www.kutuphane.biz/indir/insaatmuh/inst%20(75).doc)
- [6] <http://www.epdk.org.tr/lisans/elektrik/lisansdatabase/verilentesistipi.asp>
- [7] <http://www.ukqaa.org.uk/Papers/Wascon2003PosterPresentationSear.pdf>
- [8] [8] <http://www.tulumenmadencilik.com/Bentonit.htm>
- [9] <http://www.nuhcimento.com.tr/tr/home/urunler.asp?id=1>
- [10] <http://www.selimusta.com/default.asp?page=agrega>

EKLER

- Ek 1 Uçucu küllerde yapılan kimyasal analizler
Ek 2 Uçucu kül pelet numunelerinin XRF cihazında incelenmesi

Ek 1 Uçucu küllerde yapılan kimyasal analizler

Farklı termik santrallerden alınan uçucu küllerin, yaklaşık 20 ay boyunca kimyasal özellikleri yapılan analizlerle incelenmiştir. Numunelerin geniş bir zaman diliminde toplanmasıyla özelliklerinin daha iyi yansıtılacağı düşünülmüştür. TS EN 196-2 (Çimento Deneysel Metotları-Çimentonun Kimyasal Analizi) standardına göre, kükürt trioksit tayini, TS EN 451-1 (Uçucu Kül Deneysel Metodu, Serbest Kalsiyum Oksit Tayini) standardına göre, serbest kalsiyum oksit tayini, TS EN 196-21 (Çimento Deneysel Metotları-Çimentoda Klorür, Karbon Dioksit ve Alkali Muhtevası Tayini) standardına göre, klorür tayini ve TS EN 450 (Uçucu Kül-Betonda Kullanılan Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol) standardına göre, kızdırma kaybı tayini yapılmıştır. Tüm kimyasal analiz sonuçları Çizelge Ek 1.1 ile Çizelge Ek 1.2 arasında gösterilmiştir.

Çizelge Ek 1.1 2004 yılı Ocak ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.761	0.0053	0.246	0.195
Tunçbilek	1.017	0.0071	0.055	0.649
Seyitömer	1.537	0.0035	0.110	1.032
Orhaneli	0.574	0.0089	0.549	2.592
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.2 2004 yılı Şubat ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.516	0.0212	0.137	0.248
Tunçbilek	1.279	0.0310	0.164	0.673
Seyitömer	1.442	0.0106	0.150	0.773
Çayırhan(1)	0.129	0.0265	1.097	1.570
Çayırhan(2)	1.160	0.0115	1.207	1.318
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.3 2004 yılı Mart ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.691	0.0106	0.151	0.249
Tunçbilek	0.820	0.0090	0.069	0.424
Seyitömer	1.949	0.0124	0.316	1.410
Çayırhan	0.182	0.0106	1.509	1.435
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.4 2004 yılı Nisan ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.013	0.030	0.466	0.866
Seyitömer	1.324	0.015	0.151	1.544
Çayırhan(1)	0.128	0.022	2.319	2.214
Çayırhan(2)	0.226	0.027	2.058	2.139
İskenderun Sugözü	3.775	0.016	0.412	1.067
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.5 2004 yılı Mayıs ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.761	0.016	0.178	0.962
Tunçbilek	1.680	0.016	0.055	0.429
Seyitömer	2.244	0.016	0.233	0.779
Çayırhan	0.229	0.036	1.563	0.190
İskenderun Sugözü	3.072	0.005	0.329	0.233
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.6 2004 yılı Haziran ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.095	0.024	0.466	0.169
Tunçbilek	0.451	0.009	0.054	0.450
Seyitömer	1.283	0.023	0.261	0.841
Çayırhan	0.224	0.042	0.841	1.811
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.7 2004 yılı Temmuz ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Tunçbilek	0.498	0.002	0.069	0.794
Seyitömer	1.066	0.005	0.206	0.696
Çayırhan	0.513	0.041	1.152	1.566
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.8 2004 yılı Ağustos ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.183	0.039	0.476	0.806
Tunçbilek	1.075	0.007	0.027	1.586
Çayırhan	0.282	0.027	0.082	1.713
İskenderun Sugözü	4.433	0.048	0.128	1.075
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.9 2004 yılı Eylül ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.811	0.004	0.274	0.168
Tunçbilek(1)	0.847	0.012	0.096	0.502
Tunçbilek(2)	0.595	0.004	0.109	0.449
Çayırhan(1)	0.166	0.007	0.631	1.367
Çayırhan(2)	0.227	0.009	0.906	1.377
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.10 2004 yılı Ekim ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.839	0.029	0.343	0.322
Tunçbilek(1)	0.901	0.032	0.082	0.742
Tunçbilek(2)	0.827	0.013	0.041	0.618
Çayırhan	0.168	0.015	0.357	1.418
İskenderun Sugözü	2.150	0.009	0.604	0.424
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.11 2004 yılı Kasım ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çayırhan	0.167	0.024	1.024	1.487
<i>Standart</i>	5	0.1	1	3

Çizelge Ek 1.12 2004 yılı Aralık ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Seyitömer	3.157	0.024	0.658	2.645
<i>Standart</i>	5	0.1	1	3

Çizelge Ek 1.13 2005 yılı Ocak ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.555	0.019	0.249	0.243
Seyitömer	1.380	0.035	0.704	1.359
Çayırhan	0.152	0.023	0.438	0.162
İskenderun Sugözü	2.179	0.032	0.617	0.213
<i>Standart</i>	5	0.1	1	3

Çizelge Ek 1.14 2005 yılı Şubat ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.038	0.011	0.195	0.263
Seyitömer(1)	1.381	0.015	0.151	1.544
Seyitömer(2)	1.756	0.020	0.109	1.354
Çayırhan	0.513	0.015	0.439	0.559
Orhaneli	0.808	0.008	1.198	0.383
İskenderun Sugözü	2.328	0.007	0.477	0.842
<i>Standart</i>	5	0.1	1	3

Çizelge Ek 1.15 2005 yılı Mart ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.675	0.016	0.210	0.204
Seyitömer	1.207	0.028	0.092	1.442
Çayırhan	0.328	0.031	1.207	1.592
İskenderun Sugözü	2.986	0.018	0.412	0.482
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.16 2005 yılı Nisan ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.828	0.011	0.195	0.252
Seyitömer	1.241	0.019	0.100	1.018
Çayırhan(1)	0.445	0.044	1.704	2.258
Çayırhan(2)	0.355	0.019	0.576	1.532
Çayırhan(3)	0.482	0.035	0.851	2.426
İskenderun Sugözü	3.027	0.014	0.451	0.432
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.17 2005 yılı Mayıs ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.667	0.014	0.137	0.294
Seyitömer	1.161	0.005	0.082	1.070
Çayırhan(1)	0.172	0.032	1.683	1.657
Çayırhan(2)	0.217	0.026	1.921	1.932
İskenderun Sugözü	1.152	0.021	1.907	2.274
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.18 2005 yılı Haziran ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	0.810	0.007	0.261	0.421
Seyitömer	1.241	0.014	0.329	1.195
Çayırhan	0.462	0.008	0.219	1.697
İskenderun Sugözü	2.410	0.008	0.512	0.410
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.19 2005 yılı Ağustos ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.034	0.046	0.315	0.500
Seyitömer	1.193	0.053	0.201	1.200
Çayırhan	5.139	0.017	0.460	1.724
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.20 2005 yılı Eylül ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı	1.790	0.034	0.252	1.800
Seyitömer	2.370	0.019	1.860	1.760
Çayırhan	4.530	0.015	0.670	1.430
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Çizelge Ek 1.21 2005 yılı Ekim ayı uçucu kül kimyasal analizleri

Termik Santraller	% Kızdırma Kaybı	% Cl ⁻	% Serbest CaO	% SO ₃
Çatalağzı(1)	1.090	0.004	0.183	0.370
Çatalağzı(2)	1.769	0.008	0.192	1.018
Seyitömer	1.340	0.009	0.099	1.310
Çayırhan(1)	0.506	0.025	0.413	1.742
Çayırhan(2)	0.313	0.025	0.274	1.730
<i>Standart</i>	<i>5</i>	<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>

Ek 2 Uçucu kül pelet numunelerinin XRF cihazında incelenmesi

Denemelerde kullanılan uçucu kül pelet numunelerinin kimyasal bileşenleri X-ışını difraktometre cihazında analiz edilmiştir. Çizelge Ek 2.1 ile Çizelge 2.6 arasında uçucu külpelet numunelerinin kimyasal bileşenleri % olarak verilmiştir.

Çizelge Ek 2.1 Çayırhan uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
48.95	18.36	8.32	11.11	4.08	1.73	0.46	1.21

Çizelge Ek 2.2 Çatalağzı uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
55.18	26.26	5.87	1.76	5.05	4.26	0.85	1.34

Çizelge Ek 2.3 Seyitömer uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
52.45	22.31	9.79	5.67	2.90	2.28	0.55	0.76

Çizelge Ek 2.4 İskenderun Sugözü uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
52.10	25.55	6.19	4.28	0.32	1.53	0.86	1.16

Çizelge Ek 2.5 Orhaneli uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
49.53	18.55	9.93	8.88	1.28	1.10	0.43	1.37

Çizelge Ek 2.6 Tunçbilek uçucu külü pelet numunesinin kimyasal bileşenleri (% 0.7 Na-bentoniti)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Na ₂ O (%)
55.63	20.33	9.4	2.54	2.84	1.53	0.60	1.23

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	12.11.1978	
Doğum yeri	Bayankhongor/Moğolistan	
Lise	1986-1996	Bayankhongor Lisesi/Moğolistan
Lisans	1996-1998	Moğolistan Devlet Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Kimya Bölümü
Lisans	1999-2003	Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Anabilim Dalı