

154476

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Kimya Yük. Müh. Özlem ÇELİK

FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi :11 Mart 2004

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN

: Prof.Dr. Mehmet Ali GÜRKAYNAK

: Prof.Dr. Neşet KADIRGAN

: Prof. Dr. Ülker BEKER

: Prof. Dr. Cemalettin YAMAN

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTIMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Puzolanların Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
2.2 Uçucu Kül.....	4
2.2.1 Uçucu Külün Tanımı	4
2.2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	4
2.2.3 Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapıları	5
2.2.4 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	7
2.2.4.1 İncelik	7
2.2.4.2 Yoğunluk	9
2.2.5 Uçucu Küllerin Çimento Üretiminde Kullanılması.....	9
2.2.5.1 Uçucu Külün Çimento Hammaddesi Olarak Kullanılması	10
2.2.5.2 Uçucu külün Klinkere Katılması	11
2.2.5.3 Uçucu Külün Çimentoya Katılması.....	11
2.2.6 Uçucu Kül ve Doğal Puzolan İhtiva Eden Çimentolar	11
2.2.7 Genel Olarak Doğal ve Yapay Puzolan içeren Çimento Pastalarındaki Reaksiyonlar	12
2.2.8 Uçucu Kül ve Doğal Puzolan İhtiva Eden Çimentoların Özellikleri.....	14
2.2.8.1 Prizlenme zamanı.....	14
2.2.8.2 Dayanım.....	14
2.2.8.3 Akış.....	16
2.2.8.4 Çekilme.....	17
2.2.8.5 Büzülme.....	17
2.2.8.6 Hidratasyon Isısı	17
2.2.9 Uçucu Külün Beton Üretiminde Kullanılması	20
2.2.9.1 Uçucu Külün Taze Betonun Özelliklerine Etkileri.....	20
2.2.9.2 Uçucu Külün Sertleşmiş Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri	21
2.2.9.2.1 Uçucu Külün Betona Katılma Oranlarının Dayanıma Etkisi	21
2.2.9.2.2 Uçucu Kül Tipinin ve Kimyasal Kompozisyonunun Dayanıma Etkisi.....	22
2.2.9.2.3 Uçucu Kül Tane Boyutu ve Dayanıma Etkisi.....	22
2.2.9.2.4 Uçucu Külün Betonun Diğer Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	23
2.3 Silis Dumanı	25
2.3.1 Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri	26
2.3.1.1 Renk.....	26
2.3.1.2 Özgül Ağırlık	26
2.3.1.3 Birim Ağırlık	26
2.3.1.4 Tane Özellikleri	27
2.3.2 Silis Dumanının Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri	28
2.3.3 Silis Dumanının Çimento Hamuruna Etkisi	29
2.3.3.1 Silis dumanının Çimento Hamuru – Agrega Arayüzeyine Etkisi.....	29
2.3.3.2 Silis Dumanı Etkisiyle Çimento Hamurunda Oluşan Puzolanik Reaksiyonlar	30

2.3.4	Silis Dumanı Katkısının Beton Özelliklerine Etkisi.....	31
2.3.4.1	Silis Dumanı Katkısının Taze Beton Özelliklerine Etkisi.....	31
2.3.4.2	Silis Dumanının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi.....	32
2.3.4.2.1	Agrega-Hamur Arayüzeyi	32
2.3.4.2.2	Basınç Dayanımı.....	32
2.3.5	Silis Dumanlı Çimentoların Standardı.....	36
2.4	Çimento.....	37
2.4.1	Çimento Çeşitleri.....	38
2.4.1.1	Portland Çimentoları.....	38
2.4.1.2	Doğal Çimentolar.....	39
2.4.1.3	Puzolanik Çimentolar	40
2.4.1.4	Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu.....	40
2.4.1.5	Alüminli Çimentolar.....	40
2.4.1.6	Özel Çimentolar.....	40
2.4.2	Türkiye’de Üretilen Çimentolar	41
2.4.3	Çimentoların İnceliği	45
2.4.4	Çimentoların Prizi.....	46
2.4.5	Hidratasyon Isısı	46
2.4.6	Çimentoların Rötresi.....	46
2.4.7	Fırındaki Reaksiyonlar.....	46
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	48
3.1	Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	48
3.1.1	Çimento.....	48
3.1.2	Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Özellikleri.....	49
3.1.2.1	Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	49
3.1.2.2	Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	53
4.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER	61
4.1	Mastersizer - X Tekniği Kullanılarak Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Kül Numunelerinin Tane Boyutu Dağılımlarının Ölçülmesi	61
4.1.1	Numunelerin Hazırlanışı.....	62
4.1.2	Cihazın Teknik Özellikleri	62
4.2	Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Tane Boyutu Özellikleri.....	63
4.3	Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Tane Boyutu Dağılımları.....	64
4.4	Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin İç Yapı Görüntüleri	90
4.5	Basınç Dayanımları	103
4.6	Basınç Dayanım Grafikleri.....	108
4.7	Değerlendirmeler	113
	KAYNAKLAR.....	117
	EKLER	120
EK 1	Curve Expert 1.3 Programı ve Basınç Dayanımlarına Uygulanması	121
EK 2	Karışım Numunelerine Ait Gerçek Basınç Dayanımları ve Uygun Modellerin Basınç Dayanımları.....	126
	ÖZGEÇMİŞ.....	150

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan standardı)
EN	Avrupa standardı
C-S-H	Hidrate kalsiyum silikat jeli
K	Eşdeğerlik faktörü
ρ	Eşdeğerlik faktörünün hesaplanmasında kullanılan
s/ç	su / çimento oranı
TS EN	Türk Standardı (Avrupa standartlarından alınarak kabul görmüş)
YFC	Yüksek Fırın Cürufu



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Sekil 2.1	Uçucu küllerin bazı puzolanik malzemeler ve Portland Rankin diyagramında karşılaştırılması	6
Şekil 2.2	Uçucu küllerin tipik tane dağılımları.....	8
Şekil 2.3	Uçucu küllerin ve Portland çimentolarının tane dağılımları.....	9
Şekil 2.4	Portland çimentosunun %35'ini puzolanlar ve kireçtaşı ile değiştirmenin etkileri	13
Şekil 2.5	Pastada,harçta (1:3) ve betonda (1:6) serbest CaO içeriği, 40°C'de muamele gören iki tür puzolan ile Portland çimentosunun %30'unun yer değiştirmesi	13
Şekil 2.6	Puzolan ile Portland çimentosunun yer değiştirmesinin ISO harcının basınç dayanımına etkisi	15
Şekil 2.7	Puzolanlı çimentonun dayanımı üzerinde klinker ve puzolan inceliğinin etkisi.....	16
Şekil 2.8	Portland ve puzolanlı çimentoların büzülmesi	17
Şekil 2.9	Portland çimentosu yerine puzolan kullanımının hidrasyon ısısı üzerine etkileri	18
Şekil 2.10	Puzolanite test grafiği	19
Şekil 2.11	Uçucu küllü ve normal betonlar için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	24
Şekil 2.12	Silis dumanının tane boyu dağılımı	28
Şekil 2.13	Silis dumanının mineralojik yapısını gösteren X-ışın difraktogramı	28
Şekil 2.14	Silis dumanı katkısının arayüze etkisi	30
Şekil 2.15	Silis dumanlı hamurlarda CH miktarı (%CaO olarak)	31
Şekil 2.16	Silis dumanının beton dayanımına etkisi.....	32
Şekil 2.17	Betonlarda s/ç oranı-dayanım ilişkisi	33
Şekil 2.18	Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi.....	34
Şekil 2.19	Silis dumanlı betonlarda dayanım artışı	35
Şekil 2.20	Uçucu küllü betonun dayanımı üzerinde silis dumanı katkısının etkisi	35
Şekil 4.1	Mastersizer – X tane boyut dağılım cihazı	62
Şekil 4.2	Silis dumanı numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	66
Şekil 4.3	Silis dumanının tane boyut histogramı	67
Şekil 4.4	Atık çamur numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	68
Şekil 4.5	Atık çamur numunesinin tane boyutu histogramı.....	69
Şekil 4.6	Çatalağzı 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	70
Şekil 4.7	Çatalağzı 1 numunesinin tane boyut histogramı.....	71
Şekil 4.8	Çatalağzı 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	72
Şekil 4.9	Çatalağzı 2 numunesinin tane boyut histogramı.....	73
Şekil 4.10	Soma 4.1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.	74
Şekil 4.11	Soma 4.1 numunesinin tane boyut histogramı.....	75
Şekil 4.12	Soma 6 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi....	76
Şekil 4.13	Soma 6 numunesinin tane boyut histogramı.....	77
Şekil 4.14	Seyitömer 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	78
Şekil 4.15	Seyitömer 1 numunesinin tane boyut histogramı	79
Şekil 4.16	Seyitömer 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	80
Şekil 4.17	Seyitömer 2 numunesinin tane boyut histogramı	81

Şekil 4.18	Çayırhan 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	82
Şekil 4.19	Çayırhan 1 numunesinin tane boyut histogramı	83
Şekil 4.20	Çayırhan 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	84
Şekil 4.21	Çayırhan 2 numunesinin tane boyut histogramı	85
Şekil 4.22	Tunçbilek 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	86
Şekil 4.23	Tunçbilek 1 numunesinin tane boyut histogramı	87
Şekil 4.24	Tunçbilek 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi.....	88
Şekil 4.25	Tunçbilek 2 numunesinin tane boyut histogramı	89
Şekil 4.26	Silis dumanının SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	91
Şekil 4.27	Silis dumanının SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	91
Şekil 4.28	Atık Çamurun SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	92
Şekil 4.29	Atık Çamurun SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü.....	92
Şekil 4.30	Çatalağzı 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü.....	93
Şekil 4.31	Çatalağzı 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	93
Şekil 4.32	Çatalağzı 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü.....	94
Şekil 4.33	Çatalağzı 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	94
Şekil 4.34	Soma 4.1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü.....	95
Şekil 4.35	Soma 4.1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	95
Şekil 4.36	Soma 6 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü.....	96
Şekil 4.37	Soma 6 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	96
Şekil 4.38	Seyitömer 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	97
Şekil 4.39	Seyitömer 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü....	97
Şekil 4.40	Seyitömer 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	98
Şekil 4.41	Seyitömer 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü....	98
Şekil 4.42	Çayırhan 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	99
Şekil 4.43	Çayırhan 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü	99
Şekil 4.44	Çayırhan 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	100
Şekil 4.45	Çayırhan 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü ...	100
Şekil 4.46	Tunçbilek 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	101
Şekil 4.47	Tunçbilek 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü ..	101
Şekil 4.48	Tunçbilek 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü	102
Şekil 4.49	Tunçbilek 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü ..	102
Şekil 4.50	Kontrol numunesinin basınç dayanım grafiği	109
Şekil 4.51	Silis dumanı numunesinin basınç dayanım grafiği.....	109
Şekil 4.52	Atık çamur numunesinin basınç dayanım grafiği.....	109
Şekil 4.53	Çatalağzı 1 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	110
Şekil 4.54	Çatalağzı 2 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	110
Şekil 4.55	Soma 4.1 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	110
Şekil 4.56	Soma 4.2 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	110
Şekil 4.57	Soma 6 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	110
Şekil 4.58	Seyitömer 1 numunesinin basınç dayanım grafiği	111
Şekil 4.59	Seyitömer 2 numunesinin basınç dayanım grafiği	111
Şekil 4.60	Çayırhan 1 numunesinin basınç dayanım grafiği	111
Şekil 4.61	Çayırhan 2 numunesinin basınç dayanım grafiği	111
Şekil 4.62	Tunçbilek 1 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	111
Şekil 4.63	Tunçbilek 2 numunesinin basınç dayanım grafiği.....	111
Şekil 4.64	Farklı numune karışımlarının basınç dayanım grafiği.....	112

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Puzolanların sınıflandırılması ve türleri	3
Çizelge 2.2	Farklı tiplerdeki uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları.....	7
Çizelge 2.3	Tipik bir çimento hammaddesinin kimyasal kompozisyonu.....	10
Çizelge 2.4	Alaşımdaki silisyum içeriğine göre SiO ₂ oranları	26
Çizelge 2.5	Silis dumanının alaşım türlerine göre özgül ağırlıkları	26
Çizelge 2.6	Silis dumanının özgül yüzeyinin PÇ, UK ve GYFC ile karşılaştırılması.....	27
Çizelge 2.7	Portland çimentosunun kimyasal analizi	39
Çizelge 2.8	Çimentonun ana bileşenleri	39
Çizelge 2.9	Çimentoların bileşimi	42
Çizelge 2.10	Gerekli kimyasal özellikler.....	43
Çizelge 2.11	Gerekli fiziksel özellikler	44
Çizelge 2.12	Gerekli mekanik özellikler	45
Çizelge 3.1	PÇ 42.5 çimentosunun kimyasal bileşimi.....	48
Çizelge 3.2	PÇ 42.5 çimentosunun başlıca bileşimleri.....	48
Çizelge 3.3	PÇ 42.5 çimentosunun fiziksel özellikleri.....	48
Çizelge 3.4	Klinkerin kimyasal bileşimi.....	48
Çizelge 3.5	Silis dumanının özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	49
Çizelge 3.6	Atık çamurun özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	49
Çizelge 3.7	Çatalağzı 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	50
Çizelge 3.8	Çatalağzı 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	50
Çizelge 3.9	Soma 4.1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	50
Çizelge 3.10	Soma 4.2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	50
Çizelge 3.11	Soma 6 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	51
Çizelge 3.12	Seyitömer 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	51
Çizelge 3.13	Seyitömer 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	51
Çizelge 3.14	Çayırhan 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri.....	51
Çizelge 3.15	Çayırhan 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	52
Çizelge 3.16	Tunçbilek 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	52
Çizelge 3.17	Tunçbilek 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri	52
Çizelge 3.18	Silis dumanının kimyasal analizi	53
Çizelge 3.19	Atık çamurun kimyasal analizi	53
Çizelge 3.20	Çatalağzı 1 numunesinin kimyasal analizi	53
Çizelge 3.21	Çatalağzı 2 numunesinin kimyasal analizi	53
Çizelge 3.22	Soma 4.1 numunesinin kimyasal analizi	54
Çizelge 3.23	Soma 4.2 numunesinin kimyasal analizi	54
Çizelge 3.24	Soma 6 numunesinin kimyasal analizi	54

Çizelge 3.25	Seyitömer 1 numunesinin kimyasal analizi	54
Çizelge 3.26	Seyitömer 2 numunesinin kimyasal analizi	54
Çizelge 3.27	Çayırhan 1 numunesinin kimyasal analizi	55
Çizelge 3.28	Çayırhan 2 numunesinin kimyasal analizi	55
Çizelge 3.29	Tunçbilek 1 numunesinin kimyasal analizi	55
Çizelge 3.30	Tunçbilek 2 numunesinin kimyasal analizi	55
Çizelge 3.31	Silis dumanı karışım oranları.....	56
Çizelge 3.32	Atık çamurun karışım oranları.....	56
Çizelge 3.33	Çatalağzı 1 numunesinin karışım oranları	56
Çizelge 3.34	Çatalağzı 2 numunesinin karışım oranları	57
Çizelge 3.35	Soma 4.1 numunesinin karışım oranları	57
Çizelge 3.36	Soma 4.2 numunesinin karışım oranları	57
Çizelge 3.37	Soma 6 numunesinin karışım oranları	57
Çizelge 3.38	Seyitömer 1 numunesinin karışım oranları.....	58
Çizelge 3.39	Seyitömer numunesinin karışım oranları.....	58
Çizelge 3.40	Çayırhan 1 numunesinin karışım oranları.....	58
Çizelge 3.41	Çayırhan 2 numunesinin karışım oranları.....	58
Çizelge 3.42	Tunçbilek 1 numunesinin karışım oranları.....	59
Çizelge 3.43	Tunçbilek 2 numunesinin karışım oranları.....	59
Çizelge 3.44	Farklı numune karışımlarının karışım oranları	59
Çizelge 4.1	Silis dumanı ve atık çamur ile bütün uçucu küllerinin Mastersizer – X cihazı ile ölçülen ve %10, %50 ve %90'ının geçtiği boyutlar	63
Çizelge 4.2	Silis dumanı numunesinin tane boyutu dağılımları	66
Çizelge 4.3	Silis dumanı numunesinin standart sapma değerleri	67
Çizelge 4.4	Atık çamur numunesinin tane boyutu dağılımları	68
Çizelge 4.5	Atık çamur numunesinin standart sapma değerleri	69
Çizelge 4.6	Çatalağzı 1 numunesinin tane boyutu dağılımları	70
Çizelge 4.7	Çatalağzı 1 numunesinin standart sapma değerleri	71
Çizelge 4.8	Çatalağzı 2 numunesinin tane boyutu dağılımları	72
Çizelge 4.9	Çatalağzı 2 numunesinin standart sapma değerleri	73
Çizelge 4.10	Soma 1 numunesinin tane boyutu dağılımları	74
Çizelge 4.11	Soma 1 numunesinin standart sapma değerleri	75
Çizelge 4.12	Soma 3 numunesinin tane boyutu dağılımları	76
Çizelge 4.13	Soma 3 numunesinin standart sapma değerleri	77
Çizelge 4.14	Seyitömer 1 numunesinin tane boyutu dağılımları.....	78
Çizelge 4.15	Seyitömer 1 numunesinin standart sapma değerleri	79
Çizelge 4.16	Seyitömer 2 numunesinin tane boyutu dağılımları	80
Çizelge 4.17	Seyitömer 2 numunesinin standart sapma değerleri	81
Çizelge 4.18	Çayırhan 1 numunesinin tane boyutu dağılımları.....	82
Çizelge 4.19	Çayırhan 1 numunesinin standart sapma değerleri	83
Çizelge 4.20	Çayırhan 2 numunesinin tane boyutu dağılımları.....	84
Çizelge 4.21	Çayırhan 2 numunesinin standart sapma değerleri	85
Çizelge 4.22	Tunçbilek1 numunesinin tane boyutu dağılımları	86
Çizelge 4.23	Tunçbilek 1 numunesinin standart sapma değerleri	87
Çizelge 4.24	Tunçbilek 2 numunesinin tane boyutu dağılımları	88
Çizelge 4.25	Tunçbilek 2 numunesinin standart sapma değerleri	89
Çizelge 4.26	Kontrol numunesinin basınç dayanım değerleri	104
Çizelge 4.27	Silis dumanı numunesinin basınç dayanım değerleri	104
Çizelge 4.28	Atık çamur numunesinin basınç dayanım değerleri	104
Çizelge 4.29	Çatalağzı 1 numunesinin basınç dayanım değerleri	104

Çizelge 4.30	Çatalağzı 2 numunesinin basınç dayanım değerleri	105
Çizelge 4.31	Soma 4.1 numunesinin basınç dayanım değerleri	105
Çizelge 4.32	Soma 4.2 numunesinin basınç dayanım değerleri	105
Çizelge 4.33	Soma 6 numunesinin basınç dayanım değerleri	105
Çizelge 4.34	Seyitömer 1 numunesinin basınç dayanım değerleri	106
Çizelge 4.35	Seyitömer 2 numunesinin basınç dayanım değerleri	106
Çizelge 4.36	Çayırhan 1 numunesinin basınç dayanım değerleri	106
Çizelge 4.37	Çayırhan 2 numunesinin basınç dayanım değerleri	106
Çizelge 4.38	Tunçbilek 1 numunesinin basınç dayanım değerleri	107
Çizelge 4.39	Tunçbilek 2 numunesinin basınç dayanım değerleri	107
Çizelge 4.40	Farklı numune karışımlarının karışım oranları	107



ÖNSÖZ

Bu tez ile sunulan çalışmada endüstriyel atık olan uçucu kül, silis dumanı ve kullanılan atık çamurun çimento sanayiinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan çimento harç numunelerinin değişik kür günlerindeki basınç dayanımları ölçülmüş ve zamana karşı elde edilen basınç dayanımları incelenmiştir.

Doktora tezimin konusunu titizlikle öneren, her aşamada bilgisi, deneyimleri, hoşgörüsü ve önerilerini esirgmeden beni sürekli destekleyerek çalışmalarımı yönlendiren değerli Hocam Prof. Dr. Sabriye Pişkin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel çalışmalarının yapıldığı Bursa Çimento Kalite Kontrol Müdürü Güler Yurter, Kalite Kontrol Şefi Sabiha Kan'a ve laboratuvar personeline teşekkür ederim.

THBB (Türkiye Hazır Beton Birliği) Müdür ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım

TÜBİTAK-MAM personeli olan Dr. Mustafa Kara'ya yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince bana gösterdikleri desteklerden dolayı Y.T.Ü Araştırma Görevlisi İffet Elbeyli'ye ve İnşaat Mühendisi Yusuf Ziya Alp'e teşekkür ederim.

Bugüne kadar bana yol gösteren ve emek harcayan aileme çok teşekkür ederim



ÖZET

Dünyadaki nüfus artışı, yaşam standartlarının yükselmesi, ülkelerin ekonomik büyümeleri, sanayileşme ve kentleşme, enerji gereksinimini hızlı bir şekilde artırmıştır. Artan enerji ihtiyacı yüzünden doğal kaynaklar hızla tükenmekte ve çevresel kirlilik artmaktadır. Bu nedenlerin sonucu olarak ciddi ekolojik, ekonomik ve teknik sorunlar da beraberinde gelmektedir. Bu sorunlara çözüm ve alternatif enerji kaynaklarının araştırılması tüm dünyada ivme kazanmıştır. Bu anlamda endüstriyel atıkların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Böylece hem çevre kirliliği önlenmiş hem de hammadde ve enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Endüstriyel atık olan uçucu kül ve silis dumanının inşaat sektörü açısından değerlendirilebilir olduğu konusunda pek çok araştırma mevcuttur.

Bu çalışmada endüstriyel atık olarak; ülkemizdeki Çatalağzı, Seyitömer, Çayırhan, Tunçbilek, Soma termik santrallerinden getirilen uçucu küller ile Antalya ferrokrom tesislerinden getirilen silis dumanı ve Bergama yöresindeki Normady firmasının altın saflaştırma tesisinden çıkan atık çamur kullanılmıştır. Uçucu küllerin tümü her ay olmak üzere 12 ay boyunca getirilmiş ve kendi aralarında ilk altı ay ve son altı ay olarak harmanlanmıştır. Numunelerin geniş bir zaman diliminde toplanmasıyla özelliklerinin daha iyi yansıtılacağı düşünülmüştür.

Kullanılan bütün malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Malzeme karakteristiğini en iyi şekilde ortaya koyabilmek ve bu konudaki çalışmalara yenilik sunabilmek amacıyla bütün atıkların tane boyutu dağılımları Mastersizer-X lazer tekniği ile tespit edilmiştir. Böylece bu çalışmada ülkemizdeki beş termik santralin uçucu külleri ile silis dumanı ve atık çamurunda tane boyutu dağılımları çok detaylı bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca bütün atıkların SEM görüntüleri normal ve detaylı olarak verilmiştir. Kullanılan uçucu küller ve silis dumanı %15, %25, %35 oranında, atık çamur ise %5, %10 ve %15 oranında PÇ 42.5'a katılmıştır. Atıkların bir arada kullanılması amacıyla silis dumanı ve atık çamur değişen oranlarda, Soma 6 uçucu külü, silis dumanı ve atık çamur değişik oranlarda Seyitömer uçucu külü, silis dumanı ve atık çamur değişik oranlarda çimentoya katılmıştır. Bütün çimento harç numuneleri için 450gr (çimento + katkı), 1350gr su, 225gr kum kullanılmıştır. Kür süreleri 2, 7, 28, 56 ve 90 gün olarak seçilmiştir.

Sertleşmiş çimento harç numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve priz süreleri ölçülmüştür.

Ölçülen basınç dayanımı değerlerinin zamana karşı grafikleri CurveExpert 1.3 programı ile çizilmiştir. Programın sayesinde grafiklerin en uygun olduğu modeller tespit edilmiştir. Numunelere ait bütün modeller ve detayları program çıktısı olarak verilmiş, programın grafiklere göre hesapladığı basınç dayanımı değerleride sunulmuştur. Ayrıca ölçülmemiş olan 180 ile 360. gün basınç dayanımı değerleri de programa hesaplatılarak sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: endüstriyel atık, uçucu kül, silis dumanı, çimento

ABSTRACT

Increase in the population, enhancement in life standards, countries' economical growth, industrialization and urbanization rapidly increases the need for energy. Due to the increasing necessity to the energy, natural resources are running out and environmental pollution is increasing. Because of these reasons, serious ecological, economical and technical problems occur. Solution to these problems and investigation of alternative energy sources is an outcoming process in the world. Therefore, recycling of industrial wastes is gaining importance. By means of this, both hindering of environmental pollution and saving of raw material and energy is obtained. There are a lot of researches that is being done on the re-process of fly ash and silica fume which are industrial wastes in the construction sector.

In this study, as an industrial waste; fly ash brought from Çatalağzı, Seyitömer, Çayırhan, Tunçbilek, Soma thermic centrals, silica fume obtained from Antalya ferro-chrome facility and waste mud extracted from Normady firm which refines gold in Bergama district is used. All fly ash samples are brought every month for a year which first six month and second six month samples are mixed up together. The reason for this big period is that it is thought the samples can reflect their properties better.

All physical and chemical properties of these materials are determined. To reflect material characteristics better and to present reform into such studies, the particle size distribution of all wastes are determined by Masterseizer-X laser technique. By the help of this, in this study particlesize distribution of five thermic centrals' fly ashes and silica fumes in our countryt are presented in detail. Moreover, normal and detailed SEM pictures of all wastes are given. Used fly ash and silica fume is in 15%, 25%, 35% and waste mud is in 5%, 10%, 15% is added in PÇ 42,5. To use wastes together silica fume and waste mud in varying percentages (Soma 6 and Seyitömer fly ash, silica fume & waste mud in varying percentages) is added in cement. For all cement mortar samples, 450 gr (cement+additive), 1350 gr water and 225 gr sand is used. Curing times are chosen as 2, 7, 28, 56 and 90 day.

Strength tests are realised on the hardened cement mortar samples and setting times are measured.

The graphics of measured compression strength values with respect to time is drawn by computer program CurveExpert 1.3. By the help of this program, suitable models for these graphics are determined. All models and their details related with the samples are printed and the compression strength values which the program calculates with considering models are presented. Furthermore, unmeasured 180th and 360th day compression strength values are computed by the program.

Key words: Industrial wastes, fly ash, silica fume, cement

1. GİRİŞ

Atık olarak doğaya bırakılan bir çok yan ürünün teknik özellikleri incelendiğinde pek çoğunun inşaat sektöründe değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Yakıt olarak kömürün kullanıldığı termik santrallerde yan ürün olarak ortaya çıkan parçacıklara uçucu kül adı verilir. Termik santrallerde kullanılan taş kömürlerinin %10 - %15'i, linyit kömürlerinin ise %20 - %40'ı küldür (EIE, 1979). Termik santralin 1kWh'lik enerji üretimi ortalama 110gr. külün de atık madde olarak üretilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla 1000 MW'lık bir santralden bir yılda yaklaşık olarak 650.000 ton uçucu kül ve taban külü elde edilmektedir (DEÜ, 1984). Bu mertebedeki bir kül üretiminin depolanabilmesi için yılda 60.000m², santralin servis ömrü olarak kabul edilebilecek 30 yıllık bir süre içinde ise 1.800.000 m² civarında bir alana ihtiyaç doğmaktadır. Ülkemiz bir yılda ortaya çıkan uçucu kül yaklaşık 11 milyon tondur.

Termik santrallerde üretilen küllerin santral dışına, genellikle santralden oldukça uzak bir yere taşınması gerekmektedir. Taşıma sistemlerinde meydana gelen arızalar, elektrik üretiminin durmasına ve dolayısıyla önemli elektrik enerjisi kayıplarına neden olur. Öte yandan santral dışına taşınarak, kül tutma havuzları, barajları gibi yerlerde depolanmaları sırasında uçucu küller, yağmur ve rüzgar erozyonu, tozlanma, korozyon, radyasyon, tarımsal ürünlere zarar, zeminde süzülme halinde toksik madde taşınması gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar çevredeki su ve hava kalitesinde, canlıların yaşamında, tarım ürünlerinde, çevresel estetikte ve dolayısıyla içinde bulunduğu bölgenin ekonomik faaliyetlerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Gray,1977; EIE, 1979) ancak bazı önlemler alınarak bu sorunları bir ölçüde azaltmak mümkün olabilir. Örneğin küllerin nemlendirilerek taşınması, kül tutma havuzlarında çökeltmesi rüzgar erozyonu ve tozlanma problemlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, sulu küllerin kömür alındıktan sonra boşalan ocaklara atılması da çevre sorunlarına bir ölçüde çözüm getirmekte ve aynı zamanda bu tür yerlerin yeşillendirilmesine de olanak sağlamaktadır (Gray, 1977; EIE, 1979; DEÜ, 1984). Yukarıda örnekleri verilen ekolojik sorunları bir ölçüde azaltıcı bir başka yol da küllerin ticari amaçla değerlendirilmesidir. Ancak, bu durumda, niteliklerinin kaybolmaması amacıyla, küller kuru olarak elde edilmelidirler.

Dünyada enerji sorununun büyümesi ile kamuoyunda çevre bilincinin gelişmesi hemen hemen eş zamanlı olarak 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Birbiriyle çelişkili görünmekle birlikte, gerçekte birbirlerini tamamlayan bu iki kavram doğrultusunda;

- Enerji üretim ve tüketiminde tasarruf,
- Çevre kirlenmesine neden olan atıkların geri kazanılması konularının önemle ele alınması ve termik santraller özelinde; çevre kirlenmesi ve teknik, ekonomik sorunlar ve buna karşılık atıkların çeşitli potansiyel kullanım alanlarının bulunması gibi etkenler nedeniyle termik santrallerde kül üretimi ve bu üretimin değerlendirilmesi konuları önem kazanmıştır.

Enerji ihtiyacındaki artışa paralel olarak üretim miktarı büyük ölçülere ulaşan uçucu küllerin tarımdan kimya endüstrisine, zemin ıslahından çeşitli yapı malzemeleri üretimine kadar çok sayıda potansiyel kullanım alanları mevcuttur (Abdunnur, 1961). 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.

Ayrıca elektrometalurji sanayiinin bir yan ürünü olarak elde edilen ve puzolanik özelliğinden dolayı silis dumanı da kendisine inşaat sektöründe geniş bir yer edinmiştir. Çok ince bir malzeme olduğu için oldukça yüksek yüzey alanına sahiptir.

Bu çalışmada atık olarak çevreye bırakılan uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur klinkeere katılmış ve çimento harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin 2, 7, 28, 56 ve 90. gün sonundaki basınç mukavemetleri tespit edilmiştir.

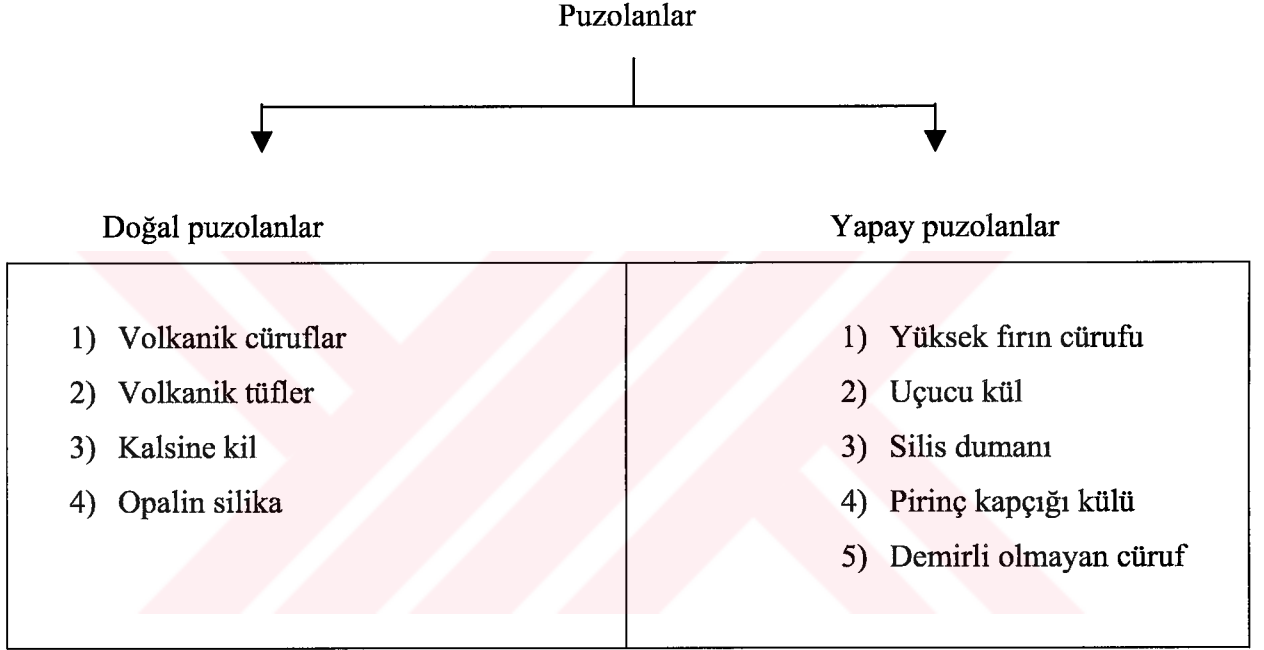
Hem doğanın ve hem de insanlığın yararına olarak sayısız araştırmacı tarafından bütün dünyada sürdürülen bu çalışmalar yerini bulmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Puzolanların Tanımı ve Sınıflandırılması

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri olmayan veya çok az olan doğal veya yapay mineral katkılardır. Ancak ince olarak ufalanmış halde ve ortamda nem bulunması halinde kalsiyum hidroksit ile normal sıcaklıklarda reaksiyona girerek bağlayıcı nitelikleri olan bileşikler meydana getirme yeteneğine sahip silisli ve alüminli bir malzeme olarak tanımlanır. Puzolanların sınıflandırılması ve türleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Puzolanların sınıflandırılması ve türleri (Özturan, 1991)



Puzolanlara ait standart değerlerin var oluşunun yanında pek çok araştırmacı da kendi sınıflamalarını yapmıştır (Mehta, 1987; Berry, 1987; Sellevold, 1987; Hooton, 1987; Douglas, 1987, Malhotra, 1987).

Doğal puzolanlar başlıca az ya da çok geniş değişikliklere uğramış, volkanik kaynaklı maddeler de içerirler. Suni puzolanlar bu gibi doğal maddelerin kil ya da şist olarak ısıtılmasıyla elde edilirler, bundan başka diğer ürünlerin artıklarıdır.

Kaynakları ne olursa olsun puzolanların esas silistir. Doyurucu özelliklere sahip puzolanlar %40’dan %90’a kadar SiO_2 içerebilirler. (Özturan, 1991)

Bu çalışmada ağırlıklı olarak uçucu kül ve silis dumanı ile çalışıldığı için puzolan olarak bu iki endüstriyel atıktan söz edilecektir.

2.2 Uçucu Kül

2.2.1 Uçucu Külün Tanımı

Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Bu şekilde elde edilen küle uçucu kül adı verilmektedir. Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1 - 200µm arasında değişmektedir. Bir uçucu külün tane boyutları termik santraldekikül 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.

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları santralde kullanılan kömürün içindeki mineral safsızlıkların tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85'ini SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO ve MgO oluşturur.

2.2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Örneğin Fransa ve İspanya gibi uçucu küllerle ilgili standardı bulunmayan ülkelerde külün içerdiği 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 kömüründen 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.

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 (EİE, 1979; Aitcin ve ark.,1986).

ASTM C 618'e göre uçucu küller iki geniş kategoriye ayrılmaktadır.

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. Silikoaüminoz küller ASTM F sınıfına dahildirler. Silikokalsik uçucu küllerin bir kısmı C sınıfına, sülfokalsik uçucu küllerin bir çoğu ise C sınıfına girerler.

TS 639, ASTM F sınıfı uçucu külleri 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 $>\%25$ olmasını öngörmektedir (TS EN 450). EN 197-1 W sınıfı ise, reaktif silisin $>\%25$, reaktif CaO ' in $>\%5$ olmasını, EN 197-1 V sınıfı ise W sınıfından farklı olarak reaktif CaO ' in $<\%5$ olmasını öngörür.

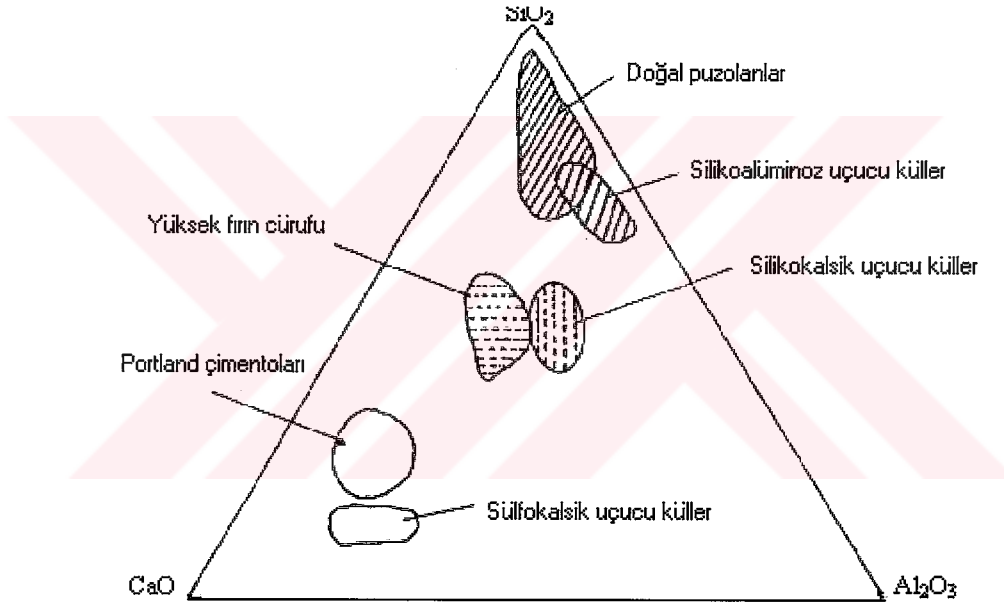
Ancak, yukarıda belirtilen sınıflandırmaların tümü sorunu, gerçektekinden daha basitleştirmektedir. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının elde edildikleri kömürün jeolojik geçmişiyle ve termik santraldaki yanma sıcaklığına doğrudan bağlı olması her türlü sınıflandırma çabasını yetersiz kılmaktadır. 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 küllün bizzat kendi sınıfını meydana getirdiğini belirtmektedirler.

2.2.3 Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapıları

Uçucu küller senosfer (içi boşluklu) , plerosfer (iç içe geçmiş) olarak adlandırılan camsı kürecikler, süngerimsi yapıda, yanma sonucunda dekompoze olmuş, kil safsızlıkları, magnetik kürecikleri, bir kristal üzerinde oluşan daha kaba kürecikler (dermosfer) diğer mineral parçacıkları ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kimyasal yapılarında ana elementler olarak Si, Al, Ca, Fe ve S bulunur. Bu elementler, yanma biçimine bağlı olarak, SiO_2 , Al_2O_3 demir oksitler (Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4), kireç (CaO) , SO_3 oluştururlar. Bunların dışında daha az miktarlarda MgO , alkali oksitler (Na_2O , K_2O) , TiO v.b. uçucu küller içinde bulunabilir. Uçucu küllerin karbon içeriği santralin verimine bağlıdır. Genel olarak modern termik santrallarda bu oran $\%3$ 'ün altındadır (Aitcin ve ark., 1986).

Uçucu küllerin çimento ve beton endüstrisinde kullanılma nedenleri içinde en önemlilerinden biri olan pozolanik özellikleri kompozisyonlarından çok mineralojik yapılarına bağlıdır. Düşük kalsiyumlu uçucu küllerdeki ana aktif bileşenler silika ve aluminadan oluşan camsı ve amorf fazlardır. Bu tür uçucu küller rutubetli ortamları içinde kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özelliklere sahip bileşenler meydana getirirler. Diğer bir deyişle, düşük kalsiyumlu uçucu küller pozolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kalsiyumlu küller ise bir yandan pozolanik özellik gösterirken, içerdikleri serbest kireç, anhidrit, trikalsiyum aluminat amorf SiO_2 ve amorf Al_2O_3 v.b. amorf bileşenler nedeniyle de kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptirler. Düşük kalsiyumlu uçucu küllerin camsı faz miktarı yüksek kalsiyumlara oranla daha yüksektirler. Şekil 2.1’de uçucu küller ile bazı pozolanik malzemelerin kıyaslanması gösterilmiştir



Şekil 2.1 Uçucu küllerin bazı pozolanik malzemeler ve Portland çimentoları ile Rankin diyagramında karşılaştırılması (EIE, 1979; Aitcin ve ark., 1986)

Düşük kalsiyumlu uçucu küllerde görülen mineral fazlar camsı ve amorf faz, mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), kuartz (SiO_2) v.b. iken, yüksek kalsiyumlu uçucu küllerde bunlara ek olarak, zaman zaman daha fazla miktarlarda, serbest kireç (CaO), anhidrit (CaSO_4), trikalsiyum aluminat ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) ve çeşitli kalsiyum silikatlar bulunan (ör: gehlenit, feldspatlar). Değişik tipteki uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Farklı tiplerdeki uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları
(Mehta, 1983; EİE, 1979; EİE,1982)

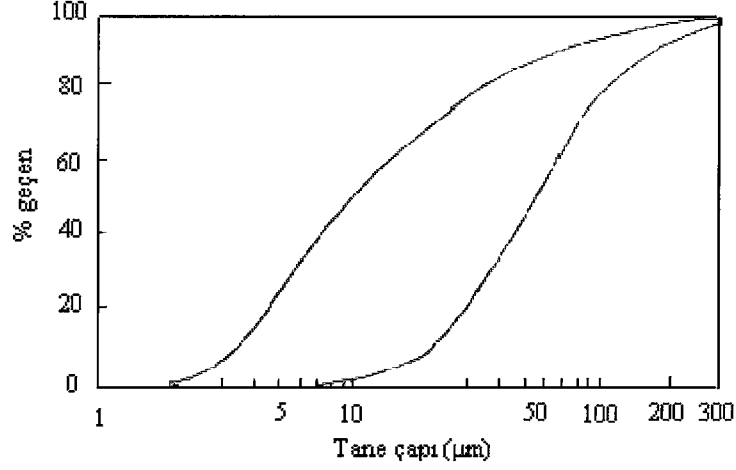
(%)	Silikoalüminoz	Sülfokalsik	Silikokalsik
Amorf ve camsı faz	60	35	50
Mullit	20	1	5
Hematit	7	4	3
Magnetit	6	1	1
Kuvartz	5	5	5
Anhidrit	-	15	5
Serbest CaO	-	20	10
Feldspatlar ve gehlenit	-	≥20	≥15

2.2.4 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

2.2.4.1 İncelik

Uçucu küllerin tipik tane dağılımı eğrileri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi uçucu küllerin incelikleri kül tutma mekanizmalarına bağlıdır. Ancak, elektrostatik yöntemlerle tutulan uçucu küller, çimento ve beton endüstrisinde kullanım açısından, daha uygundur. Bir termik santraldan elde edilen uçucu küllerin tane dağılım eğrileri, zaman içinde kömür kaynağında, kömür öğütme yönteminde, termik santral projesinde büyük değişiklikler olmadığı sürece, sabit kabul edilebilirler (ACI 226, 1987).

Uçucu külün beton içindeki performansını etkileyen en önemli faktör inceliğidir. Lane ve Best'in araştırmaları sonucunda, uçucu küllü betonların dayanım, aşınma direnci, donma-çözülme direnci gibi özelliklerin kullanılan uçucu külün inceliğinin bir fonksiyonu olduğunu anlaşılmıştır (Lane ve Best 1982).

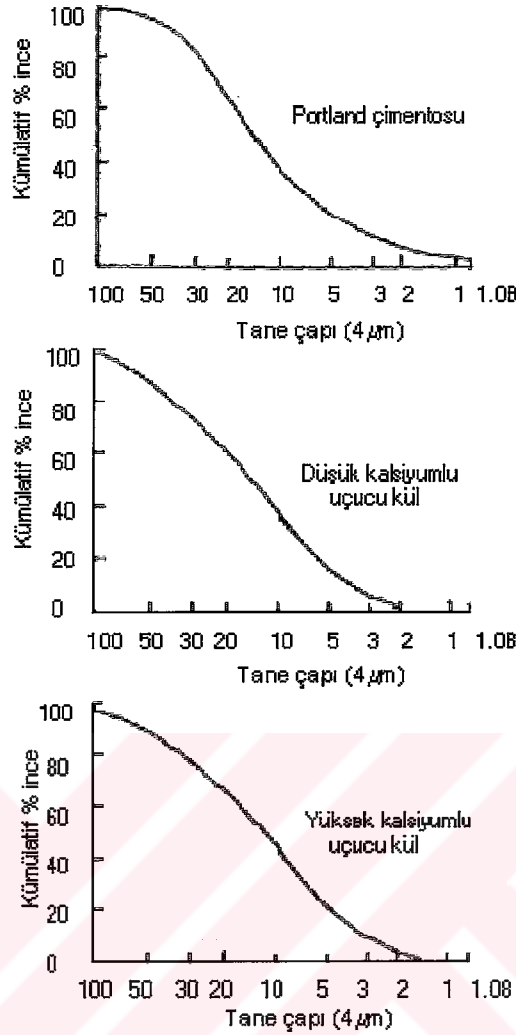


Şekil 2.2 Uçucu küllerin tipik tane dağılımları (Dhir, 1986)

Uçucu küllerin inceliklerinin tayini yöntemleri konusunda araştırmacılar arasında çeşitli anlaşmazlıklar mevcuttur. İnceliğin özgül yüzey cinsinden ölçülmesi (Blaine, Wagner v.b. yöntemler) Portland çimentoları için pratik ve anlamlı bir yöntem olmakla birlikte uçucu küller için aynı güvenilirlikle kullanılamayacağı iddia edilmektedir (Dhir, 1986).

Buna karşın, şimdiye kadar yapılan çeşitli araştırmalar uçucu küllerin özgül yüzeylerinin 1800-5000 cm^2/g arasında değiştiğini göstermektedir (EİE, 1982). Öte yandan, pratik oluşu nedeniyle sıkça kullanılan bir başka yöntem ASTM. No 325 eleğinin ($45\mu\text{m}$) üzerinde kalan miktarın tesbitidir (ACI 226 1987; Dhir 1986). Bunların dışında hidrometre analizi ve daha kompleks olan "azot absorpsiyonu" ve "X-ışınları sedimantasyonu" gibi yöntemler de uçucu küllerin inceliklerinin tesbitinde kullanılmaktadır (ACI 226, 1987).

Düşük kalsiyumlu ve yüksek kalsiyumlu uçucu küllerin tane dağılımlarının portland çimentoları ile kıyaslanması Şekil 2.3 'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Uçucu küllerin ve Portland çimentolarının tane dağılımları (ACI, 1987)

2.2.4.2 Yoğunluk

Uçucu küllerin yoğunlukları inceliklerine ve mineralojik yapılarına bağlıdır ve genellikle 1.9 ile 2.4 gr/cm^3 arasında değişir.

2.2.5 Uçucu Küllerin Çimento Üretiminde Kullanılması

Çimento üretiminde çeşitli endüstriyel artıklardan yararlanılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, ürünün çeşitli özelliklerinin iyileştirilmesi ve hammadde kaynaklarından tasarruf sağlanması gibi amaçlara hizmet eder. Bu amaçla kullanılan endüstriyel artıklar içinde en önemlileri uçucu küller, yüksek fırın cürufu ve fosfojips gibi malzemelerdir.

Uçucu küllerin çimento üretiminde kullanılmasının yararlarını;

- İnce taneli bir malzeme olması nedeniyle öğütme veriminde artış,
- çimento maliyetinde azalma sağlama olarak değerlendirilebilir.

Bu tür çimentolarla üretilen betonlarda;

- İşlenebilirliğinde artış,
- hidrasyon ısısında azalma,
- dayanıklılığında artış sağlanır.

Uçucu küller çimento üretiminde;

- Hammadde olarak,
- klinkere katılarak,
- çimentoya katılarak, üç değişik şekilde değerlendirilebilirler.

2.2.5.1 Uçucu Külün Çimento Hammaddesi Olarak Kullanılması

Portland çimentolarının üretiminde kullanılacak olan hammadde karışımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.3'de verilmiştir. Doğada bu kompozisyonu tam olarak sağlayan tek bir malzeme bulunmamaktadır . Genellikle kalker- kil, marl-kalker veya marl-kalker-kil gerekli oranlarda karıştırılıp çimento hammaddesi hazırlanmaktadır .

İçerdikleri yaklaşık %50 SiO_2 ve %30 Al_2O_3 nedeniyle düşük kalsiyumlu, silikoalüminoz uçucu küller kalkerle karıştırılarak çimento hammaddesi olarak kullanılabilirler. Öte yandan , yüksek kalsiyumlu silikokalsik küllerden de , \cong %40 SiO_2 , \cong %20 Al_2O_3 ve %15-35 CaO içermelerinden dolayı çimento üretiminde hammadde olarak yararlanmak mümkündür (EİE, 1979) .

Çizelge 2.3 Tipik Bir Çimento Hammaddesinin Kimyasal Kompozisyonu (Lea, 1972)

Oksit (%)	
SiO_2	14.3
Al_2O_3	3.0
Fe_2O_3	1.1
CaO	44.4
MgO	0.6
SO_3	0.1
K.K.	35.9
K_2O	0.5
Na_2O	0.1
CaCO_3	76.0

Ancak uçucu küllerin çimento hammaddesi olarak kullanılmasında, diğer hammaddelerde olduğu gibi, bazı diğer nitelikler de aranmaktadır. Alkali oksitler %5'in üstünde olduğu takdirde çimentoda zararlı etkiler yaratabilirler. Kükürt özellikle sülfokalsik küllerde kalsiyum sülfat şeklinde bulunur. Fazla miktarda olması betonda istenmeyen reaksiyonlara sebep olabileceğinden arzu edilmez. Aynı şekilde serbest MgO ve CaO hidratasyon sonucunda genişlemeye neden olduklarından hammadde içinde sınırlandırılmışlardır.

Uçucu küller diğer hammaddelerle birlikte döner fırında çeşitli aşamalardan geçerek portland çimentosu klinkerini meydana getirirler. Elde edilen çimentoda uçucu kül artık aynı bir malzeme değildir (EİE, 1979).

Çimento fabrikasına taşıma uzaklığının da uygun olması durumunda ayrıca bir öğütme işlemi gerektirmeyen uçucu kül üretim maliyetini önemli ölçüde düşürür. Öte yandan, bu suretle elde edilen klinkere veya çimentoda ayrıca uçucu kül katılması da mümkündür (EİE, 1979; 1982).

Uçucu küllerin klinkere katılarak birlikte öğütülmesi halinde uçucu küllü çimento elde edilir. Uçucu küllerin beton üzerinde, ileride belirtilecek olan etkileri, bu tür çimentolar vasıtasıyla da elde edilebilir. Uçucu kül bu şekilde kullanıldığında kimyasal kompozisyon olarak herhangi bir değişikliğe uğramaz. Bu tür çimentoların üretiminde uçucu kül klinkerin öğütülmesini kolaylaştırarak, fabrikanın üretim kapasitesini artırır.

2.2.5.2 Uçucu külün Klinkere Katılması

Uçucu küllerin klinkere katılarak birlikte öğütülmesi halinde uçucu küllü çimento elde edilir. Uçucu küllerin beton üzerine olan etkileri, bu tür çimentolar vasıtası ile de elde edilebilir. Uçucu kül bu şekilde kullanıldığında kimyasal kompozisyon olarak herhangi bir değişikliğe uğramaz. Bu tür çimentoların üretiminde uçucu kül klinkerin öğütülmesini kolaylaştırarak, fabrikanın üretim kapasitesini artırır .

2.2.5.3 Uçucu Külün Çimentoya Katılması

Uçucu küllerin doğrudan çimentoya katılması, klinkere katılması ile aynı sonuçlar vermektedir. Ancak, bu durumda kullanılacak uçucu külün klinkerle birlikte öğütülecek uçucu küle kıyasla daha ince olması gereklidir (EİE 1979).

2.2.6 Uçucu Kül ve Doğal Puzolan İhtiva Eden Çimentolar

Harçlar, doğal puzolan betonları ve kireç, son yüzyılın sonlarına kadar her zaman kullanılmış, kimyasal tesirlere, özellikle deniz suyu tesirine karşı koyabilen malzemelere başvurmak gerekli olmuştur. Puzolanik harçların ve betonların kullanımı ve önemi, başarılı uygulanabilirlik, hızlı sertleşme ve mekanik dayanımın gelişmesine malik olan portland çimentosunun popülerliğinin

artması ile bir düşme göstermiştir. Portland çimentosunun puzolanlı kireç karışımına ilave edilmesiyle dayanım önemli ölçüde geliştiği halde, bu düşme kısa sürmüştür.

Son kademedede, puzolanlar için gerekli olan kirecin, kalsiyum silikatların

hidratasyonu ile oluşan kireç ile fazlasıyla karşılandığı göz önüne alınarak, puzolanik çimentolar hazırlanmıştır, yani puzolan ve portland çimento karışımı ima edilmektedir.

İyi puzolanlara sahip ülkelerde, çimentolar, portland çimentolarıyla mukayese edilirse başlıca bunların geliştirilmiş dayanıklılığı açısından olmak üzere bir çok nedenlerden dolayı hızlı bir şekilde yayılır. Bu karakteristikler, büyük sayılarda, bu çimentolardan yapılmış, denizle ilgili yapılar, su kuvvetiyle işleyen ve yeraltı yapıları ile 80 yıldan daha fazla bir zamandır serviste görülmesiyle doğrulanmış ve geçerliliği teyit edilmiştir.

Isı gelişiminin düşük oluşuyla bağlantılı olarak, bunlara diğer bir sebep daha ilave edilmiştir, bundan dolayı puzolanik çimentolar geniş kütleli beton kalıplarında büyük ölçüde kullanılmıştır. Daha yakın zamanlarda, Birleşik Devletler'de, puzolanik çimentoların, alkali-agrega reaksiyonunun sebep olduğu genleşmeyi önlemek için kullanılabileceği bulunmuştur.

Eğer puzolanın miktarı kalsiyum silikatların hidratasyonu esnasında oluşmuş kirecin tümünü sabit tutmaya yeterli ise, puzolanik çimentolar elde edilir, şayet yeterli değilse puzolanlı çimentolar elde edilir. Puzolanik çimentolar alışlagelmiş karakteristiklerinden dolayı puzolanlı çimentolara nazaran daha çok miktarlarda elde edilir.

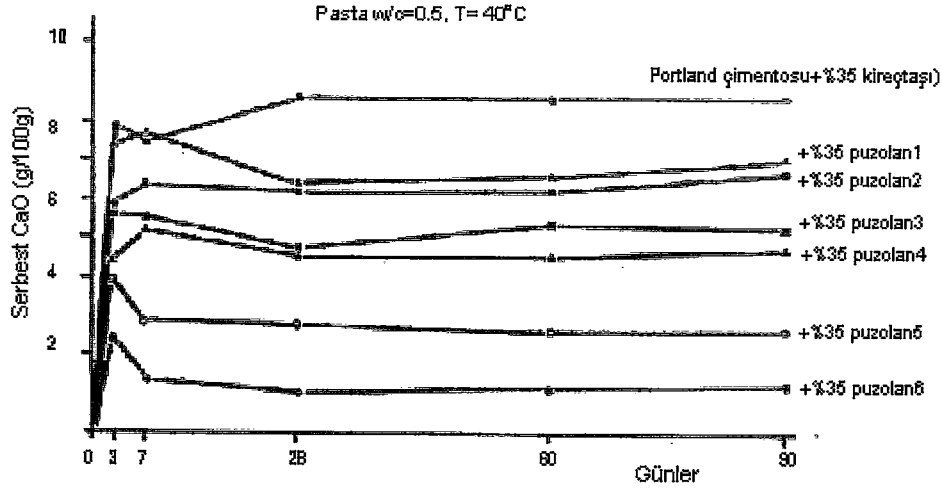
İtalya'da, puzolanik çimentoların kullanılmasına devam edilmektedir, ayrıca, portland çimentolan ile mukayese edildiğinde ilk sertleşme hızının düşük olmasından doğan durumlar haricinde herhangi bir sınırlama olmaksızın inşaat işlerine ait yapılarda da kullanılmaktadır.

Doğal puzolanların olmadığı bölgelerde çimento çalışmalarında İtalya'daki gibi uçucu kül kullanılmaktadır (Massazza, 1989).

2.2.7 Genel Olarak Doğal ve Yapay Puzolan İçeren Çimento Pastalarındaki Reaksiyonlar

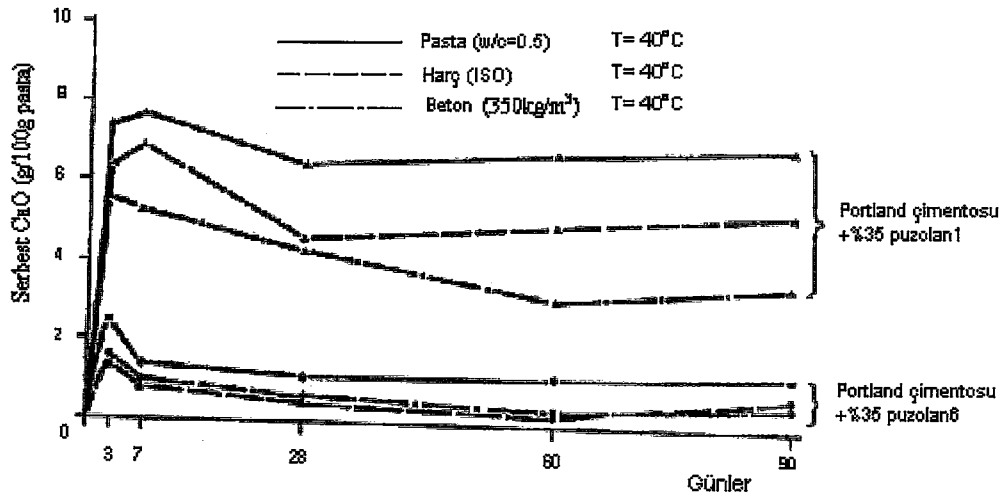
Klinker silikatlarının hidratasyonu esnasında oluştuktan sonraki bir durumda puzolanlar kireç ile yavaşça reaksiyona girer. Diğer bir deyişle, puzolan, en az uygun miktarlara kadar, klinkerin hidratasyonu çok ilerlediği zaman tepkimeye başlar. Buna bağlı olarak, puzolan-kalsiyum hidroksit reaksiyonunun klinkerin hidratasyon ürünleri tarafından tutulmayan ürünleri boşlukları doldurur. Bu, geçirgenlikte bir azalmaya neden olur, fakat aynı zamanda da puzolanik reaksiyonların gelişimini yavaşlatır. Bu sebepten dolayı, puzolanlı çimentoların sertleşmiş

pastalarında bile, kürlenme (curing) derecesinin yanısıra, puzolanın ve klinkerin doğasına bağlılık mertebesinde serbest kireç her zaman bulunmaktadır (Şekil 2.4'e bakınız).



Şekil 2.4 Portland çimentosunun %35'ini puzolanlar ve kireçtaşı ile değiştirmenin etkileri (Massaza, 1989)

Şekil 2.5'de, serbest kireç miktarının, çimento pastalarından harçlara ve betonlara geçişteki azalımı görülmektedir, çünkü agrega/çimento oranındaki artış, çimentonun dispersiyonunu geliştirir ve kimyasal denge koşullarının oluşumunu kolaylaştırır (Massazza, 1989).



Şekil 2.5 Pastada, harçta (1:3) ve betonda (1:6) serbest CaO içeriği, 40°C'de muamele gören iki tür puzolan ile Portland çimentosunun %30'unun yer değiştirmesi (Massazza, 1989)

Hem doğal, ve hemde suni puzolanları ihtiva eden çimentolarda oluşan bileşenlerin doğası ile ilgili olarak, farklı nispetlerde olmasına rağmen, portland çimentosu hidrasyonunda oluşum olarak aynı olduğu söylenebilir. Hidratlı pastalar genellikle, klinkerin hidrasyonu esnasında oluşan primer CSH'den ve puzolanik reaksiyonun etkisi ile başarılı bir şekilde oluşan CSH'dan meydana gelmiştir. Oluşan diğer hidratlı fazlar, sertleşmiş portland çimento pastalarında bulunan fazlara çok benzerler. Yüksek kireçli uçucu kül ve silis dumanın çimentonun mikroyapısına olan etkisinin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada yeni bir CSH jeli bulunmuş ve bu jel elektron mikroskop görüntüleri ve X-Ray ile belirlenmiştir (Temiz, Karakeçi, 2002).

2.2.8 Uçucu Kül ve Doğal Puzolan İhtiva Eden Çimentoların Özellikleri

2.2.8.1 Prizlenme zamanı

Puzolanların mevcudiyeti, klinkerin (çok çabuk tepkiyen bileşen) uğradığı sulanma ve standard tutarlığın meydana gelmesi için gerekli su miktarının fazlalığına bağlı olarak çimentoların prizlenmesinde bir gecikmeye sebep olur.

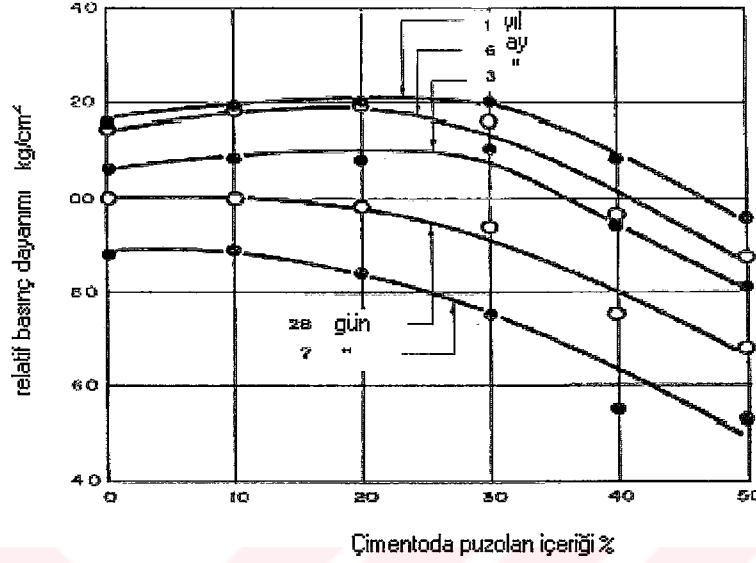
Çizelge nin tetkiki, puzolan ihtiva eden çimentoların prizlenme zamanları ile portland çimentolarının prizlenme zamanlarının fazla farklı olmadığını gösterir. Daha spesifik olarak, doğal puzolanlar ihtiva eden sınıf 425 puzolanik çimentoları, diğerleri ile mukayese edilirse, ilk ve son prizlenme zamanları az gecikir iken, uçucu kül ihtiva eden sınıf 325 çimentoları daha mühim gecikmeler gösterir.

Bu veriler uçucu kül içeren çimentolar hakkında literatürde sık belirtilen önemli gecikmeler ile uyuşur gözükmez, fakat şu da hatırlanmalıdır ki; çimento endüstrisinde kullanılan uçucu küller, bu tipin kusurlarının önlenmesi amacıyla doğru bir şekilde kontrol edilir. Betona yerinde direkt olarak ilave edilen zayıf küllerin kullanımının kontrolsüzlüğü ile bir tehlike ifade edilir. Son olarak, ilk ve son prizlenme zamanlarının çimentonun tipi ve sınıfı ile değiştiğine dikkat edilmelidir

2.2.8.2 Dayanım

Genelde söylemek gerekirse, puzolanların portland çimentolarına ilave edilmesi erken dönemlerde betonun dayanımını düşürür. İlave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak, son dayanım saf portland çimentosununkini aşabilir. Bu davranımın bir örneği, tamamen aynı klinker, aynı puzolan ve aynı incelikle hazırlanan çimentolara tekabül eden, Şekil 2.6' in diyagramında görülebilir. Farklı numunelerin dayanımı, 100'e eşit olduğu varsayılarak, puzolansız çimentoların verdiği 28 günlük dayanımın bir fonksiyonu olarak

açıklanır. Şekiller, puzolanlar belli yüzdeleri aştığı zaman, dayanım değerlerinin hızla düştüğünü göstermektedir, çünkü, tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması sebebiyle, puzolanların fazlası sertleşmeye katkıda bulunamaz (Massazza, 1989).

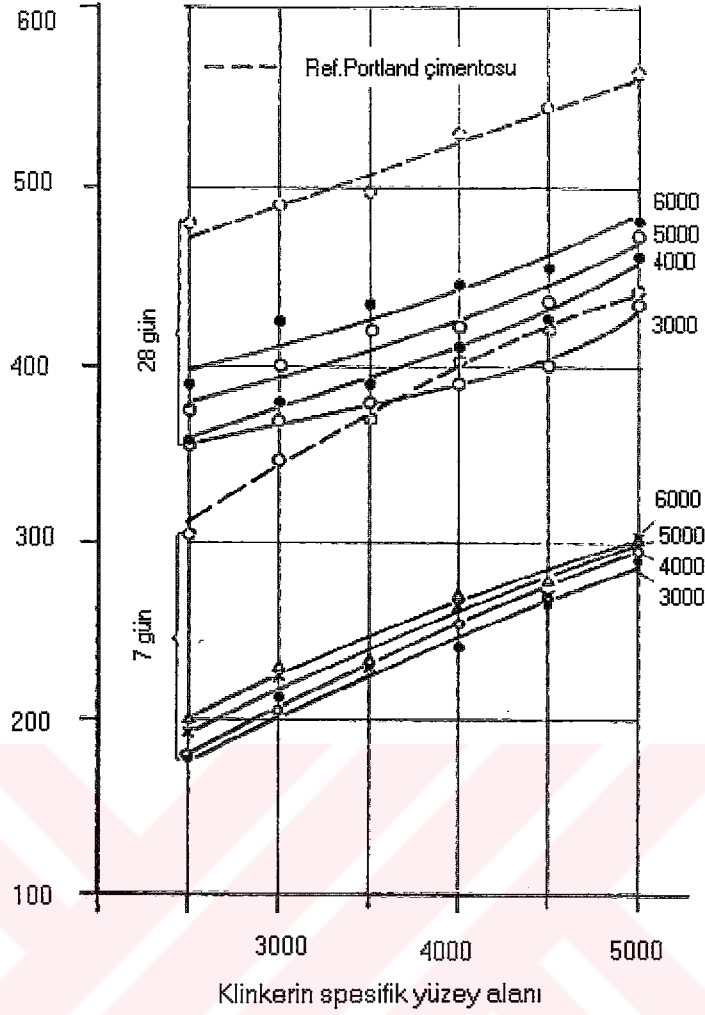


Şekil 2.6 Puzolan ile Portland çimentosunun yer değiştirmesinin ISO harcının basınç dayanımına etkisi (Massazza, 1989)

Şekil 2.6'de verilen değerler referans numunenin 28 günlük basınç dayanımına aittir. İtalya'da bir çalışma için üç tip puzolanlı çimento hazırlanmıştır; 28 günlük minimum dayanımları 225, 325 ve 425 kg/cm² olan barajlar, normal ve yüksek dayanımlı çimentolar için (belirtildikleri sıra ile), puzolanların ilk bağıl kimyasal durgunluğu sebebiyle, en az oluş zamanı için, hızlı sertleşen çimentolar hazırlamak mümkün değildir. Fakat, eğer bu tip çimentonun üretiminin çok sınırlı olduğu varsayılırsa, bu gerçek önemsenmeye değer.

Yine portland çimentoları ile mukayese edildiği zaman, sıkıştırma dayanımı (Rc) eşit olan puzolanik çimentoların yüksek bir eğilme dayanımı (Rf) vardır veya diğer bir deyişle, sonraki durumda Rc/Rf oranı öncekine karşı düşüktür.

Diğer bağlayıcılarda neler olduğuna benzer olarak, daha ince öğütülmüş ürün, Şekil 2.7 'den görüldüğü gibi, dayanımı artırır, fakat etkileri 7 günde çok gösterişsiz olup, sadece 28 gün'den sonra sezilebilir bir duruma gelmeye başlar (Massazza, 1989).



Şekil 2.7 Puzolanlı çimentonun dayanımı üzerinde klinker ve puzolan inceliğinin etkisi (Massazza, 1989)

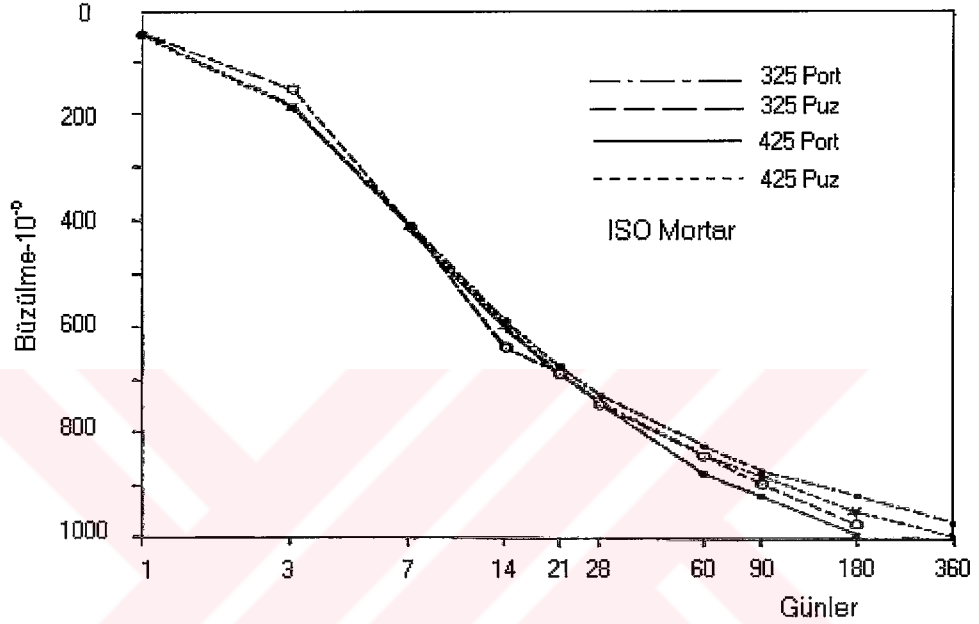
Eğer puzolanın spesifik yüzeyi sabit tutulup, klinkerin spesifik yüzeyi artırılırsa, dayanımda çok fazla artmalar elde edilir. Bu gerçekte, puzolanın, sertleşme prosesinde yer almasıyla relatif yavaşlığa bağlanır. Puzolan ihtiva eden çimentoların, kireç-puzolan harçlarının benzer davranımına karşılık gelen diğer bir özelliği, dayanımların gelişimi üzerine sıcaklığın etkisi ile ilgilidir. Bunlar, portland çimentolarına nazaran, sıcaklıktaki yükselme ile daha büyük mertebelere artar (Massazza, 1989).

2.2.8.3 Akış

Hem doğal ve hemde suni puzolanlar ihtiva eden puzolanlı çimentoların akışı, puzolanlı çimentolara nazaran, portland çimentolarının uygulanabilirliğinin daha az olma durumunun nadir olmamasına rağmen, ortalama olarak portland çimentolarınınkinden, agreganın yaygınlığı açısından, portland çimentoları ve puzolanlı çimentolar arasındaki farklılıklar daha az olmaya meyillendir.

2.2.8.4 Çekilme

Muhtemelen, çimentoların ihtiva ettiği puzolanlar veya uçucu küllerin yüksek miktarlarda C-S-H jel'i olması bilindiği gibi çekilmenin sebebi olduğundan, puzolanlı çimentolann büzülmesi portland çimentolarınıninkine nazaran daha az yüksektir. Bununla birliktr, farklı tipteki çimentolar arasındaki farklılıklar gözönüne alınmaz (Şekil 2.8) . Ayrıca, puzolanların doğasının çekilme şekilleri üzerine az etkisi vardır.



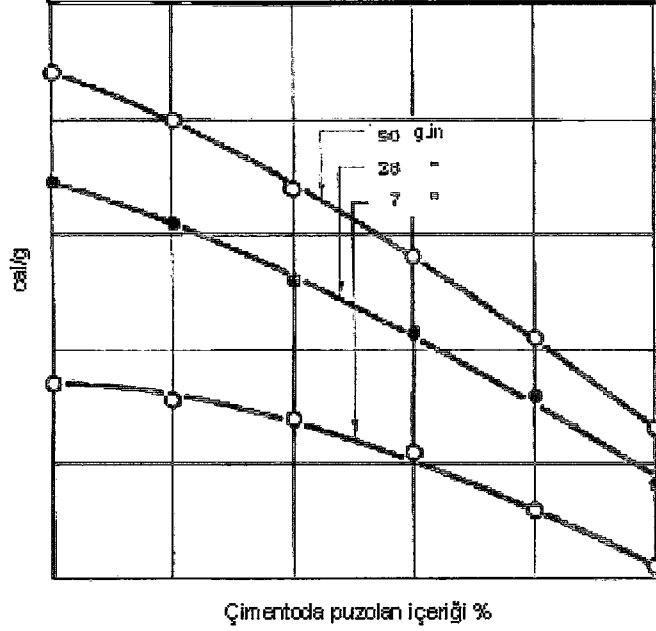
Şekil 2.8 Portland ve puzolanlı çimentoların büzülmesi (Massazza, 1989)

2.2.8.5 Büzülme

Sertleşmenin hızlı olması büzülmenin çok olması demektir, bundan dolayı, portland çimentolarına nazaran daha yavaş sertleşen puzolanik çimentolar genellikle eğer vaktinden önce kuvvet tatbik edilirse, daha büyük deformasyonlar gösterir.

2.2.8.6 Hidratasyon Isısı

Puzolan ihtiva eden çimentoların hidratasyon ısısı klinker/puzolan oranını devamlı olarak düşürür. Şekil 2.9'da, kürelemenin artmasıyla, bazı değerler uyumlu olduğu halde, ısıdaki azalmanın kesin olarak uygulamanın puzolanın yüzdesi ile orantılı olmadığı açıkça görülmektedir (Massazza, 1989).



Şekil 2.9 Portland çimentosu yerine puzolan kullanımının hidrasyon ısı üzerine etkileri
(Massazza, 1989)

%30-40 puzolan içeren puzolanik çimentolarda, katkısız çimentolara karşı hidrasyon ısısındaki azalma % 20 'yi aşabilir. Bu şekiller, doğal veya suni puzolan ihtiva eden tüm çimentolar için tatbik edilebilir.

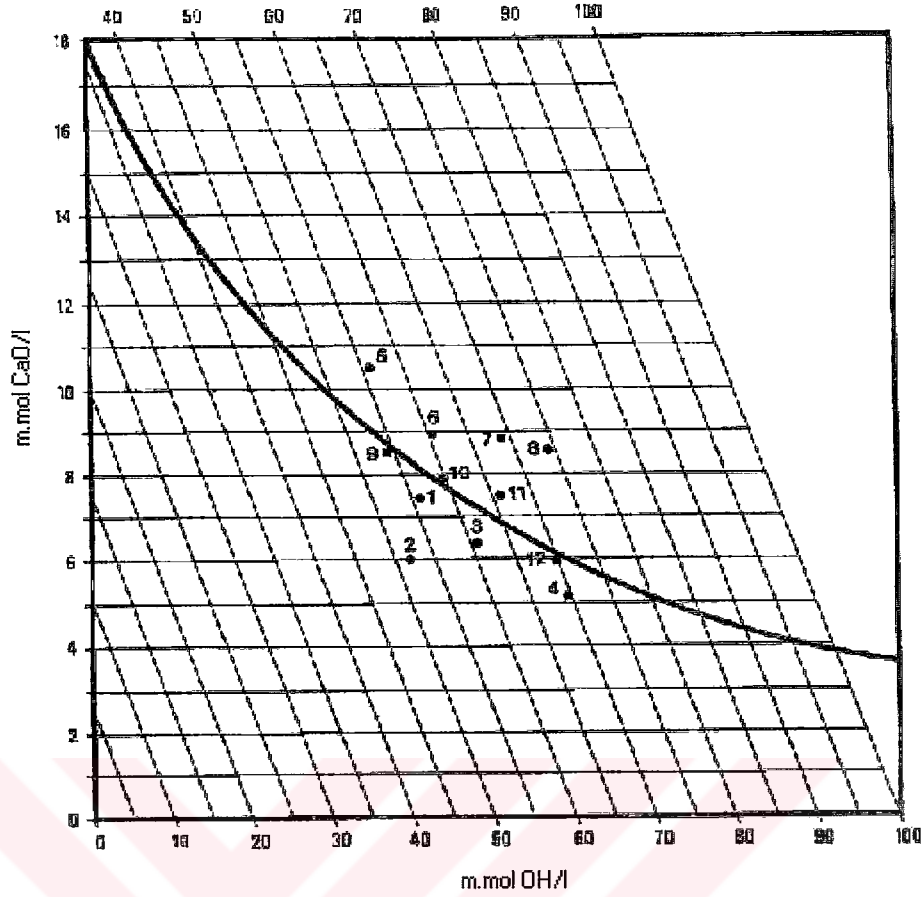
2.2.8.7 Puzolanik Özellik Gösterme Testleri ve Puzolan İçeriğinin Değerlendirilmesi

Çimentolarda puzolan içeriğinin tesbit edilmesi için önerilen edilmiş metodların tümü, puzolan ve klinkerlerin belli kimyasal reaktiflerde farklı eriyebilme esasına dayanır.

Ayrıca ECS metodu, işlenmesi bakımından , 1:10 seyretilmiş HCl ile çimentoya tesirlerinden dolayı aynı prensibe dayanır. Klinker eritilir ve kalıntının puzolan veya uçucu kül'den meydana geldiği farzedilir. Kalıntı doğasının belirsizliği, puzolanik aktiviteye sahip ilaveleri gösteren spesifik testlerin eksikliğine bağlıdır.

Maalesef, reaktifler hiçbir zaman mükemmel seçici değildir, ve ayrıca bunların etkileri, klinker ve hepsinden ziyade puzolanların doğasına bağlıdır. Buna bağlı olarak, sadece kullanılan reaktif emrinde çalışılan puzolanın eriyebilirlik değeri biliniyorsa, bu metodlar doğru şekiller sağlar.

Pratik olarak şu söylenebilir; prosedürler üretim kontrolünde avantaj sağlamak için kullanılır, fakat, iyi tanımlanmamış çimentolarda önemli hatalar yapmayı göze almaksızın genişletilemez. İtalyan düzenlemeleri, puzolan miktarının tehlikesizce ayarlanma zorluklarında ve bunların aktivitelerinin tesbit edilmesinde karşılaşılan engelleri giderir (Massazza, 1989).



Şekil 2.10 Puzolanite test grafiği (Massazza, 1989)

Puzolanların esas özelliği, hidrasyon esnasında kalsiyum silikatlardan bırakılan serbest kireci sabitleştirmek olduğundan, bu tip puzolanik çimentolar, su altında tutulan, belli koşullarda kürlenen (curing) , kalsiyum iyonuna göre doymamış çözeltiye yer veren (bu, hidratlı pastalarda katı kalsiyum hidroksitin yokluğunun bir işareti olmaktadır) çimentolar olarak tanımlanır. Sabit sıcaklıkta $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in erime kabiliyeti çözeltinin alkalinitésinin bir fonksiyonu olduğundan, çimentonun puzolanik olup olmadığının değerlendirilmesi için, Şekil 2.10 'deki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in 40 °C'de ki eriyebilme izotermini gösteren grafik kullanılır.

Ordinat, litrede m.mole CaO olarak ifade edilmiş Ca^{2+} iyonunun konsantrasyonunu gösterirken; absis, OH^- iyonlarının litrede m.mole olarak ifade edilmiş toplam alkalinitesini göstermektedir. Erime eğrisinin üzerindeki kısımda aşırı doymuş çözeltilerin noktaları bulunurken, eğrinin altındaki kısımda doymamış çözeltilerinki bulunmaktadır. Yeterli kısımda aktif puzolana malik olan puzolanik çimentolar, grafiğin alt kısmında yer alırken, diğerleri üzerinde yer almaktadır. Kirecin her bir konsantrasyonuna karşılık gelen alkalinité miktarı doğrunun eğiminden okunur (Massazza, 1989).

Bu suretle, toplamdaki CaO miktarı esas alınarak hesaplanan alkalinite çıkarılarak, mevcut alkali metallere dolaylı olarak alkalinite elde edilir.

Puzolanlılık testi olarak adlandırılan bu test, 100 cc su ihtiva eden konik bir erlenmayer balonunun içerisinde 20 gr. çimentonun dağıtılması ile yapılır . Şişe dikkatle kapatılarak 40°C' da sabit kalabilen fırının içine konur. Sekiz gün sonra süzülür. CaO muhtevası ve alkalitesi filtre kısmından tayin edilir. Şayet iki analitik ölçümün temsili noktası grafikteki erime eğrisinin altına düşerse testin pozitif olduğu düşünülür. Şayet noktalar isoterme yakınına düşerse sonucu güvenilir olarak kabul edilir ve 15 günlük kürlenmeden sonraki testler doğru olarak kabul edilir. Bu nedenden dolayı test tabiki belirli bir şekilde pozitif dönüşmelidir.

Şekil 2.10 'deki 1,2,3,4 noktaları puzolanlı çimentoya karşı gelir. 5, 6, 7, 8 noktaları puzolanik olmayan çimentolara (portland, cüruf, puzolan), 9, 10, 11, 12 noktalarındakiler kararsız davranışlar gösterirler. Bunlar 15 günlük kürlenmeden sonra test edilmelidir (Massazza, 1989).

2.2.9 Uçucu Külün Beton Üretiminde Kullanılması

Uçucu küllerin beton malzemesi olarak kullanılması amacıyla yapılan araştırmalar daha önce de bahsedildiği gibi bu malzemenin puzolanik özelliklerinin ortaya çıkmasıyla başlamıştır. Konu üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalar uçucu küllerin betonun bütün özelliklerini etkilediğini göstermiştir. Taze betonun reolojisini etkilemesinin dışında, sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığına kadar olan etkilerinin yanı sıra betonun maliyetini de düşürmesi söz konusudur.

2.2.9.1 Uçucu Külün Taze Betonun Özelliklerine Etkileri

Bu çalışmanın temel konusu endüstriyel atıkların çimentoda değerlendirilmesinin yanında, çimento-beton etkileşimi göz önünde tutularak uçucu külün taze ve setleşmiş betonun bazı özelliklerine olan etkilerine değinilmiştir. Aynı nedenle silis dumanının da betonun bazı özelliklerine olan etkilerinden ‘‘Silis Dumanı’’ kısmında bahsedilmiştir.

Taze beton, çimento hamuru içinde dağılmış agrega ve diğer katı taneciklerden ibarettir. Karışım aynı zamanda doğal olarak hava içerir. Bu çok fazlı kompozit sistem statik değildir. Çimento ile su birbiriyle karışır karışmaz beton kütleli birleşiren bağların meydana geldiği reaksiyonlar başlar. Yeni tanecikler biçimlenir, başlangıçtaki tanecikler çözünür ya da çimentonun reaksiyon ürünleri tarafından çevrelenirler. Dağıtma, flokülleşme ve yerçekimi kuvvetleri bu dinamik sistemin uzaysal kompozisyonunu düzenlemek için adeta yarışa girerler. Meydana gelen kimyasal reaksiyonlar boyunca ısı açığa çıkar ve sıcaklık yükselir. Tüm bu olaylarda uçucu kül de bir miktar rol oynar. Düşük kireçli uçucu kül büyük ölçüde

küresel biçimli ince bir agrega olarak davranmakta iken yüksek kireçli uçucu külün ilk çimento reaksiyonlarında bir miktar fonksiyonu olabilmektedir.

Betonun priz süresi taze beton özelliklerindedir. Betonun karıştırıldıktan sonraki ilk birkaç saat boyunca priz aldığı aşamaların ilk priz başlangıç zamanı, sonuncusu ise priz bitiş zamanı olarak tanımlanır ve bu süreler bazı penetrometre testleri ile tayin edilir.

Uçucu kül bir ya da birkaç sebepten ötürü çimentonun sertleşme hızını etkilemeyebilir.

- Külün kendisi bağlayıcı olabilir (yüksek kireçli).
- Uçucu kül portland çimentosuna ilave edilen jips ile aynı yönde etki gösteren sülfat içerebilir.
- Uçucu kül-çimento harçları uçucu kül varlığının bir sonucu olarak daha az suya ihtiyaç duyabilirler. Bu durumda doğal olarak sertleşme hızını etkileyecektir.
- Uçucu kül taze beton reolojisini değiştirmek için ilave edilen aktif maddeleri (Su azaltıcı) emebilir, sonuçta yine harç fazının sertleşmesini etkilemiş olur.
- Uçucu kül tanecikleri çimento hidrasyon ürünlerinin kristalizasyonu için çekirdek rol oynayabilir.

Lane ve Best (1982), uçucu külün genel olarak betonun prizini yavaşlattığını öne sürmüşlerdir. Gözlenen bu gecikme üzerinde karışım oranlama yönteminin, uçucu külün inceliği ve kimyasal kompozisyonunun etkili olabileceğini fakat çimento inceliği, hamurun su içeriği ve ortam sıcaklığının gecikmeyi çok daha fazla etkilediğini iddia etmişlerdir.

2.2.9.2 Uçucu Külün Sertleşmiş Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri

Uçucu kül sertleşmiş betonun özelliklerini bir ya da birkaç yönden etkileyebilir. Bu kısımda, uçucu kül kullanımının betonun basınç dayanımı ve diğer yapısal nitelikleri üzerindeki etkileri hakkında değerlendirme yapılacaktır:

2.2.9.2.1 Uçucu Külün Betona Katılma Oranlarının Dayanıma Etkisi

Uçucu küllü betonların karışım hesaplarında üç ayrı yöntem kullanılır, bunlar;

- 1) Çimentonun bir kısmı yerine uçucu kül konulması,
- 2) İnce agreganın bir kısmı yerine uçucu kül konulması,
- 3) Hem çimentonun hem de ince agreganın bir kısmı yerine uçucu kül konulması şeklindedir.

Yukarıda belirtilen üç yöntemden birincisi kullanıldığında yaklaşık üç aylık süre içinde dayanımların PÇ betonundan daha düşük, ancak bu süreden sonra yüksek olduğu gözlenmiştir (Berry, Malhotra, 1984).

İkinci yöntemde ise, uçucu küllü betonun bütün yaşlarda PÇ betonundan daha yüksek dayanımlar gösterdiği belirlenmiştir; aradaki fark erken yaşlarda düşük, yaklaşık üç aydan sonra oldukça yüksek gelişmiştir (Price, 1961). Bu yöntem hakkında yapılan çalışmalar sayıca çok az fikir vermekte olup bir fikir vermekten uzaktır. Ancak ara yüzeyde kalsiyum hidroksit konsantrasyonunun yüksek olduğu gözönünde bulundurulursa, uçucu kül katılmasıyla bu faktörün olumsuz etkisinin de bir ölçüde ortadan kalkacağı söylenebilir (Mehta, 1983).

Üçüncü yöntem kullanıldığında, uçucu küllü betonlar kontrol betonlarıyla, erken yaşlarda çok yakın dayanımlar verirken, ileri yaşlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Berry, Malhotra, 1980; Dhir ve ark., 1984)

2.2.9.2.2 Uçucu Kül Tipinin ve Kimyasal Kompozisyonunun Dayanıma Etkisi

Bazı uçucu küllerin çimentonun varolmadığı durumda bile bağlayıcı özelliğe sahip olduklarını hatırlatmakta fayda vardır. Buna bağlı olarak bu özelliğe sahip olduğu kabul edilen C sınıfı uçucu küller F sınıfı uçucu küllere nazaran erken yaşlarda daha yüksek reaksiyon hızı gösterirler. Cook (1982), C sınıfı küller ile yaptığı çalışmalarda, 45µm'nin altındaki tanecik miktarı ile orantılı olarak puzolanik aktivitenin arttığını göstermiştir.

2.2.9.2.3 Uçucu Kül Tane Boyutu ve Dayanıma Etkisi

Tane boyutu, dayanım gelişimini iki yönde etkileyebilir. 45µm'den daha büyük taneler su ihtiyacını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gerçek erken yaşlarda uçucu kül reaksiyonunun düşük hızını telafi etmek üzere kullanılan karışım oranlama metodları için bir karmaşadır. Bağlayıcılık aktivitesi konsantre hamurdaki katı fazın yüzeyinde meydana geldiğinden yüzeyden merkeze doğru reaksiyona katılmamış ya da hidrate olmamış kısımlar mukavemet kazanımını etkilemektedir. Bu sebeple yüzey alanı bu tür aktivitelerin işleyişinde önemli rol oynar.

Joshi (1982) ve Ravina (1981) yaptıkları çalışmalarda bir kaynaktan farklı incelikte uçucu kül grupları elde etmek amacıyla elektrostatik filtrelerde kendiliğinden tane boyutlarına göre ayrılmış uçucu külleri kullandılar. Uçucu kül elektrostatik filtrelerde birkaç kademe toplanmaktadır. Taneler inceldikçe yanma ünitesinden daha uzak kademelerde birikirler. Her kademe biriken küllerden ayrı ayrı almak suretiyle farklı tane boyu dağılımına sahip kül numuneler elde edilmiş olur .

Kademeler arasında değişen faktör yalnız tane boyutu değildir. Aynı zamanda kimyasal ve fiziksel özellikler ile tanecik yapısı da değişir. Kimyasal olarak karbon daha iri taneler ile birlikte ayrılmaya eğilimlidir.

Öğütme işlemi, bir kaynaktan belirlenmiş büyüklükte kül elde etmek için diğer bir yoldur. Monk (1983), dört güç santralinden alınan küllerle harmanlanmış çimento ve yarı öğütölmüş çimento ile Portland çimentosunu karıştırmıştır. Bu araştırmadan ortaya çıkan önemli sonuçlar şunlardır:

- Alçı taşı, uçucu kül ve yarı öğütölmüş klinkerle hazırlanan Portland ve uçucu kül çimentosu, normal öğütölmüş Portland çimentosu ve uçucu kül ile oluşturulan çimentonun su ihtiyacına eşit veya daha azdır.

- Yarı öğütme uçucu külün işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemedi. Küresel partiküllerin parçalanması gözlenmedi fakat büyük çaplı küllerde topaklaşmış küreler birbirinden ayrıldı.

- Yarı öğütölmüş çimentoların her yaştaki mukavemetleri öğütölmüş çimentolara eşit ya da daha fazladır.

- Yarı öğütme mukavemetin sonraki yaşlardaki artışının da gösterdiği gibi su azaltıcı özellikleri ve puzolanik aktivitesi göz önüne alınarak kaba taneli küllerde bir gelişme olarak sonuçlanmıştır.

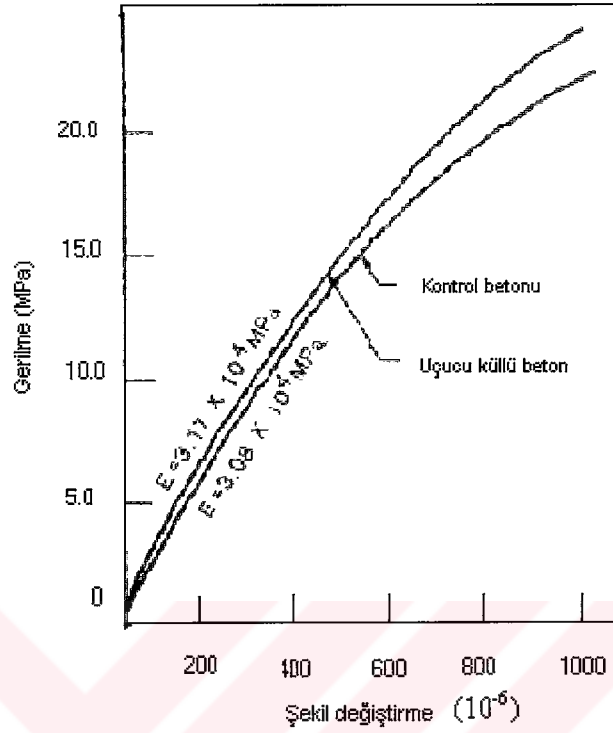
Uchikawa ve arkadaşları (1982), sınıflandırılmış uçucu kül ile yapılmış betonların 28 günden sonra aynı su/çimento oranındaki kontrol betonunda çok yüksek bir mukavemet kazanma hızı gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Yapılan pek çok çalışmalarda da uçucu inceliğinin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Erdoğdu, Türker, 1998; Lee, ve ark., 1999; Chindaprasirt ve ark, 2001).

2.2.9.2.4 Uçucu Külün Betonun Diğer Mekanik Özelliklerine Etkisi

Uçucu küllerin betonun elastik modülü, sünme ve büzölme gibi diğer mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, dayanım üzerindeki etkisi ile benzeşmekle beraber çeşitli araştırmaların sonuçları PÇ betonuyla uçucu küllü betonların bu özellikler açısından önemli farklılıklar göstermediğini ortaya koymaktadır.

Uçucu küllü betonların elastiklik modülü, PÇ betonuna oranla erken yaşlarda düşük, daha sonraları ise eşit veya yüksektir (Lane, Best, 1982). Ancak aralarındaki fark yukarıda da bahsedildiği gibi önemsenecek büyüklükte değildir (Samarın, Munn, Ashby, 1983; Lamond,

1983). Şekil 2.11’de uçucu küllü ve uçucu külsüz beton için tipik gerilme-şekil değiştirme ilişkisini görülmektedir.



Şekil 2.11 Uçucu küllü ve normal betonlar için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Lane, Best 1982)

Sünme özellikleri de elastik modül ve uygulanan gerilmeye bağlı olduğundan erken yaşlardaki uçucu küllü betonların sürekli yükler altındaki deformasyonları PÇ betonuna göre daha fazladır (Mehta, 1983).

Betonlarda büzülmeyi uçucu kül kullanarak azaltmak mümkündür. Maksimum azalma çimentonun %20'si yerine uçucu kül kullanıldığında görülmüştür (Samarin ve ark.,1983).

2.3 Silis Dumanı

Silisyum metalinin veya ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen, endüstriyel bir atık olan silis dumanının değerlendirilmesi konusundaki ilk çalışmalar çevre koruması amacı ile 1950'li yıllarda Norveç'de başlamıştır. Çok ince taneli ve yüksek oranda amorf silis içeriği nedeni ile etkin bir puzolan olan bu maddenin çimento katkısı olarak kullanımı yine Norveç'de 1969 yılında denendi. Bu konudaki uygulamalar ve silis dumanının beton içindeki davranışı ile ilgili araştırmalar daha ziyade İskandinav ülkelerinde olmak üzere 1980'li yılların başına kadar oldukça yavaş gelişti. Beton içindeki akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanıma girmesi, silis dumanının birçok beton özelliği üzerindeki olumlu etkilerinin ortaya çıkması ve çevre kirliliğine karşı endüstriyel atıkların daha sıkı kontrolü gibi faktörler silis dumanı konusundaki çalışmaların son yirmi yıl içerisinde hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur .

Silis dumanı bazı ülkelerde katkılı çimento üretiminde üretiminde kullanılmakta olup portland silis dumanlı çimento türü Avrupa ve Türkiye standartlarında yer almaktadır. Ayrıca, kimyasal katkı ve silis dumanı ile başka maddeleri içeren patentli karışımlar klinker ile birlikte öğütülerek yüksek dayanım ve performanslı çimentolar elde edilebilmektedir.

Silis dumanı katkılı çimento ve betonlar yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır. Uygulama alanları olarak yerinde dökülmüş veya prefabrikte yüksek dayanımlı veya erken dayanımı yüksek beton elemanları, ağır aşınmaya maruz hidrolik yapılar, deniz yapıları, yüksek dayanımlı hafif beton elemanlar, beton elemanların onarımı ve güçlendirilmesi, çelik donatının korunması, yüksek performanslı çimento şerbet ve sıvaları sayılabilir.

Türkiye'de silis dumanı Antalya'da Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinde elde edilmektedir. Ferrosilisyum ve silikoferron baca tozları olarak yıllık üretim miktarları toplam 1.000-2.000 ton arasında değişmektedir. Buradan elde edilen silis dumanı 1980'li yılların sonlarından itibaren özellikle üniversitelerimizde çimento ve beton katkı maddesi olarak çeşitli araştırmalarda kullanılmıştır .

Silis dumanı silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozudur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO₂ olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen tamamını oluşturur (Yeğinoğlu, 2002).

Alaşımdaki silisyum içeriğine bağlı olarak silis dumanındaki SiO₂ miktarı izelge 2.4' de görüldüğü gibi artar. Bu miktar silisyum metalinde %98'e ulaşır.

Çizelge 2.4 Alaşımdaki silisyum içeriğine göre SiO₂ oranları (Yeğinobalı, 2002)

Alaşım türü	Silis dumanındaki SiO ₂ (%)
%50 Ferrosilisyum	61 –84
%75 Ferrosilisyum	84 – 91
Metal silisyum	87 - 98

2.3.1 Silis Dumanının Fiziksel zellikleri

2.3.1.1 Renk

Silis dumanı genellikle değişik tonlarda gri renktedir. SiO₂ renksiz olduğuna göre rengin koyuluğu karbon miktarına bağlı olarak artar. Demir oksit fazlalığı ise renge hafif kahverengi bir ton verir.

2.3.1.2 Özgül Ağırlık

Silis dumanının özgül ağırlığı ortalama 2.20 civarındadır bu değer alaşım türüne ve kaynağa göre izelge 2.5' de görüldüğü gibi biraz değişebilmektedir.

Çizelge 2.5 Silis dumanının alaşım trlerine göre özgül ağırlıkları (Yeğinobalı, 2002).

Si alaşım türü	özgül ağırlık
Si	2.23
Si + FeSi (%75)	2.26 – 2.27
FeSi (%50)	2.30
FeSi (%75)	2.21 - 2.23

2.3.1.3 Birim Ağırlık

Silis dumanının gevşek birim ağırlığı 130-430 kg/m³ arasında değişir. Genellikle %50 silis dumanı içeren sulandırılmış (bulamaç) halinde bu değer 1300-1400 kg/m³ düzeyine kadar yükselebilir. Piyasaya sıkıştırılmış olarak sevk edilen silis dumanında ise birim ağırlık ortalama 550 kg/m³ civarındadır (Yeğinobalı, 2002).

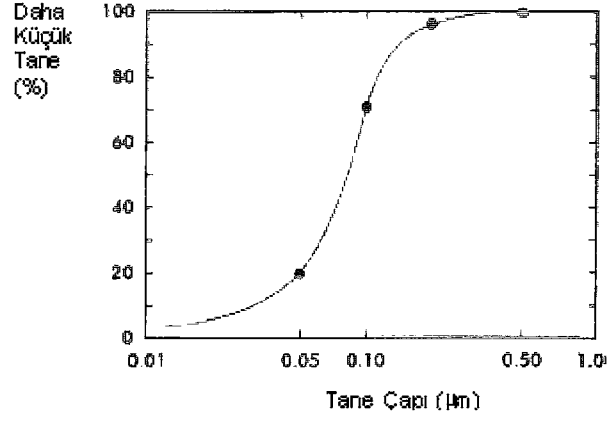
2.3.1.4 Tane Özellikleri

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden meydana gelir. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği Blaine metodu ile tayin edilememektedir. Bunda cihaz hücresine %50 boşluk oranı ile sıkıştırılmasındaki güçlük rol oynar. Çok ince taneli cisimlerde özgül yüzey Azot Adsorpsiyon (BET) metodu ile tayin edilebilmektedir. Burada özgül yüzey, tanelerin dış yüzeyleri ile içlerindeki açık boşlukların iç yüzeylerinden oluşan alanı 1 molekül kalınlığında bir tabaka ile kaplayacak azot gazı miktarından hesaplanmaktadır. Bu yöntem, taneler arasından hava geçiş hızını esas alan Blaine metodundan farklı olduğundan iki metodla elde edilen sayısal sonuçların doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir (Yeğinobalı, 2002). Ancak, Çizelge 2.6'deki değerler yine de silis dumanının inceliği konusunda bir fikir vermektedir.

Çizelge 2.6 Silis dumanının özgül yüzeyinin PÇ, UK ve GYFC ile karşılaştırılması (Yeğinobalı, 2002).

Adı	Metod	Özgül yüzey (m ² /kg)
Portland çimentosu	Blaine	300-400
Uçucu kül	Blaine	400-700
Granüle Y.F.C	Blaine	350-600
Silis dumanı	Azot (BET)	13.000-20.000

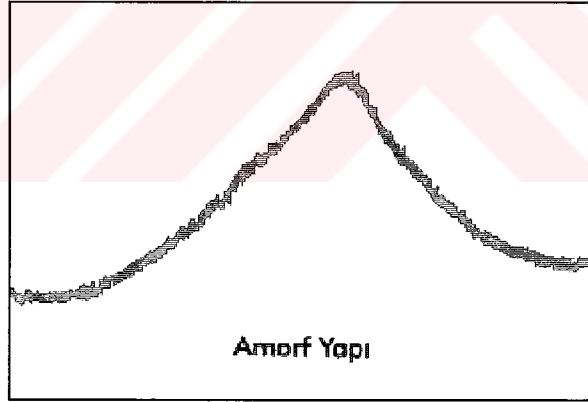
Silis dumanındaki karbon büyük yüzey alanı nedeni ile sonucu etkilediğinden özgül yüzey değerleri ile birlikte karbon miktarının veya kızdırma kaybının da verilmesi önerilmektedir. Silis dumanının tane boyutu dağılımına tipik bir örnek Şekil 2.12'de verilmiştir. Görüldüğü gibi tanelerin hemen tümü 1µm'dan daha küçük olup ortalama tane boyu 0.1 µm civarındadır. Ortalama çimento tanesinin çapı 10 µm kabul edilirse silis dumanının çimentodan 100 kere daha ince olduğu sonucuna varmak mümkündür. Doğal olarak tane boyu dağılımı silis dumanı türüne ve kaynağına bağlı olarak değişir. Genellikle silis dışı gayri saflıkları içeren taneler 45 µm'dan daha büyük olabilirler. Ancak bunların ağırlıkça miktarı %5-6'yı geçmez (Yeğinobalı, 2002).



Şekil 2.12 Silis dumanının tane boyu dağılımı (Yeğınobalı, 2002).

2.3.2 Silis Dumanının Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Silisyum metali ile %75 ferrosilisyum alaşımları veya bunların karışımlarından elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde SiO_2 miktarı %85'i geçmemekte, genellikle %90 civarında bulunmaktadır. X-ışınları difraktogramlarında silis dumanının tamamı ile amorf bir yapıya sahip olduğu Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.13 Silis dumanının mineralojik yapısını gösteren X-ışın difraktogramı (Yeğınobalı, 2002).

2.3.3 Silis Dumanının Çimento Hamuruna Etkisi

Çok ince ve yuvarlak silis dumanı taneleri daha iri çimento tanelerinin arasına girerek burada sıkışan suyu dışarı iterler ve taze hamurun kıvamı üzerinde etkili hale gelirler. Bu olumlu etkiye karşın silis dumanı tanelerinin oluşturduğu büyük yüzey alanı su ihtiyacını artıracak ve kıvamı olumsuz etkileyecektir. Araştırmalara göre çimentonun %5'i kadar silis dumanı su ihtiyacını fazla değiştirmemekte, daha büyük miktarlarda ise su ihtiyacı artmaktadır. Benzer şekilde, çimentonun %7.5'dan fazlası yerine silis dumanı katıldığında hamurun akma sınırı ve viskozitesinin arttığı, daha az miktarlarda ise azaldığı bulunmuştur.

Silis dumanı katkıli çimento hamurları genellikle daha geç priz alırlar. Katkı miktarı çimento ağırlığının %10'unu geçmedikçe bu etki ihmal edilebilir. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkıların da priz geciktirici etkileri olabilmektedir.

Silis dumanı katkısı arttıkça hidrasyon ürünlerindeki Ca/Si oranı azalır ve C-S-H jeli daha fazla alkali ve alüminat bağlayarak jel gözenek suyundaki alkalilerin azalmasına neden olur. Ayrıca CH'nin de silis dumanı tarafından bağlanması sonucu ortamın pH değerinde düşüş görülür. Ancak pratikte kullanılan silis dumanı miktarındaki bu düşüş çelik donatı çubuklarında korozyon riskini artıracak kadar olmaz. Ayrıca silis dumanı katkıli çimento hamurlarında geçirgenliğin azalması da olası bir riski fazlası ile dengeleyecek niteliktedir.

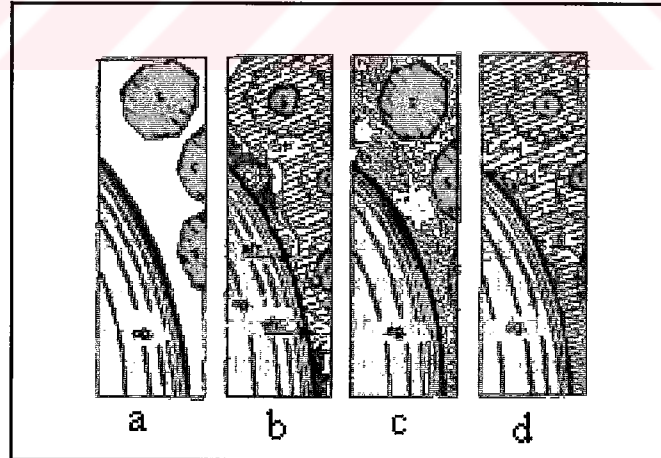
2.3.3.1 Silis dumanının Çimento Hamuru – Agrega Arayüzeyine Etkisi

Özellikle genç yaşlardaki betonlarda iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki arayüzey bölgesi hamurun diğer bölgelerinden daha zayıftır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Taze betonun terlemesi sırasında iri agrega taneleri altında toplanan su arayüzey bölgesinde s/ç oranını yükseltir ve boşluk yüzdesi artar
- Yine aynı nedenle çimento ana bileşenlerinden kalsiyum silikatların (C_2S , C_3S) hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit (CH) kristalleri bu bölgede daha büyüktür ve miktarca daha fazladır. Hidrasyonun başlıca ürünü ve hamurdaki esas bağlayıcı madde olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine oranla CH'nin bağlayıcılık değeri çok daha azdır. Ayrıca kristallerin boyu büyüdükçe toplam yüzey alanı küçülür ve dolayısı ile Van der Waals kuvvetleri daha da zayıflar.
- İri agrega yüzeyi boyunca katı taneler çeper etkisi nedeni ile daha gevşek bir düzen içinde yer alırlar. Burada hamur boşluk oranı daha da artar (Yeğinobalı, 2002).

Araştırmacılar silis dumanı katkısının beton dayanımı üzerindeki olumlu etkisini daha ziyade agrega-hamur arayüzeyini kuvvetlendirmesine bağlamaktadır. Bazılarına göre çimentonun %15'i yerine katıldığında ortama her çimento tanesi tanesine karşın iki milyon silis dumanı tanesi girmektedir. İnce silis dumanı taneleri arayüzeyindeki boşlukları doldurmakta, terleme azaldığı için agrega taneleri altında daha az su toplanmakta ve daha yapışkan hale gelen hamur ile agrega taneleri arasındaki fiziksel aderans artmaktadır. Sellovoid'a göre çok ince taneli mineral katkıları kalker tozu dahil çimentonun ilk yaşlardaki hidrasyonunu hızlandırmaktadır. Ayrıca bu tür ince taneler CH kristalleri için de daha fazla sayıda çekirdeklenme noktası sağladıklarından arayüzeydeki iri CH kristalleri yerine daha küçükleri oluşmaktadır

Şekil 2.14'de katkısız ve silis dumanı katkılı hamurların agrega ile olan arayüzeyleri gösterilmiştir. a) katkısız taze hamurdaki arayüzeyi belirtmektedir. Çimento taneleri (ç) arasında su ile dolu boşluklar görülmektedir. b) de aynı arayüzey sertleştikten sonra resmedilmiştir. C-S-H ve CH kristalleri, kısmen ettrenjit içeren boşluklar görülmektedir. şeklin c) ve d) bölümlerinde ise silis dumanı katkılı taze ve sertleşmiş hamurlardaki durum gösterilmiştir. Silis dumanı (SD) taneleri boşlukları doldurmakta, CH kristallerini küçültmektedir. Ayrıca ilave puzolanik C-S-H jeli de meydana gelerek boşlukları azaltmakta, dayanımı artırmaktadır (Yeğınobalı, 2002).

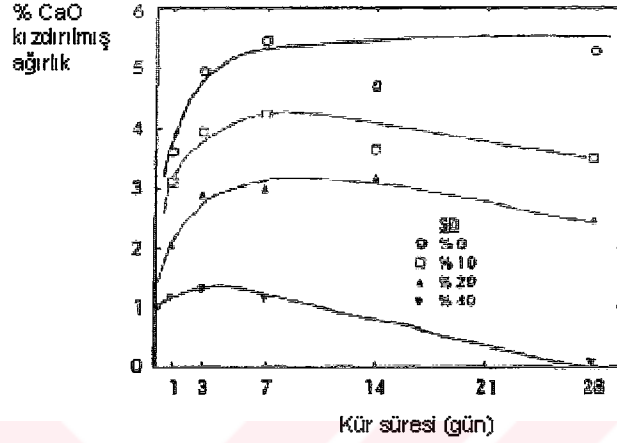


Şekil 2.14 Silis dumanı katkısının arayüzeye etkisi (Yeğınobalı, 2002)

2.3.3.2 Silis Dumanı Etkisiyle Çimento Hamurunda Oluşan Puzolanik Reaksiyonlar

Çok ince taneleri ve yüksek amorf silis içeriği nedeni ile silis dumanı çimento hamurundaki CH ile reaksiyona girerek puzolanik C-S-H jeli oluşturur. Bu konuda yapılan basitleştirilmiş bir çalışmada SD/CH oranıtısı 1 olan çözeltide ise bu reaksiyon 28 günde tamamlanmıştır.

Araştırmacılara göre silis dumanı katkıli hamurdaki puzolanik jel normal olarak oluşmakta olan C-S-H jelinin boşlukları içinde yer almakta ve sonuç olarak çok yoğun bir jel yapısı meydana gelmektedir (Yeğınobalı, 2002). Diğer bir çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 2.15’de gösterilmiştir. s/ç oranıtısı 0.23 olan bir hamurda CH tüketimi silis dumanı miktarına bağılı olarak artmakta, %40 katkı oranı ile 28 günde tüm CH tüketilmiş olmaktadır.



Şekil 2.15 Silis dumanlı hamurlarda CH miktarı (%CaO olarak); (Yeğınobalı, 2002)

Huang ve Feldman’a göre de silis dumanı ilk 8 saat içerisinde hidrasyonu hızlandırıp daha fazla CH açığa çıkarmasına rağmen sonraları CH’nin etkin bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Silis dumanlarında düşük alkali ve yüksek silika miktarları puzolanik aktiviteyi artırmaktadır.

2.3.4 Silis Dumanı Katkısının Beton Özelliklerine Etkisi

2.3.4.1 Silis Dumanı Katkısının Taze Beton Özelliklerine Etkisi

Silis dumanı katkısı çimento hamurunda priz sürelerini uzatır. Benzer etki taze betonda da görülür. Aktivitesi daha az olan puzolanların sebep olduğu priz gecikmeleri silis dumanı ilavesi ile kısmen telafi edilebilmektedir.

Silis dumanı içeren taze ve sertleşmiş betonların rengi daha koyudur. Koyuluk silis dumanının ve içerdiği karbonun miktarı ile artar. Beton yaşlandıkça bu renk farkının ortadan kalkabileceği belirtilmektedir.

Silis dumanının özgül ağırlığı çimento ve agregaya oranla daha azdır. Bu nedenle beton birim ağırlığında biraz azalmaya neden olabilir. Ancak, silis dumanlı betonlarda diğer malzeme miktarları da değişeceğinden genellikle önemli bir ağırlık farkı söz konusu değildir (Yeğınobalı, 2002).

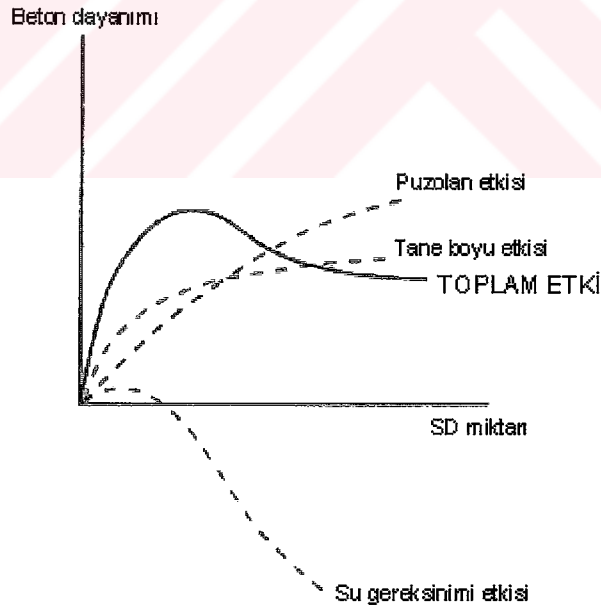
2.3.4.2 Silis Dumanının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi

2.3.4.2.1 Agreg-a-Hamur Arayüzeyi

Sertleşmiş çimento hamuru ile agreg-a arasında yaklaşık 50 µm kalınlığındaki arayüzey bölgesinin hidrasyon başlangıcından itibaren hamurun diğer bölgelerinden daha farklı bir yapı oluşmaktadır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve özellikle silis dumanı katkıları bu bölgenin morfolojisini olumlu yönde değiştirerek beton dayanımının artmasına katkıda bulunurlar. Silis dumanı katkısı ile bölgenin kalınlığı azalır. Bölgedeki CH kristalleri küçülür, eğimleri değişir, gözeneklilik azalır ve buradaki hamurun iç yapısı zamanla diğer bölgelerinkine benzemeye başlar.

2.3.4.2.2 Basınç Dayanımı

Diğer puzolanlar gibi yeni C-S-H jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agreg-a-hamur arayüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını artırır. Buna karşın belirli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını artırmaları gibi olumsuz etkileri de vardır (Yeğınobalı, 2002). Silis dumanı katkısının beton dayanımına olan etkisi Şekil 2.16'deki gibi açıklanabilir.



Şekil 2.16 Silis dumanının beton dayanımına etkisi (Yeğınobalı, 2002)

Dolayısı ile betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olacak ve çimento, agreg-a, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi klasik faktörlerden de etkilenecektir. Bazı araştırmacılara göre silis dumanı katkısının beton dayanımına olan olumlu etkisi agreg-a-hamur arayüzeyinin kuvvetlenmesinden dolayıdır.

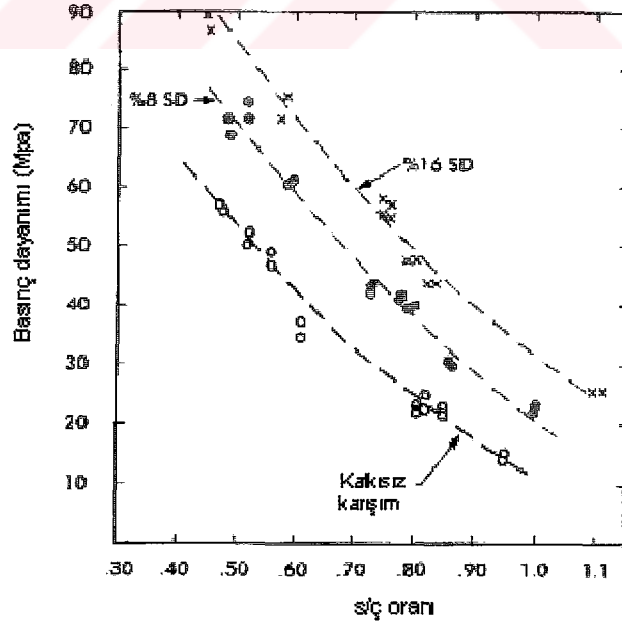
Zira aynı çimento/silis dumanı orantısında silis dumanı katkılı ve katkısız çimento hamurlarının dayanımları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Diğer taraftan, en önemli faktörün daha sıkı ve kaliteli bir çimento hamuru oluşması olduğu da ileri sürülmektedir.

Puzolanik katkıların beton özellikleri üzerindeki etkilerini kıyaslamak amacı ile geliştirilen bir eşdeğerlik faktörü K, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$K = \frac{(s/\zeta)_p - (s/\zeta)}{p/\zeta (s/\zeta)} \quad (2.1)$$

Bu faktör katkısız bir beton karışımının (s / ζ) oranı ile aynı yaşta, aynı beton özelliğini (örneğin dayanımını) sağlayan katkılı bir betonun $(s / \zeta)_p$ oranı ve katkı dozajı, p kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu faktöre göre silis dumanının olumlu etkisi diğer puzolanlarınkinden daha fazladır. Örneğin silis dumanı ile K faktörü 7 ve 28 günlük dayanımlar bazında 2-5 arası değerler alabilmekte, diğer bir deyimle 1 kg silis dumanı bu yönden 2-5 kg çimentoya eşdeğer sayılabilmektedir. Uçucu küllerde ise K değeri 90 günlük dayanımlarda ancak 1 değerine ulaşabilmektedir (Yeğınobalı, 2002).

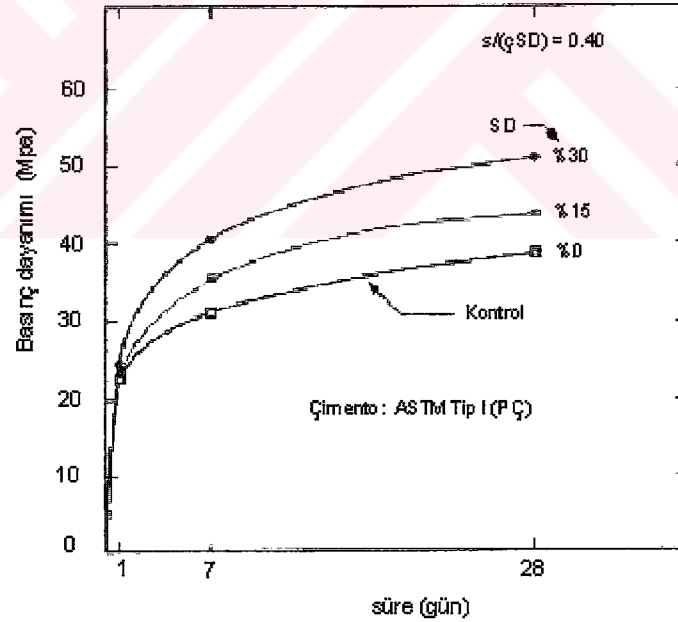
Şekil 2.17'ye göre belirli bir oranda silis dumanı içeren betonlar içinde akışkanlaştırıcı katkılardan bağımsız olarak, s/ζ oranı-dayanım ilişkisi geçerlidir.



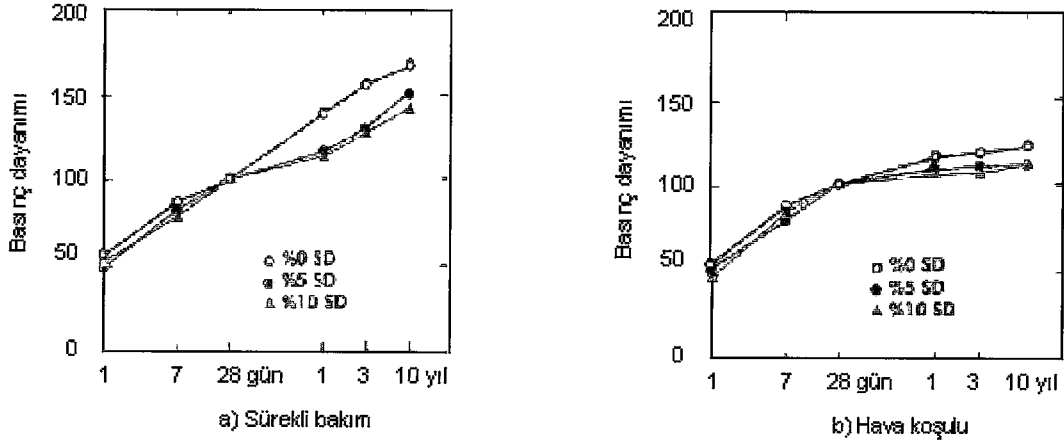
Şekil 2.17 Betonlarda s/ζ oranı-dayanım ilişkisi (Yeğınobalı, 2002)

Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Normal bakım koşullarında bu etki 3-28 gün arasında kendini gösterir. Ancak s/b (süre/basınç dayanımı) oranını 0.40 civarına indirerek 1 günlük dayanımları dahi yükseltmek mümkündür. Şekil 2.18 'de görüldüğü gibi süper akışkanlaştırıcı kullanıp s/b oranını 0.40'da sabit tutarak dökülen betonlarda çimentonun %30'una kadar varan miktarlarda katılan silis dumanı ilk birkaç günden itibaren dayanımları artırmaktadır. İleri yaşlarda olumlu etki azalmakta olup bazı araştırmacılara göre silis dumanlı betonlarda dayanım 90. günden sonra düşebilmektedir. Diğer taraftan, 4-6 yıl sonra dahi dayanımlarda azalma olmadığını bildirenler de vardır.

Bakım yapılsa dahi silis dumanı katkısının betonlarda 28 günden sonraki dayanımları azaltmasıdır. Tüm silis dumanlı betonlar için geçerliliği tartışmalı olan bu davranışa diğer puzolan katkılı betonlarda rastlanılmamaktadır. Maage'ye göre silis dumanının puzolanik reaksiyonu bazı uçucu küllerinki kadar sıcaklığa duyarlı değildir. Diğer puzolanlarda olduğu gibi silis dumanının olumlu etkileri iyi bakım koşulları ile gerçekleşebilmektedir (Şekil 2.19).

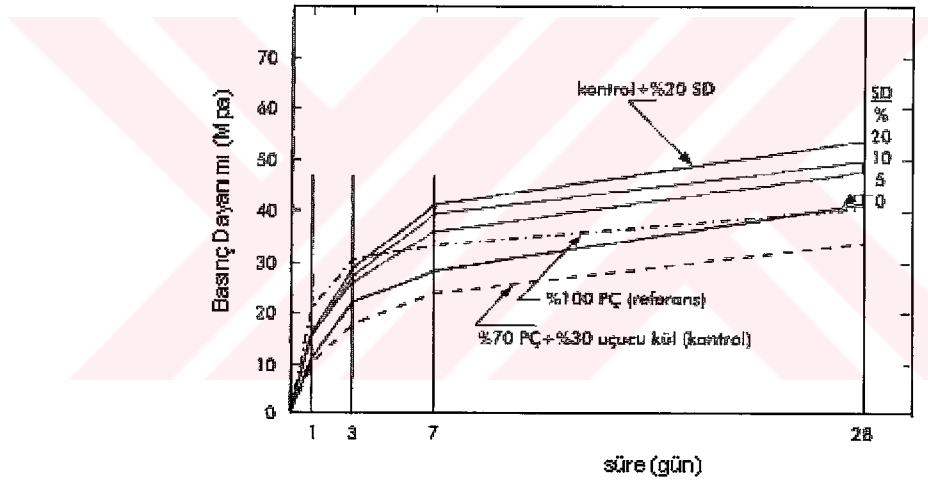


Şekil 2.18 Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi (Yeğınobalı, 2002)



Şekil 2.19 Silis dumanlı betonlarda dayanım artışı (Yeğinoğlu, 2002)

Silis dumanı katkısı betonun basınç dayanım hızını artırır. Şekil 2.20 'de %30 uçucu kül içeren bir betona silis dumanı katılmasının olumlu etkileri görülmektedir.



Şekil 2.20 Uçucu küllü betonun dayanımı üzerinde silis dumanı katkısının etkisi (Yeğinoğlu, 2002)

Betonun 28 günlük dayanımını artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanının genellikle çimentonun %5-%20'si oranlarında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarının süperakışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir. Yüksek dayanımlı betonlarda silis dumanı çimentonun ağırlıkça yaklaşık %15'i yerine katılmaktadır. Bu betonlarda çimento dozajını $400-500 \text{ kg/m}^3$ sınırının üstüne çıkarmak veya s/b oranısını 0.30'un altına indirmek gibi zorlamalar fazla yarar sağlamamaktadır (Yeğinoğlu, 1993).

2.3.5 Silis Dumanlı Çimentoların Standardı

Yüksek dayanımlı veya performanslı betonlarda silis dumanı miktarı genellikle çimentonun %15'i kadardır. Silis dumanlı çimentolardaki silis dumanının da bu miktarı geçmemesi beklenir. Silis dumanlı çimentoların üretimi ilk olarak İzlanda'da başlamış, bunu diğer ülkeler izlemiştir. Türk standardı olarak kabul ettiğimiz Avrupa standardı TS EN 197-1 Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de genel çimentolar içinde %6-%10 arasında silis dumanı içeren Portland Silis Dumanlı Çimento'ya yer vermektedir. Ayrıca, silis dumanı ile süperakışkanlaştırıcı katkıları da içeren bazı karışımların patentli olarak formüle edilerek klinkerle birlikte öğütüldükleri ve yüksek performanslı çimentolar üretildiği bilinmektedir (Yeğınobalı, 2002).



2.4 Çimento

Çimentolar, taneli malzemenin boşluğunda yer alan ve su ile birleştiğinde önce bir hamur meydana getiren, sonra da sertleşerek dayanım kazanan ve böylece bir kütle meydana gelmesini sağlayan, genel bileşenleri itibariyle, kil ve kireç bünyeli bağlayıcı malzemedir (Postacıoğlu, 1975).

Çimento ve suyun bir araya gelmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta plastik bir yapıya sahiptir ve bu iki malzemenin birleştiği andan itibaren aralarında hidrasyon (çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar) başlamaktadır. Hidrasyonun devam etmesiyle, başlangıçta plastik yapıya sahip olan çimento hamuru giderek plastikliğini kaybetmekte, zamanla katılaşarak sert bir malzeme durumunu almaktadır.

Çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hızı ve miktar, çimento ile su arasındaki hidrasyonun ne mükemmellikte oluştuğuna bağlıdır. Hidrasyonun ne hızda ve mükemmellikte olabileceği konusu ise, sıcaklık ve rutubet ortamlarına ek olarak büyük ölçüde, çimento kompozisyonuna, çimento inceliğine ve betonda kullanılan çimento miktarına bağlıdır. Hidrasyon ürünlerinin artması, çimento hamuru içerisindeki kapiler boşlukların azalmasını da sağladığından, çimentonun ne ölçüde hidrasyon yaptığı konusu, sadece çimento hamurunun ve betonun dayanımını değil, dayanıklılığını da etkilemektedir.

Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sırasında, “hidrasyon ısı” denilen bir miktar ısı açığa çıkmaktadır. Hidrasyon ısısının açığa çıkma hızı ve miktarı üzerinde çimentonun hidrasyon hızının ve hidrasyon miktarının çok büyük payı bulunmaktadır. Betonun maruz kaldığı sıcak ve soğuk hava koşulları da hidrasyon hızını etkilediği için, hidrasyon ısısının hızı ve miktarı üzerinde etkili olmaktadır (Erdoğan-I, 1995).

Çimentolarda az miktarda bulunan demiroksit (Fe_2O_3) kristal yapıya sahiptir. Pişirme esnasında hem kireçle ve hem de alüminatla birleşerek ferro alüminat kalsikleri meydana getirir. Çimentonun gri renk olmasına bu madde neden olmaktadır. Bu itibarla beyaz çimentolarda demiroksit pratik olarak bulunmamaktadır (Postacıoğlu, 1975).

Çimentodaki MgO ile K_2O ve Na_2O gibi alkali oksitler, hammadde içerisinde yer alan ve çimentonun olumlu özelliklerine önemli katkıları olmayan maddelerdir. MgO, genişletici etkisi olan $MgCO_3$ 'ün oluşmasına, alkaliler ise agregada bulunabilecek reaktif silis reaksiyona girerek, yine genişletici etkisi olan, alkali-silis jellerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar yavaş olduğundan, o zamana kadar sertleşen betonda yaratacakları genleşmeler beton için son derece zararlı olmaktadır (Erdoğan-I, 1995).

Bu jeller su emdikçe hacimlerinde bir genişleme olur. Bu genişlemeler de betonda çatlakların oluşmasına, basınç ve diğer mukavemetlerin de düşmesine neden olur. Meydana gelen bu olay alkali-agrega reaksiyonu olarak bilinmektedir ve bu reaksiyonun oluşması birkaç yıl sürmektedir. Çimentoda ayrıca öğütülmeden önce katılmış bulunan jipsten dolayı az miktarda SO_3 bulunabilir. Kömürün yanması sonucunda oluşan SO_3 'ün bir kısmı çimentoya karışır. Aynı zamanda ilkel malzeme içinde kükürtün var olması nedeniyle de çimentoda bir miktar SO_3 bulunabilir. Çimentodaki SO_3 miktarı genel olarak küçük bir değer olmakla birlikte bunun varlığı yine bazı hallerde çimentonun kullanılmasında önemli zararlar meydana getirir.

Çimentolar çeşitli yapılarda çok farklı şekillerde kullanılmaktadırlar. Çimentodan, her kullanıldığı yerde değişik ve belirli bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikleri yerine getirmeyen çimentonun o yerde kullanılması mukavemetin düşük olması, çatlakların meydana gelmesi gibi önemli zararlara yol açar. Bu nedenle çimentonun genel özellikleri hakkında bazı bilgilere sahip olunmalıdır (Postacıoğlu,1975).

2.4.1 Çimento Çeşitleri

İnşaat sektöründe, kullanım amaçlarının farklılığından dolayı farklı özelliklere sahip çimentolar üretilmektedir. Bunlar;

- Portland çimentoları
- Doğal çimentolar
- Puzolanlı çimentolar
- Yüksek fırın çimentoları
- Alüminli çimentolar
- Özel çimentolar'dır.

2.4.1.1 Portland Çimentoları

Portland çimentosu, uygun oranlarda birleştirilen kalkerli ve killi hammadde karışımının, döner fırında yaklaşık $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a kadar pişirilmesiyle elde edilen ve klinker denilen ürünün, soğuduktan sonra, küçük bir miktar (%3 - 6) alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir. Portland çimentosunun tipik kimyasal analizi Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Portland çimentosunun kimyasal analizi (Erdoğan-I, 1995)

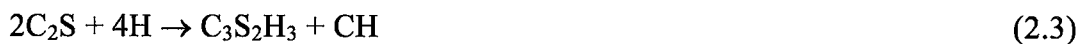
Ana oksitler	Formülü	Çimentonun kimyasına göre sembolü	Miktarı (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir	Fe ₂ O ₃	F	0.5-6
Kükürt trioksit	SO ₃	S	1-3
Manyezit	MgO	M	0.1-4
Alkaliler	Na ₂ O + K ₂ O	N + K	0.2-1.3

Hammadde karışımında bulunan oksitler, döner fırın içerisindeki sıcaklık etkisiyle, oldukça karmaşık bir takım reaksiyonlara girerek bileşenler oluşturmaktadır. Portland çimentosu klinkerinde (ve çimentoda) oluşan dört ana bileşenin isimleri Çizelge 2.8' de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Çimentonun ana bileşenleri (Erdoğan-I, 1995)

Ana bileşenler	Sembolleri
Dikalsiyumsilikat (2CaO.SiO ₂)	C ₂ S
Trikalsiyumsilikat (3CaO.SiO ₂)	C ₃ S
Trikalsiyumalüminat (3CaO.Al ₂ O ₃)	C ₃ A
Tetrakalsiyumalüminoferrit (4CaO.Al ₂ O ₃)	C ₄ A _F

Portland çimentosu ve su birleştirildiği takdirde, çimentodaki her bileşen ayrı ayrı hidratasyon yapmakta, ayrı ayrı hidratasyon ürünleri oluşturmakta ve bunların toplam etkisi, çimentonun hidratasyon etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Çimentoların bağlayıcılık değerini tayin eden bileşenler, kalsiyum silikatlı bileşenler olan C₃S ve C₂S'dir. Bu bileşenlerin hidratasyonları, çimento kimyasındaki bileşenleri ile şu şekilde gösterilmektedir.



Burada CH, kalsiyum hidroksittir, $C_3S_2H_3$ ise tobermorit ismi verilen (kısaca C –S –H jeli) çimentonun bağlayıcılık özelliğini sağlayan hidratasyon ürünüdür (Erdoğan-I, 1995).

2.4.1.2 Doğal Çimentolar

Doğal çimentolar, kalkerli ve killi maddeler karışımının erime noktası altında bir sıcaklığa kadar kızdırılmaları sonucu elde edilen bir bağlayıcıdır. Doğrudan tabiatan çıktığı şekilde kızdırılarak yapıldığı için diğer çimentolara göre kimyasal yapısı çok değişiktir (Kocaçitak, 1978).

2.4.1.3 Puzolanik Çimentolar

%65 - 89 veya %45 - 64 oranında Portland çimentosu klinkeri ile %11 – 35 veya %36 –55 oranında katkı maddelerinin, priz düzenleyici olarak da kalsiyum sülfatın katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilen çimentodur. Bu tür çimentolar genellikle su geçirimsizliği az, sülfatlı sulara dayanıklı, hidratasyon ısısı düşük, donmaya dayanıklılığı az olan çimentolardır. Baraj, liman ve temel inşaatlarında çok kullanılan çimento türüdür.

2.4.1.4 Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu

Ani soğutularak granül hale getirilmiş bazik yüksek fırın cürufu ile, Portland çimento klinkeri ve alçı taşının belirli oranlarda karıştırılarak öğütülmeleri sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Portland çimentosu üretimi için kullanılan klinkere alçı taşı yanında, birdenbire soğutularak topak haline getirilmiş bazik yüksek fırın cürufu katılarak öğütülür. Yüksek fırın cürufu ülkelere göre %20 - 80 katılır. Portland çimentosundan daha dayanıklı olduğu için ve deniz suyuna, sülfatlı sulara dayanıklı olduğundan liman inşaatlarında yaygın olarak kullanılır.

2.4.1.5 Alüminli Çimentolar

Alüminli bileşenleri zengin bir çimento cinsi olup, bu özelliğini hammaddesinin kalker ve düşük nitelikteki boksit veya diaspor olmasından almaktadır. Diğer çimentolara göre kısa sürede sertleşmeleri ve yüksek dayanım kazanmaları belirgin özellikleridir.

2.4.1.6 Özel Çimentolar

- a) Beyaz çimento: demir ve titan oksitten arındırılmış kalker ve kaolenin kullanımı ile normal Portland çimentosu gibi elde edilen, ancak üretiminin dikkatle yapılması sonucunda rengi beyaz olan, dayanımı fazla olmayan, daha çok dekoratif amaçlı kullanılan çimentodur.
- b) Renkli çimentolar: normal Portland çimentosunun veya beyaz çimentonun çeşitli pigmentlerle renklendirilmesi sonucu elde edilen çimentodur.

- c) Sıva çimentosu: normal çimentoların sıva işleminde yeterli kolaylığı sağlamaması nedeniyle daha plastik özelliğe sahip çimentolar üretilmiştir. Bu çimentolar normal Portland çimentosuna değişik katkıların katılmasıyla yapılmıştır.
- d) Su geçirmez çimentolar: normal Portland çimentosuna öğütülme sırasında kalsiyum stearat veya sabunlaşmayan bir yağ ilave etmek veya alçının tannik asitle karışımının katılmasıyla elde edilen çimentolardır.
- e) Derin kuyu çimentoları: normal Portland çimentosu hammaddesine belirli ölçüde demiroksit ilave edilerek karışımdaki bütün alüminyum oksitlerin demiroksitle birleşip C_4AF elde edilmesiyle oluşturulan çimentolardır. Kükürt korozyonuna, tuzlu su etkisine dayanıklıdır. Yüksek ısı ve basınç altında sertleşme özelliğine sahip olan bu tür çimentolar petrol kuyularında kullanılır (Şanbaşıoğlu, 1997).

2.4.2 Türkiye’de Üretilen Çimentolar

Türkiye’de PÇ 32,5, PÇ 42,5 ve PÇ 52,5 olarak üç tip Portland çimentosunun ve onbir diğer çimento tiplerinin üretimi için Türk Standartları bulunmaktadır. Bu çimentoların isimleri ve Türk Standartlarınca bileşim, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 2.9, Çizelge 2.10, Çizelge 2.11 ve Çizelge 2.12’de gösterilmiştir (Tonak, 1995).

Çizelge 2.9 Çimentoların Bileşimi (Tonak, 1995)

Adı	Sembolü	TS Numarası	Tras (%)	Cüruf (%)	Uçucu kül (%)
Portland çimentosu 32.5	PÇ	TS 19	-	-	-
Portland çimentosu 42.5	PÇ 42.5	TS 19	-	-	-
Portland çimentosu 52.5	PÇ 52.5	TS 19	-	-	-
Erken dayanımı yüksek çimento	EYÇ	TS 3646	-	-	-
Beyaz Portland çimentosu 32.5	BPÇ 70 BPÇ 85	TS 21	-	-	-
Beyaz Portland çimentosu 42.5	BPÇ 70 BPÇ 85	TS 21	-	-	-
Katkılı çimento 32.5	KÇ 32.5	TS 10156	Maksimum 60		
Traslı çimento	TÇ 32.5	TS 26	20-40	-	-
Cürufli çimento 32.5	CÇ 32.5	TS 20	-	20-80	-
Cürufli çimento 42.5	CÇ 42.5	TS 20	-	20-80	-
Uçucu küllü çimento	UKÇ 32.5	TS 640	-	-	10-30
Sülfatlara dayanıklı çimento	SDÇ 32.5	TS 10157	-	-	-
Süper Sülfat çimentosu	SSÇ 32.5	TS 809	-	-	-
Harç çimentosu	HÇ 16	TS 22	Maksimum 60		

Çizelge 2.10 Gerekli kimyasal özellikler (Tonak, 1995)

Adı	Sembolü	Kızd. kaybı (%) mak.	Çözünm. kalıntı (%) mak.	SO ₃ (%) mak.	MgO (%) mak.	Cl (%) mak.
Portland çimentosu 32.5	PÇ 32.5	4.0	1.5	3.5	5.0	0.1
Portland çimentosu 42.5	PÇ 42.5	4.0	1.5	3.5	5.0	0.1
Portland çimentosu 52.5	PÇ 52.5	4.0	1.5	3.5	5.0	0.1
Erken dayanımı yüksek çimento	EYÇ	4.0	1.5	3.5	5.0	0.1
Beyaz Portland çimentosu 32.5	BPÇ 70 BPÇ 85	5.0	5.0	4.0	5.0	0.1
Beyaz Portland çimentosu 42.5	BPÇ 70 BPÇ 85	5.0	5.0	4.0	5.0	0.1
Katkılı çimento 32.5	KÇ 32.5	5.0	-	3.5	5.0	0.1
Traslı çimento	TÇ 32.5	4.0	-	3.5	5.0	0.1
Cürüflu çimento 32.5	CÇ 32.5	5.0	-	3.5	10	0.1
Cürüflu çimento 42.5	CÇ 42.5	5.0	-	3.5	10	0.1
Uçucu küllü çimento	UKÇ 32.5	5.0	29.0	4.0	5.0	0.1
Sülfatlara dayanıklı çimento	SDÇ 32.5	5.0	1.5	3.5	5.0	0.1
Süper Sülfat çimentosu	SSÇ 32.5	-	3.0	Min. 4.5	9.0	0.1
Harç çimentosu	HÇ 16	-	50.0	-	-	-

Çizelge 2.11 Gerekli fiziksel özellikler (Tonak, 1995)

Adı	Sembolü	Priz başlama süresi (dakika) min	Priz sona erme süresi (saat) maks	Hacim genleşmesi (mm) min	Özgül yüzeyi (cm ² /gr)
Portland çimentosu 32.5	PÇ 32.5	60	10	10	2800
Portland çimentosu 42.5	PÇ 42.5	60	10	10	2800
Portland çimentosu 52.5	PÇ 52.5	60	10	10	2800
Erken dayanımı yüksek çimento	EYÇ	45	6	10	3500
Beyaz Portland çimentosu 32.5	BPÇ 70 BPÇ 85	45 45	10 10	10	2800
Beyaz Portland çimentosu 42.5	BPÇ 70 BPÇ 85	45 45	10 10	10	2800
Katkılı çimento 32.5	KÇ 32.5	60	10	10	2800
Traslı çimento	TÇ 32.5	60	10	10	2800
Cüruflu çimento 32.5	CÇ 32.5	60	10	10	2800
Cüruflu çimento 42.5	CÇ 42.5	60	10	10	2800
Uçucu küllü çimento	UKÇ 32.5	60	10	10	2800
Sülfatlara dayanıklı çimento	SDÇ 32.5	60	10	10	2800
Süper Sülfat çimentosu	SSÇ 32.5	45	10	5	4000
Harç çimentosu	HÇ 16	60	24	10	2800

Çizelge 2.12 Gerekli mekanik özellikler (Tonak, 1995)

Adı	Sembolü	Basınç Mukavemeti (N/mm ²)		
		2 günlük mukavemet	7 günlük mukavemet	28 günlük mukavemet
Portland çimentosu 32.5	PÇ 32.5	10	21	32.5
Portland çimentosu 42.5	PÇ 42.5	20	31.5	42.5
Portland çimentosu 52.5	PÇ 52.5	25	35.5	52.5
Erken dayanımı yüksek çimento	EYÇ	30	40	52.5
Beyaz Portland çimentosu 32.5	BPÇ 70 BPÇ 85	10	21	32.5
Beyaz Portland çimentosu 42.5	BPÇ 70 BPÇ 85	20	31.5	42.5
Katkılı çimento 32.5	KÇ 32.5	10	21	32.5
Traslı çimento	TÇ 32.5	10	21	32.5
Cüruflu çimento 32.5	CÇ 32.5	10	16	32.5
Cüruflu çimento 42.5	CÇ 42.5	10	21	42.5
Uçucu küllü çimento	UKÇ 32.5	10	21	32.5
Sülfatlara dayanıklı çimento	SDÇ 32.5	10	21	32.5
Süper Sülfat çimentosu	SSÇ 32.5	10	21	32.5
Harç çimentosu	HÇ 16	-	10	16

2.4.3 Çimentoların İnceliği

Klinker tanelerinin boyutları ne kadar küçültülüyorsa, yani taneler ne kadar inceltiliyorsa, çimentonun inceliği o kadar fazlaşıyor demektir. Genel olarak çimento boyutları 90µm'den büyük olan tane miktarının %14'ü geçmemesi istenir. Bu özellik hemen hemen yerine gelmektedir. Çimentoda 90µm'dan çok daha küçük tane boyutları bulunmaktadır. Tane boyutları veya çapları, 6.590µm'a inebilmektedir.

2.4.4 Çimentoların Prizi

Priz, bağlayıcı maddelerin katılaşması veya plastik deformasyon yapma kabiliyetini kaybetmesi demektir. Priz bakımından bilinmesi gereken iki karakteristik vardır ki bunlardan biri priz başlama süresi, diğeri de priz sona erme süresidir. Bir bağlayıcı madde hamuruna başlangıçta kolaylıkla şekil verilirken bir süre geçtikten sonra hamurun durumunda birdenbire olan bir değişme sonunda hamur şekil verilmeye karşı bir direnç gösterir. Bu olay prizini başladığını ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle priz başlaması bu olayın normal gelişmesinde ani bir değişiklikle kendini belli eder. Buna karşılık priz başladıktan sonra olayın gelişmesinde herhangi bir değişiklik olmamaktadır.

Çabuk priz yapan çimentolar, her türlü su kaçaklarını önlemek amacıyla yapılan işlemlerde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Çok yavaş priz yapan bağlayıcı maddelerin çatlamadan fazla deformasyon yapma kabiliyeti vardır. Çok fazla deformasyona maruz kalan yapı elemanlarında bu cins bağlayıcı maddelerin kullanılması önerilir.

2.4.5 Hidratasyon Isısı

Bağlayıcı maddelerin priz ve sertleşme esnasında açığa çıkardıkları ısıya hidratasyon ısısı denir. Bu ısı doğrudan çimentoyu oluşturan bileşenlerin su ile yapmış oldukları kimyasal reaksiyonda veya hidratasyonda meydana gelmektedir. Hidratasyon olayının uzun sürmesi sonunda ısı da uzun süre meydana gelmekte veya açığa çıkan ısının toplam miktara yıllarca artmaya devam etmektedir.

2.4.6 Çimentoların Rötresi

Rötre tamamen çimentonun sebep olduğu bir olaydır. Bu itibarla betonun yaptığı rötre, bu malzemede saf çimento hamuruna nazaran çok daha az bulunmasından dolayı bir hayli düşüktür. Bununla beraber betonda meydana gelen rötre, normal şartlar dahilinde üretilen bir betonda 100kg/cm^2 'lik bir gerilmenin meydana getirdiği deformasyon mertebesindedir. Bu sebeple betonun rötresi bir çok bakımdan yapılarda göz önünde bulundurulmalıdır.

2.4.7 Fırındaki Reaksiyonlar

İlkel malzeme fırına konulduktan sonra sıra ile şu olaylar gerçekleşir;

ilk olay malzeme karışımının içinde bulunan suyun buharlaşmasıdır.: bu durum 100°C veya daha düşük bir sıcaklıkta tamamlanır.

kildeki bileşim suyunun ayrılması: kilin içinde bulunan en önemli madde $2\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{H}_2\text{O}$ formülüne sahip kaolinittir. 500°C civarındaki bir sıcaklıkta su molekülünün kaolinitten

ayrılması ile bu madde ayrışma yapar. Bunun sonunda amorf silisten, amorf alümin meydana gelir. Daha yüksek sıcaklıklarda amorf alümin kristal alümine dönüşür.

Kalsiyum karbonatın ayrışması: birbirine iyi bir şekilde karışmış bulunan kalsiyum karbonat ile kuvarz arasındaki reaksiyonlar 600°C'de yavaş bir şekilde başlar. Fakat 900°C'de kalsiyum karbonatın ayrışmasından sonra bu reaksiyonlar önemli derecede hızlanır.

Kireç ile silisin birleşmesi: 1200°C'den itibaren kireçle silisin birleşmesi yani silikatların oluşması belirli bir şekilde başlar. Fırındaki sıcaklığın 1500°C'ye ulaşması ile bu reaksiyonlar çok daha hızlanır. Bu arada kireç de alüminle birleşerek alüminatlar meydana gelir (Postacıoğlu, 1975).



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.1.1 Çimento

Deneysel çalışmalarda Bursa Çimento Fabrikası'nda üretilen PÇ 42.5 tip çimento kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda standart olarak kullanılan PÇ 42.5 tip çimentonun kimyasal özelliği (Çizelge 3.1), başlıca bileşimleri (Çizelge 3.2), fiziksel özellikleri (Çizelge 3.3) ve klinkerin kimyasal bileşimi (Çizelge 3.4) laboratuvarlarda yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 PÇ 42.5 çimentosunun kimyasal bileşimi

SiO ₂ %20.14	Al ₂ O ₃ %5.79	Fe ₂ O ₃ %3.34	CaO %65.8	MgO %0.84
SO ₃ %2.69	Na ₂ O %0.43	K ₂ O %0.5	TiO ₂ -	Cl ⁻ %0.005

Çizelge 3.2 PÇ 42.5 çimentosunun başlıca bileşimleri

C ₃ S	%64.31
C ₂ S	%11.13
C ₃ A	% 1.97
C ₄ AF	%13.51

Çizelge 3.3 PÇ 42.5 çimentosunun fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.13		
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3550		
Priz süresi			
Priz başlangıcı		Priz sonu	
Saat	Dakika	Saat	Dakika
2	00	3	15

Çizelge 3.4 Klinkerin kimyasal bileşimi

SiO ₂ %22.02	Al ₂ O ₃ %5.90	Fe ₂ O ₃ %3.61	CaO %65.10	MgO %1.21
SO ₃ %0.24	Na ₂ O %0.23	K ₂ O %0.95	TiO ₂ %0.29	Cl ⁻ %0.005

3.1.2 Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Özellikleri

Atık olarak kullanılan silis dumanı, Etibank Antalya Elektrometalurji tesislerinin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir.

Atık çamur, Bergama yöresinde altın saflaştırma Normady firmasının tesisinin atığıdır.

Uçucu Küller ; Bu çalışmada kullanılan uçucu küller Çatalağzı, Soma (4 ve 6. ünite), Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek termik santrallerine aittir. 12 ay boyunca getirtilen uçucu küller kendi aralarında harmanlarak ikiye ayrılmış, 1 ve 2 olarak numaralandırılmışlardır. Bunlardan sadece Soma 6. ünite ikiye ayrılmamıştır çünkü az sayıda numune getirtilmiştir.

3.1.2.1 Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Silis dumanı, atık çamur ve uçucu küllerin spesifik yüzey alanları Mastersizer – X tekniği ile ölçülmüştür ve sonuçlar Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9, Çizelge 3.10, Çizelge 3.11, Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15, Çizelge 3.16, Çizelge 3.17’de sunulmuştur.

Aynı numunelerin Blaine değerleri ve özgül ağırlıkları da ölçülerek sonuçlar spesifik yüzey ölçüm değerleri ile aynı çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 3.5 Silis dumanının özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Silis dumanı	-	14.000.000	0.4412

Çizelge 3.6 Atık çamurun özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Atık çamur	-	-	0.6519

Çizelge 3.7 Çatalağzı 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Çatalağzı 1	2.19	2760	0.2619

Çizelge 3.8 Çatalağzı 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Çatalağzı 2	2.28	2855	0.3547

Çizelge 3.9 Soma 4.1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Soma 4.1	1.98	3018	0.4569

Çizelge 3.10 Soma 4.2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Soma 4.2	2.08	3110	-

Çizelge 3.11 Soma 6 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Soma 6	2.14	4020	0.6099

Çizelge 3.12 Seyitömer 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Seyitömer 1	2.26	3215	0.3465

Çizelge 3.13 Seyitömer 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Seyitömer 2	2.13	2960	0.3438

Çizelge 3.14 Çayırhan 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Çayırhan 1	2.21	2300	0.4465

Çizelge 3.15 Çayırhan 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Çayırhan 2	2.35	2385	0.4848

Çizelge 3.16 Tunçbilek 1 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Tunçbilek 1	1.97	3370	0.4191

Çizelge 3.17 Tunçbilek 2 numunesinin özgül ağırlığı ile blaine değeri ve spesifik yüzey ölçümleri

Adı	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /gr)	Spesifik yüzey alanı (m ² /gr)
Tunçbilek 2	2.07	3125	0.4548

3.1.2.2 Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Kullanılan silis dumanı, atık çamur ve uçucu küllerin kimyasal özellikleri X-Ray cihazı ile ölçülmüş ve sonuçlar; Çizelge 3.18, Çizelge 3.19, Çizelge 3.20, Çizelge 3.21, Çizelge 3.22, Çizelge 3.23, Çizelge 3.24, Çizelge 3.25, Çizelge 3.26, Çizelge 3.27, Çizelge 3.28, Çizelge 3.29, Çizelge 3.30 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.18 Silis dumanının kimyasal analizi

SiO ₂ %90.02	Al ₂ O ₃ -	Fe ₂ O ₃ %0.3	CaO %0.33	MgO %2.36
SO ₃ %0.85	Na ₂ O %0.29	K ₂ O %3.72	TiO ₂ -	%P ₂ O ₅ -

Çizelge 3.19 Atık çamurun kimyasal analizi

SiO ₂ %94.56	Al ₂ O ₃ %1.67	Fe ₂ O ₃ %1.87	CaO %0.39	MgO %0.27
SO ₃ %0.09	Na ₂ O %0.31	K ₂ O %1.16	TiO ₂ %0.11	P ₂ O ₅ -

Çizelge 3.20 Çatalağzı 1 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 49.77	Al ₂ O ₃ %23.21	Fe ₂ O ₃ %8.40	CaO %2.99	MgO %1.61	S+A+F= 90.32 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %0.31	Na ₂ O %0.4	K ₂ O %4.09	TiO ₂ %1.25	P ₂ O ₅ 0.091	

Çizelge 3.21 Çatalağzı 2 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 52.34	Al ₂ O ₃ %25.88	Fe ₂ O ₃ %7.97	CaO %2.56	MgO %1.84	S+A+F= 86.19 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %0.23	Na ₂ O %0.40	K ₂ O %4.31	TiO ₂ %1.19	P ₂ O ₅ %0.101	

Çizelge 3.22 Soma 4.1 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 36.56	Al ₂ O ₃ %21.08	Fe ₂ O ₃ %4.20	CaO %25.72	MgO %1.24	S+A+F= 61.84 ASTM 618 Sınıf: C
SO ₃ %3.53	Na ₂ O %0.40	K ₂ O %1.21	TiO ₂ %0.67	P ₂ O ₅ %0.14	

Çizelge 3.23 Soma 4.2 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 36.86	Al ₂ O ₃ %22.83	Fe ₂ O ₃ %4.24	CaO %25.57	MgO %1.21	S+A+F= 63.93 ASTM 618 Sınıf: C
SO ₃ %3.80	Na ₂ O %0.40	K ₂ O %1.22	TiO ₂ %0.69	P ₂ O ₅ %0.18	

Çizelge 3.24 Soma 6 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 33.97	Al ₂ O ₃ %19.53	Fe ₂ O ₃ %4.53	CaO %32.27	MgO %1.48	S+A+F= 58.03 ASTM 618 Sınıf: C
SO ₃ %4.95	Na ₂ O %0.61	K ₂ O %1.09	TiO ₂ %0.64	P ₂ O ₅ %0.185	

Çizelge 3.25 Seyitömer 1 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 54.37	Al ₂ O ₃ %19.46	Fe ₂ O ₃ %11.17	CaO %4.64	MgO %5.58	S+A+F= 85.00 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %1.15	Na ₂ O %0.74	K ₂ O %2.29	TiO ₂ %0.8	P ₂ O ₅ %0.075	

Çizelge 3.26 Seyitömer 2 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 55.86	Al ₂ O ₃ %20.05	Fe ₂ O ₃ %11.59	CaO %4.31	MgO %4.92	S+A+F= 87.50 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %0.83	Na ₂ O %0.57	K ₂ O %2.54	TiO ₂ %0.82	P ₂ O ₅ %0.073	

Çizelge 3.27 Çayırhan 1 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 47.01	Al ₂ O ₃ %10.03	Fe ₂ O ₃ %9.77	CaO %15.92	MgO %2.67	S+A+F= 66.81 ASTM 618 Sınıf: C
SO ₃ %4.64	Na ₂ O %2.89	K ₂ O %2.03	TiO ₂ %0.70	P ₂ O ₅ %0.36	

Çizelge 3.28 Çayırhan 2 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 47.04	Al ₂ O ₃ %9.95	Fe ₂ O ₃ %10.06	CaO %14.82	MgO %3.15	S+A+F= 67.05 ASTM 618 Sınıf: C
SO ₃ %4.03	Na ₂ O %3.21	K ₂ O %2.12	TiO ₂ %0.75	P ₂ O ₅ %0.327	

Çizelge 3.29 Tunçbilek 1 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 57.39	Al ₂ O ₃ %18.27	Fe ₂ O ₃ %9.65	CaO %3.34	MgO %3.63	S+A+F= 85.31 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %0.50	Na ₂ O %0.40	K ₂ O %1.90	TiO ₂ %0.81	P ₂ O ₅ %0.17	

Çizelge 3.30 Tunçbilek 2 numunesinin kimyasal analizi

SiO ₂ % 57.69	Al ₂ O ₃ %16.22	Fe ₂ O ₃ %11.06	CaO %4.70	MgO %4.13	S+A+F= 84.97 ASTM 618 Sınıf: F
SO ₃ %0.68	Na ₂ O %0.40	K ₂ O %1.77	TiO ₂ %0.72	P ₂ O ₅ %0.139	

3.1.2.3 Deneylerde Kullanılan Çimento Numularının Karışım Oranları

Katkı olarak tek başına uçucu kül ve silis dumanı katkısı kullanılan numunelerde katkı oranları %15, %25, %30 şeklindedir. Atık çamur için bu oranlar %5, %15 ve %25 şeklindedir. Karışık katkılı numuneler için oranlar değişmektedir. İçinde atık çamurun olduğu atıkları birbirleri ile farklı oranlarda karıştırarak da oranlama yapılmıştır. Buradaki amaç atık çamurun diğer katkılarla birlikte basınç dayanımlarını nasıl etkilediğini anlamaktır. Üretilen çimento numularının karışım oranları Çizelge 3.31, Çizelge 3.32, Çizelge 3.33 , Çizelge 3.34, Çizelge 3.35, Çizelge 3.36, Çizelge 3.37, Çizelge 3.38, Çizelge 3.39, Çizelge 3.40, Çizelge 3.41, Çizelge 3.42, Çizelge 3.43 'de verilmiştir. Farklı numunelerden oluşan karışımların karışım oranları ise Çizelge 3.44'de sunulmuştur.

Çizelge 3.31 Silis dumanı karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Silis dumanı (miktar)	
		%	gr
Silis dumanı	1X	15	68
	2X	25	113
	3X	35	158

Çizelge 3.32 Atık çamurun karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Atık çamur (Miktar)	
		%	gr
Atık Çamur	4X	5	23
	5X	15	68
	6X	25	113

Çizelge 3.33 Çatalağzı 1 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Çatalağzı 1	7X	15	68
	8X	25	113
	9X	35	158

Çizelge 3.34 Çatalağzı 2 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Çatalağzı 2	10X	15	68
	11X	25	113
	12X	35	158

Çizelge 3.35 Soma 4.1 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Soma 4.1	13X	15	68
	14X	25	113
	15X	35	158

Çizelge 3.36 Soma 4.2 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Soma 4.2	16X	15	68
	17X	25	113
	18X	35	158

Çizelge 3.37 Soma 6 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Soma 6	19X	15	68
	20X	25	113
	21X	35	158

Çizelge 3.38 Seyitömer 1 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Seyitömer 1	22X	15	68
	23X	25	113
	24X	35	158

Çizelge 3.39 Seyitömer 2 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Seyitömer 2	25X	15	68
	26X	25	113
	27X	35	158

Çizelge 3.40 Çayırhan 1 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Çayırhan 1	28X	15	68
	29X	25	113
	30X	35	158

Çizelge 3.41 Çayırhan 2 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Çayırhan 2	31X	15	68
	32X	25	113
	33X	35	158

Çizelge 3.42 Tunçbilek 1 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Tunçbilek 1	34X	15	68
	35X	25	113
	36X	35	158

Çizelge 3.43 Tunçbilek 2 numunesinin karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)	
		%	gr
Tunçbilek 2	37X	15	68
	38X	25	113
	39X	35	158

Çizelge 3.44 Farklı numune karışımlarının karışım oranları

Numune adı	Numune kodu	Uçucu kül (miktar)		Silis dumanı (miktar)		Atık çamur (miktar)	
		%	gr	%	gr	%	gr
Atık çamur + silis dumanı	40X	-	-	5	23	30	135
	41X	-	-	10	45	25	113
Soma 6 + silis dumanı+ atık çamur	42X	10	45	5	23	20	90
	43X	10	45	10	45	15	68
	44X	10	45	15	68	10	45
Seyitömer 1 + silis dumanı + atık çamur	45X	10	45	5	23	20	90
	46X	10	45	10	45	15	68
	47X	10	45	15	68	10	45

Çizelge 3.1.2.4 Basınç Dayanımı Deneylerinin Yapılışı

Çimento numuneleri üretilirken 1350gr standart kum, 225gr su, 450gr (çimento + katkı) kullanılmış yani su /(çimento+katkı) oranı 0.5 olarak alınmıştır. Katkılar klinkere katılmış ve çimento numuneleri 4 X 4 X 16 cm boyutlarındaki kalıplarda üretilmiştir. Her bir basınç dayanımı değeri için üç adet numune üretilmiştir. Kür sıcaklığı 20 ± 1 °C'de sabit tutulmuştur. Numuneler 2, 7, 28, 56 ve 90 gün kür sürelerine tabi tutulmuş, bu günlerin sonunda basınç dayanımları Çimento Fiziksel Muayene Metodları Standardı TS 24'e göre ölçülmüştür.



4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER

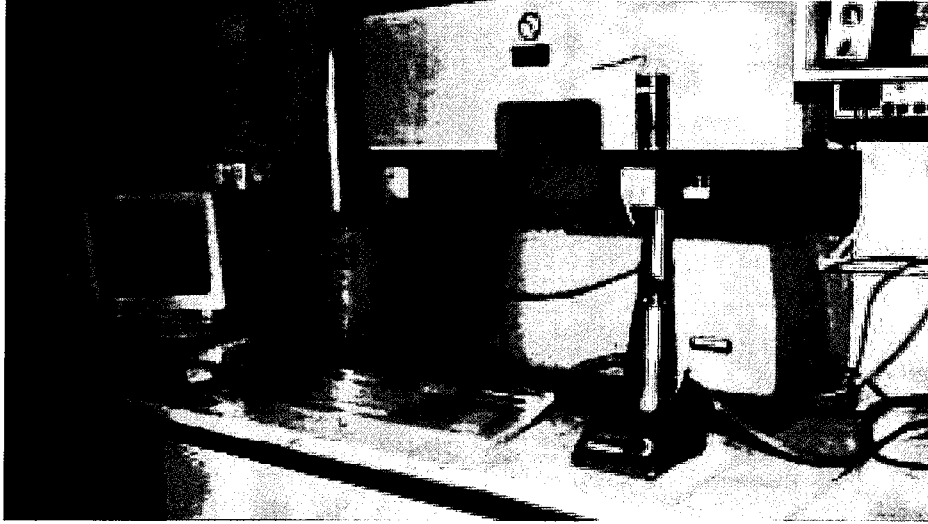
4.1 Mastersizer - X Tekniği Kullanılarak Silis Dumanı, Atık Çamur ve Uçucu Kül Numunelerinin Tane Boyutu Dağılımlarının Ölçülmesi

İnşaat sektörü açısından kullanılan malzemelerin inceliği son derece önemlidir çünkü malzemenin inceliği arttıkça üretilen çimento ve beton numunelerinin basınç dayanımlarının arttığı bilinen bir gerçektir. Bu amaçla kullanılan malzemelerin karakteristiğini detaylı olarak inceleyebilmek için yeni bir yöntem olan Mastersizer – X tekniğinin kullanılması uygun bulunmuştur. Kullanılan cihaz Malvern marka Mastersizer X Ver. 2.18 adlı cihaz olup cihaz laser tekniği ile çalışmaktadır. Deneyler TÜBİTAK-MAM araştırma laboratuvarlarında yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda bu yöntemle ülkemiz literatürlerinde özellikle uçucu kül ve silis dumanı ile ilgili çalışmalar açısından çok az rastlanılmıştır. Bu çalışmada sözü edilen cihazla, kullanılan atık çamurun, silis dumanının ve bütün uçucu küllerin tane boyut dağılımları bütün detayları ile verilmiştir.

Deneyler sonucunda cihaz 3 tür grafik vermektedir, bunlar;

- 1) Kümülatif elek altı eğrisi; herhangi bir elek boyutundaki toplam malzemenin yüzde miktarını yani hangi boyutta ne kadar toplam malzeme miktarı yüzdesi olduğunu gösterir. Bütün malzeme miktarı yüzdeleri hacimce verilmiştir.
- 2) Boyut tekrerrür eğrisi; herhangi bir elek boyutundaki malzemenin yüzde miktarını yani hangi boyutta ne kadar malzeme miktarı yüzdesi olduğunu gösterir.
- 3) Tane boyut histogramı; herhangi iki elek aralığındaki malzemenin yüzde miktarını gösterir.

Mastersizer – X tane boyut dağılım cihazının fotoğrafı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Mastersizer – X tane boyut dağılım cihazı

- Cihaz sayesinde; kuru tozlarda, emülsiyonlarda, süspansiyonlarda ve sıvılardaki tanelerde lazer difraksiyon yöntemiyle tane boyut dağılım analizini yapılabilmektedir.
- Organik, iletken ve magnetik numunelerde analiz yapmak mümkündür.
- Aerosol ve spreylere de boyut dağılımı yapılabilmektedir.

4.1.1 Numunelerin Hazırlanışı

Uçucu kül numuneleri sodyum pirofosfat içinde 5 dakika, silis dumanı ise destile su içinde 15 dakika küçük hacim ünitesinde karıştırılmıştır. Çamur numunesi ise 5 dakika manyetik karıştırıcı, 1 dakika ultrasonik banyoda ve 5 dakika küçük hacim ünitesinde karıştırılmıştır.

4.1.2 Cihazın Teknik Özellikleri

- Ölçüm aralığı: 0.1 - 600 μ m
- Lens boyları:
 - 45mm lens : 0.1 - 80 μ m
 - 100mm lens : 0.5 - 180 μ m
 - 300mm lens : 1.2 - 600 μ m
- Ölçüm süresi: Numunenin hazırlanışından 5 dakika sonra

4.2 Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Tane Boyutu Özellikleri

Bir çok faktör gibi incelik faktörü de basınç dayanımlarını etkilemektedir. bu amaçla çimento hariç kullanılan malzemelerin tümünün tane boyutu dağılımları laserli Mastersizer – X tekniği ile tespit edilmiştir. Daha önceki yöntemlerden geliştirilen bu teknik sayesinde kullanılan ve kullanılması istenen malzemenin boyutu tespit edilebilmektedir. Böylece malzeme istenilen mikron boyutlarında ayarlanabilecektir. Tane boyutu dağılımlarından elde edilen bulgulara göre kullanılan bütün atıkların (Soma 4.2 hariç) μm mertebesinde geçtiği boyutlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Bütün Uçucu Küllerinin Mastersizer – X cihazı ile ölçülen ve %10, %50 ve %90’ının geçtiği boyutlar

Numune Adı	d (10) (μm)	d (50) (μm)	d (90) (μm)
Silis dumanı	6.05	33.89	93.60
Atık çamur	2.80	28.79	75.08
Çatalağzı 1	9.59	100.85	329.60
Çatalağzı 2	6.67	73.87	310.04
Soma 4.1	5.95	28.43	85.83
Soma 6	4.00	21.04	91.41
Seyitömer 1	7.85	39.45	130.18
Seyitömer 2	7.95	40.26	129.69
Çayırhan 1	5.01	55.81	221.71
Çayırhan 2	4.35	48.72	211.33
Tunçbilek 1	6.06	38.93	151.42
Tunçbilek 2	5.54	33.24	161.25

Çizelge 4.1, kullanılan malzemelerin %10, %50 ve %90’ının geçtiği boyutları göstermektedir. Örneğin silis dumanının %10’u $6.05\mu\text{m}$ ’nin altında, %50’si $33.89\mu\text{m}$ ’nin altında ve %90’ı ise $93.60\mu\text{m}$ ’nin altında olduğu anlaşılmaktadır.

4.3 Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin Tane Boyutu Dağılımları

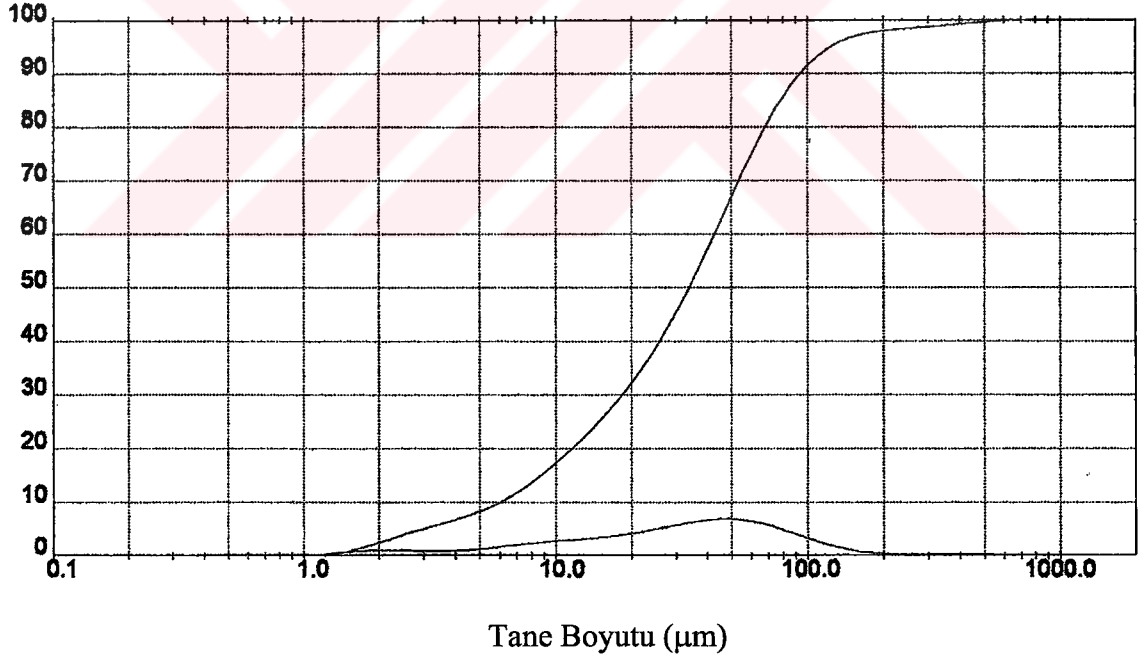
Kullanılan bütün atıkların tane boyutu dağılım çizelgeleri ile tane boyutu dağılım grafikleri bu bölümde sunulmuştur.

- Silis dumanı numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.2’de, kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.2’de,
- Silis dumanının standart sapma değerleri Çizelge 4.3’de , tane boyut histogramı Şekil 4.3’de,
- Atık çamur numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.4’de kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.4’de,
- Atık çamur numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.5’de, tane boyut histogramı Şekil 4.5’de,
- Çatalağzı 1 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.6’de kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.6’da,
- Çatalağzı 1 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.7’da, tane boyut histogramı Şekil 4.7’de,
- Çatalağzı 2 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.8’de, kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.8’de,
- Çatalağzı 2 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.9’da, tane boyut histogramı Şekil 4.9’da,
- Soma 4.1 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.10’da kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.10’da,
- Soma 4.1 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.11’de, tane boyut histogramı Şekil 4.11’de,
- Soma 6 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.12’de kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.12’de,
- Soma 6 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.13’de, tane boyut histogramı Şekil 4.13’de,
- Seyitömer 1 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.14’de kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.14’de,

- Seyitömer 1 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.15'de, tane boyut histogramı Şekil 4.15'de,
- Seyitömer 2 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.16'da , kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.16'da,
- Seyitömer 2 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.17'de, tane boyut histogramı Şekil 4.17'de,
- Çayırhan 1 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.18'de, kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.18'de,
- Çayırhan 1 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.19'da, tane boyut histogramı Şekil 4.19'da,
- Çayırhan 2 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.20'de , kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.20'de,
- Çayırhan 2 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.21'de, tane boyut histogramı Şekil 4.21'de,
- Tunçbilek 1 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.22'de, kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.22'de,
- Tunçbilek 1 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.23'de, tane boyut histogramı Şekil 4.23'de,
- Tunçbilek 2 numunesinin tane boyutu dağılımları Çizelge 4.24'de kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi Şekil 4.24'de,
- Tunçbilek 2 numunesinin standart sapma değerleri Çizelge 4.25'de, tane boyut histogramı Şekil 4.25'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Silis dumanı numunesinin tane boyutu dağılımları

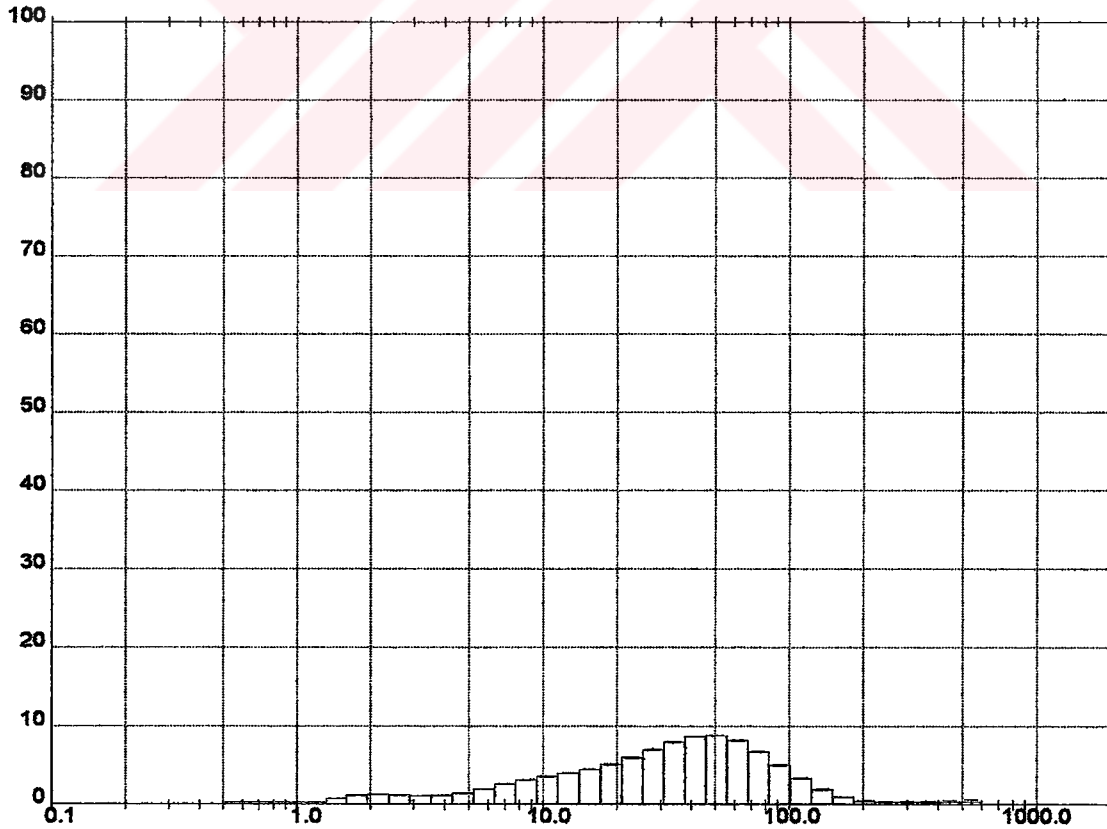
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.25	1.32	0.25	25.46	7.03	31.01	46.51
1.32	0.83	1.60	1.08	31.01	8.02	37.79	54.53
1.60	1.20	1.95	2.28	37.79	8.71	46.03	63.24
1.95	1.32	2.38	3.60	46.03	8.81	56.09	72.04
2.38	1.24	2.90	4.84	56.09	8.12	68.33	80.16
2.90	1.14	3.53	5.98	68.33	6.70	83.26	86.86
3.53	1.18	4.30	7.15	83.26	4.94	101.44	91.80
4.30	1.46	5.24	8.62	101.44	3.24	123.59	95.03
5.24	1.99	6.39	10.60	123.59	1.86	150.57	96.89
6.39	2.61	7.78	13.21	150.57	0.93	183.44	97.83
7.78	3.14	9.48	16.35	183.44	0.46	223.51	98.29
9.48	3.57	11.55	19.92	223.51	0.32	272.31	98.61
11.55	3.98	14.08	23.90	272.31	0.33	331.77	98.94
14.08	4.46	17.15	28.36	331.77	0.35	404.21	99.29
17.15	5.12	20.90	33.48	404.21	0.34	492.47	99.63
20.90	6.00	25.46	39.49	492.47	0.37	600.00	100.00



Şekil 4.2 Silis dumanı numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.3 Silis dumanı numunesinin standart sapma değerleri

Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50					25.46				
1.32	0.24	0.25	0.25	0.00	31.01	6.92	7.03	6.99	0.05
1.60	0.80	0.83	0.82	0.01	37.79	7.90	8.02	7.97	0.05
1.95	1.17	1.20	1.19	0.01	46.03	8.60	8.71	8.66	0.05
2.38	1.28	1.32	1.31	0.02	56.09	8.72	8.81	8.78	0.04
2.90	1.21	1.24	1.23	0.01	68.33	8.06	8.18	8.12	0.05
3.53	1.11	1.14	1.13	0.01	83.26	6.70	6.84	6.75	0.06
4.30	1.15	1.18	1.17	0.01	83.26	4.94	5.11	5.02	0.07
5.24	1.44	1.47	1.46	0.01	101.44	3.24	3.39	3.32	0.07
6.39	1.95	2.00	1.98	0.02	123.59	1.86	1.98	1.93	0.05
7.78	2.56	2.62	2.60	0.02	150.57	0.93	1.04	0.98	0.04
9.48	3.08	3.15	3.12	0.03	183.44	0.45	0.53	0.48	0.04
11.55	3.52	3.59	3.56	0.03	223.51	0.30	0.37	0.33	0.03
14.08	3.92	4.01	3.97	0.04	272.31	0.28	0.39	0.33	0.04
17.15	4.39	4.50	4.45	0.05	331.77	0.22	0.45	0.34	0.10
20.90	5.04	5.17	5.11	0.05	404.21	0.09	0.53	0.32	0.18
25.46	5.90	6.04	5.98	0.05	492.47	0.00	0.65	0.34	0.27
					600.00				

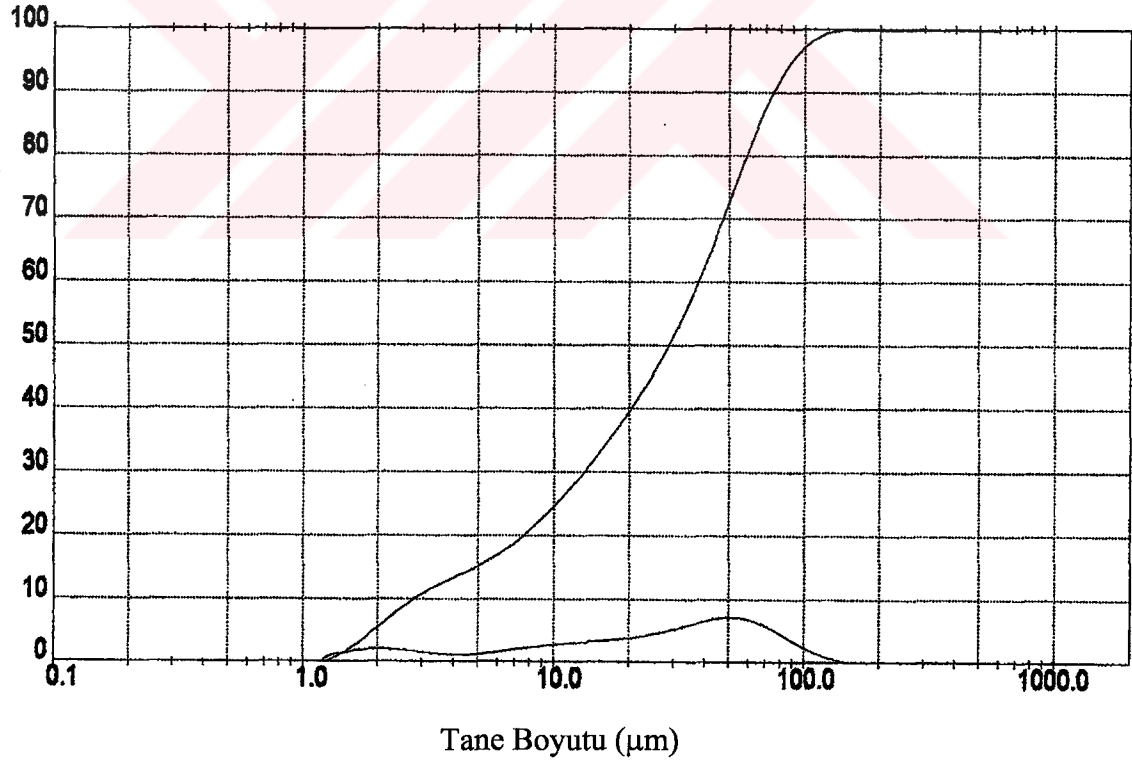


Tane Boyutu (µm)

Şekil 4.3 Silis dumanının tane boyut histogramı

Çizelge 4.4 Atık çamur numunesinin tane boyutu dağılımları

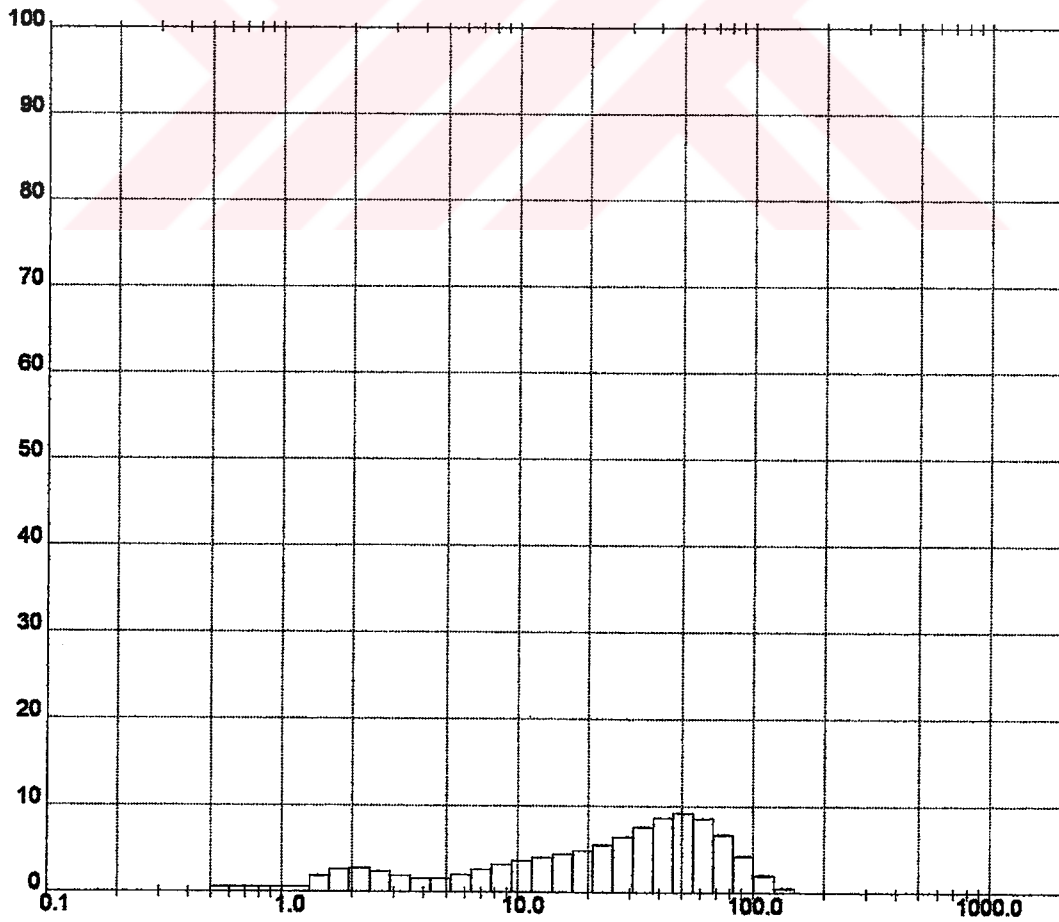
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.64	1.32	0.65	25.46	6.43	31.01	52.55
1.32	1.90	1.60	2.54	31.01	7.57	37.79	60.12
1.60	2.65	1.95	5.19	37.79	8.66	46.03	68.78
1.95	2.77	2.38	7.97	46.03	9.19	56.09	77.97
2.38	2.42	2.90	10.38	56.09	8.56	68.33	86.53
2.90	1.92	3.53	12.30	68.33	6.68	83.26	93.20
3.53	1.60	4.30	13.90	83.26	4.22	101.44	97.43
4.30	1.64	5.24	15.54	101.44	2.01	123.59	99.43
5.24	2.06	6.39	17.60	123.59	0.56	150.57	100.00
6.39	2.68	7.78	20.28	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	3.25	9.48	23.53	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	3.72	11.55	27.25	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	4.08	14.08	31.33	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	4.42	17.15	35.75	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	4.86	20.90	40.61	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	5.51	25.46	46.12	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.4 Atık çamur numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.5 Atık çamur numunesinin standart sapma değerleri

Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.64	0.64	0.64	0.00	25.46	6.40	6.43	6.42	0.02
1.32	1.89	1.90	1.89	0.00	31.01	7.54	7.57	7.55	0.01
1.60	2.64	2.65	2.65	0.00	37.79	8.63	8.66	8.65	0.01
1.95	2.76	2.77	2.77	0.00	46.03	9.14	9.19	9.18	0.02
2.38	2.41	2.42	2.41	0.00	56.09	8.52	8.60	8.56	0.03
2.90	1.91	1.92	1.92	0.00	68.33	6.68	6.75	6.70	0.03
3.53	1.60	1.60	1.60	0.00	83.26	4.22	4.28	4.26	0.03
4.30	1.64	1.64	1.64	0.00	101.44	2.01	2.09	2.05	0.03
5.24	2.06	2.06	2.06	0.00	123.59	0.56	0.64	0.59	0.03
6.39	2.68	2.68	2.68	0.00	150.57	0.00	0.00	0.00	0.00
7.78	3.25	3.25	3.25	0.00	183.44	0.00	0.00	0.00	0.00
9.48	3.71	3.72	3.71	0.00	223.51	0.00	0.00	0.00	0.00
11.55	4.07	4.08	4.07	0.01	272.31	0.00	0.00	0.00	0.00
14.08	4.41	4.42	4.41	0.01	331.77	0.00	0.00	0.00	0.00
17.15	4.83	4.86	4.85	0.01	404.21	0.00	0.00	0.00	0.00
20.90	5.48	5.51	5.49	0.01	492.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25.46					600.00				

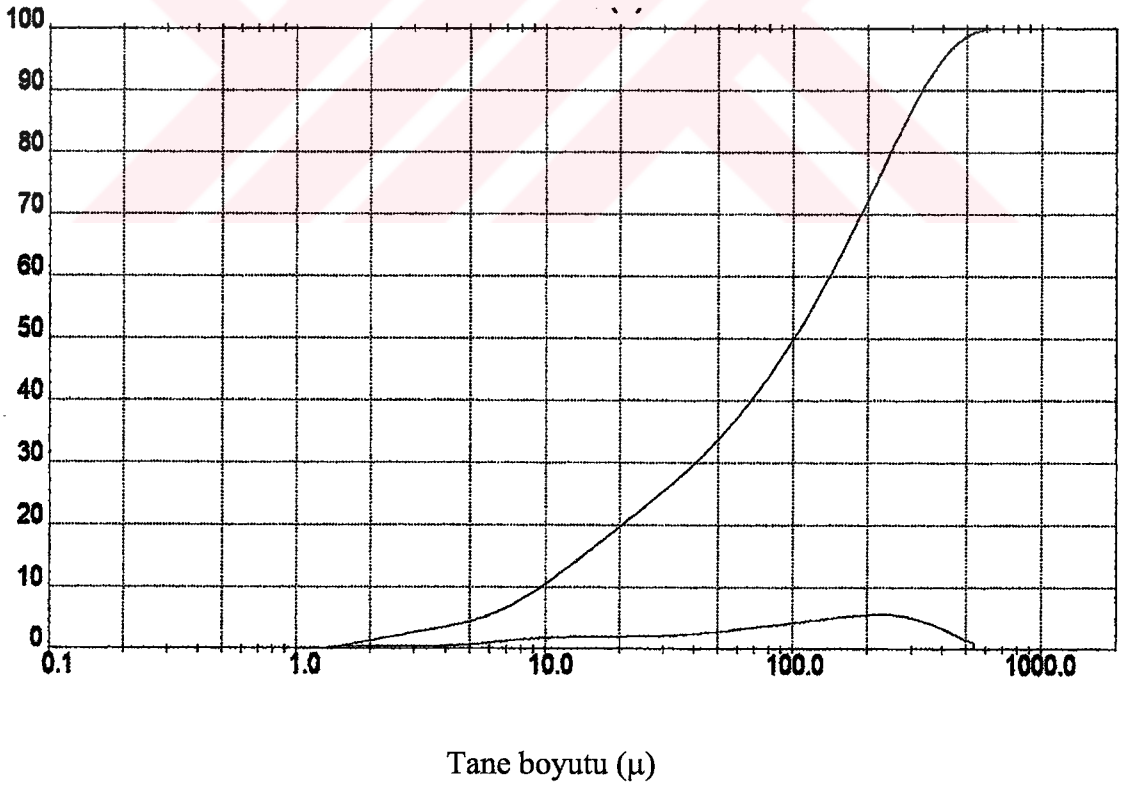


Tane boyutu (µm)

Şekil 4.5 Atık çamur numunesinin tane boyutu histogramı

Çizelge 4.6 Çatalağzı 1 numunesinin tane boyutu dağılımları

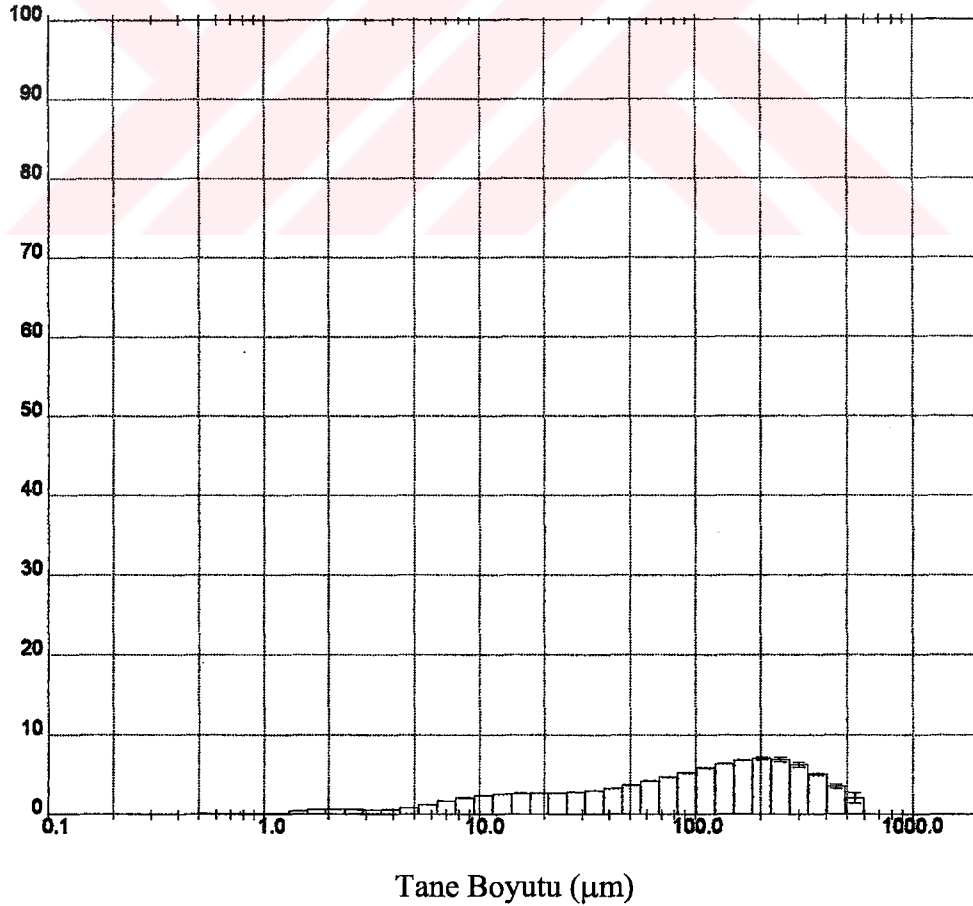
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.18	1.32	0.18	25.46	2.81	31.01	25.86
1.32	0.47	1.60	0.65	31.01	3.00	37.79	28.86
1.60	0.65	1.95	1.30	37.79	3.31	46.03	32.17
1.95	0.68	2.38	1.98	46.03	3.74	56.09	35.91
2.38	0.63	2.90	2.60	56.09	4.23	68.33	40.14
2.90	0.58	3.53	3.19	68.33	4.74	83.26	44.88
3.53	0.65	4.30	3.83	83.26	5.28	101.44	50.16
4.30	0.88	5.24	4.71	101.44	5.84	123.59	56.00
5.24	1.27	6.39	5.98	123.59	6.37	150.57	62.37
6.39	1.74	7.78	7.72	150.57	6.85	183.44	69.22
7.78	2.14	9.48	9.86	183.44	7.19	223.51	76.41
9.48	2.44	11.55	12.30	223.51	7.21	272.31	83.62
11.55	2.61	14.08	14.91	272.31	6.58	331.77	90.20
14.08	2.69	17.15	17.60	331.77	5.18	404.21	95.38
17.15	2.71	20.90	20.31	404.21	3.27	492.47	98.64
20.90	2.73	25.46	23.04	492.47	1.35	600.00	100.00



Şekil 4.6 Çatalağzı 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.7 Çatalağzı 1 numunesinin standart sapma değerleri

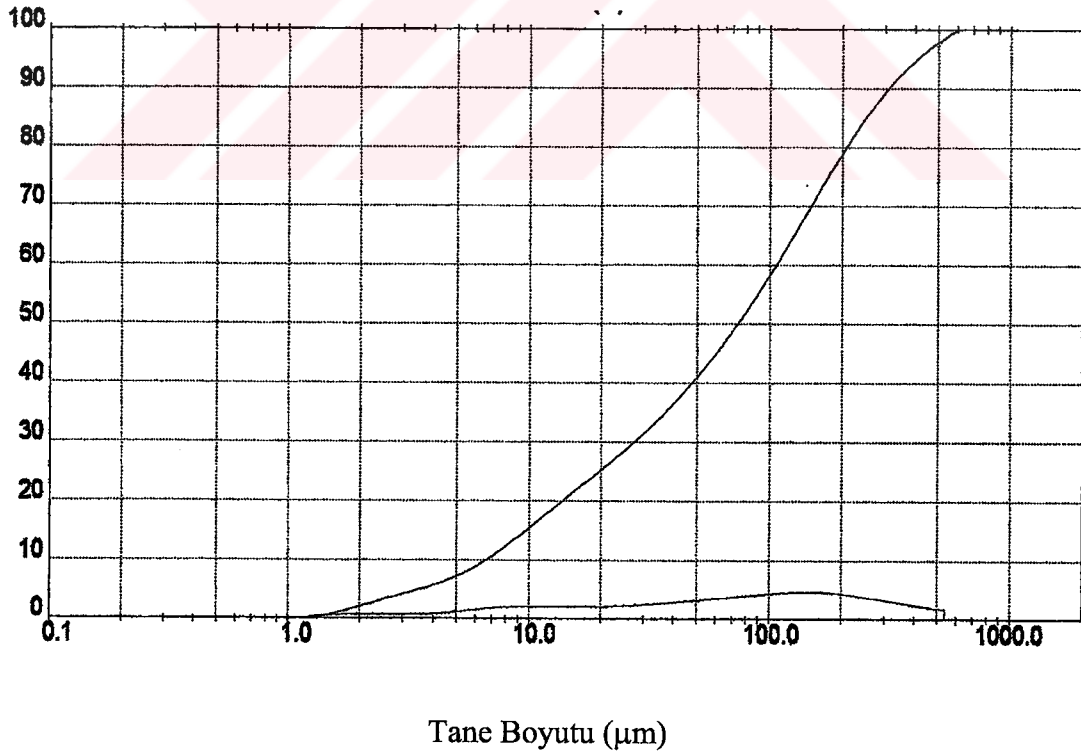
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.17	0.18	0.18	0.00	25.46	2.81	2.83	2.82	0.01
1.32	0.46	0.47	0.47	0.00	31.01	3.00	3.02	3.01	0.01
1.60	0.63	0.65	0.64	0.01	37.79	3.31	3.33	3.32	0.01
1.95	0.67	0.68	0.67	0.01	46.03	3.72	3.74	3.73	0.01
2.38	0.61	0.63	0.62	0.01	56.09	4.17	4.23	4.20	0.02
2.90	0.57	0.58	0.58	0.01	68.33	4.67	4.74	4.71	0.03
3.53	0.63	0.65	0.64	0.01	83.26	5.23	5.30	5.27	0.03
4.30	0.86	0.88	0.87	0.01	101.44	5.84	5.90	5.87	0.02
5.24	1.25	1.27	1.26	0.01	123.59	6.37	6.42	6.40	0.03
6.39	1.71	1.74	1.73	0.01	150.57	6.79	6.85	6.82	0.02
7.78	2.12	2.14	2.13	0.01	183.44	6.91	7.19	7.03	0.12
9.48	2.41	2.44	2.43	0.01	223.51	6.74	7.21	6.91	0.22
11.55	2.59	2.61	2.60	0.01	272.31	6.08	6.58	6.26	0.23
14.08	2.67	2.69	2.68	0.01	331.77	4.97	5.18	5.06	0.09
17.15	2.69	2.71	2.70	0.01	404.21	3.27	3.72	3.55	0.20
20.90	2.73	2.74	2.73	0.00	492.47	1.35	2.53	2.12	0.54
25.46					600.00				



Şekil 4.7 Çatalağzı 1 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.8 Çatalağzı 2 numunesinin tane boyutu dağılımları

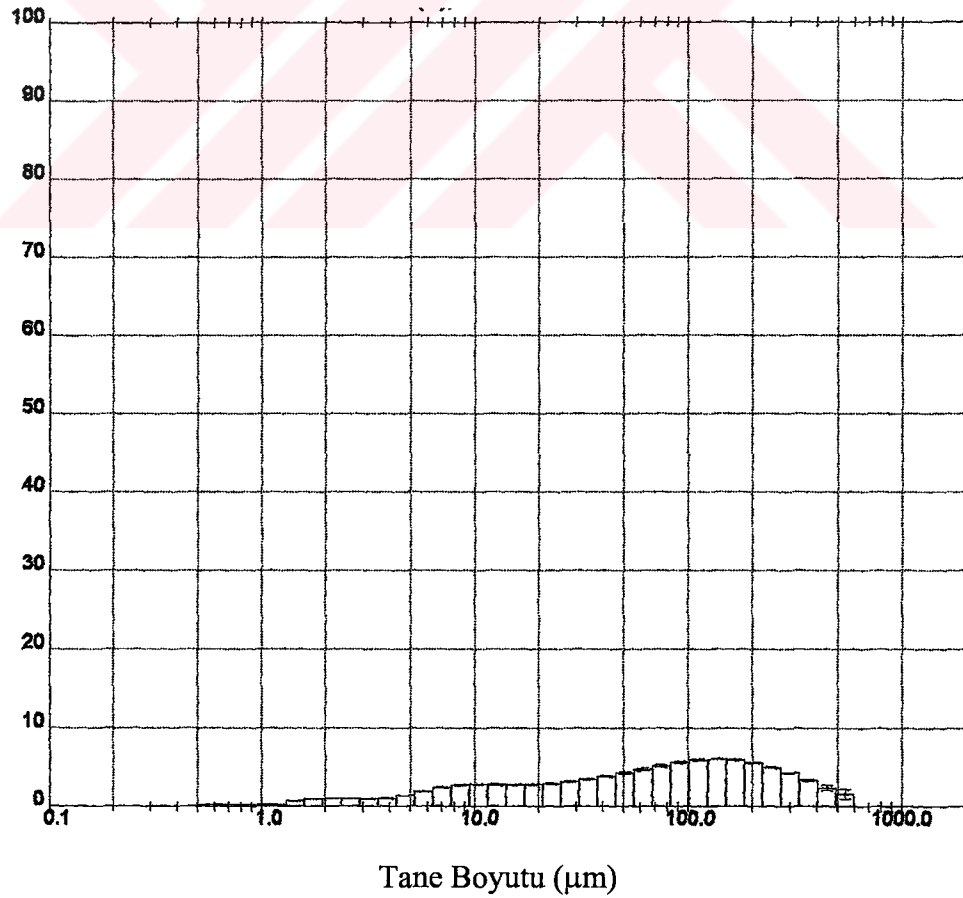
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.27	1.32	0.27	25.46	3.17	31.01	31.94
1.32	0.73	1.60	1.00	31.01	3.47	37.79	35.42
1.60	1.00	1.95	2.00	37.79	3.82	46.03	39.24
1.95	1.07	2.38	3.07	46.03	4.21	56.09	43.45
2.38	1.01	2.90	4.08	56.09	4.62	68.33	48.06
2.90	0.97	3.53	5.06	68.33	5.04	83.26	43.10
3.53	1.09	4.30	6.15	83.26	5.48	101.44	58.58
4.30	1.42	5.24	7.57	101.44	5.87	123.59	64.44
5.24	1.94	6.39	9.50	123.59	6.05	150.57	70.50
6.39	2.44	7.78	11.94	150.57	5.97	183.44	76.47
7.78	2.73	9.48	14.68	183.44	5.60	223.51	82.06
9.48	2.83	11.55	17.50	223.51	5.03	272.31	87.09
11.55	2.79	14.08	20.29	272.31	4.29	331.77	91.38
14.08	2.75	17.15	23.05	331.77	3.50	404.21	94.88
17.15	2.79	20.90	25.84	404.21	2.80	492.47	97.68
20.90	2.93	25.46	28.77	492.47	2.32	600.00	100.00



Şekil 4.8 Çatalağzı 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.9 Çatalağzı 2 numunesinin standart sapma değerleri

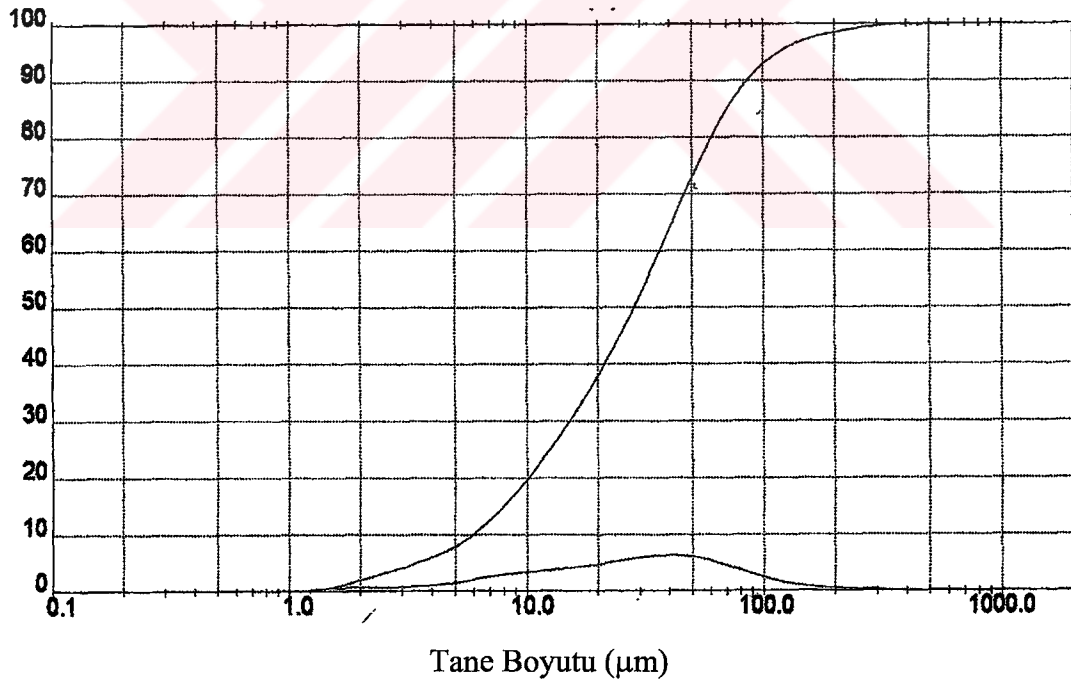
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.27	0.28	0.27	0.00	25.46	3.17	3.26	3.20	0.04
1.32	0.73	0.74	0.73	0.01	31.01	3.47	3.58	3.51	0.05
1.60	1.00	1.03	1.01	0.01	37.79	3.82	3.97	3.89	0.06
1.95	1.07	1.09	1.08	0.01	46.03	4.21	4.41	4.31	0.08
2.38	1.01	1.03	1.02	0.01	56.09	4.62	4.87	4.76	0.11
2.90	0.97	0.99	0.98	0.01	68.33	5.04	5.33	5.21	0.12
3.53	1.09	1.11	1.09	0.01	83.26	5.48	5.76	5.64	0.12
4.30	1.42	1.46	1.43	0.02	101.44	5.87	6.07	5.98	0.08
5.24	1.94	1.99	1.96	0.03	123.59	6.05	6.12	6.10	0.03
6.39	2.44	2.52	2.47	0.04	150.57	5.90	6.00	5.96	0.04
7.78	2.73	2.83	2.77	0.04	183.44	5.49	5.66	5.58	0.07
9.48	2.83	2.94	2.87	0.05	223.51	4.96	5.11	5.03	0.06
11.55	2.79	2.90	2.84	0.05	272.31	4.21	4.33	4.28	0.05
14.08	2.75	2.86	2.80	0.04	331.77	3.23	3.50	3.37	0.11
17.15	2.79	2.88	2.83	0.04	404.21	2.12	2.80	2.44	0.28
20.90	2.93	3.02	2.97	0.04	492.47	1.06	2.32	1.63	0.52
25.46					600.00				



Şekil 4.9 Çatalağzı 2 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.10 Soma 4.1 numunesinin tane boyutu dağılımları

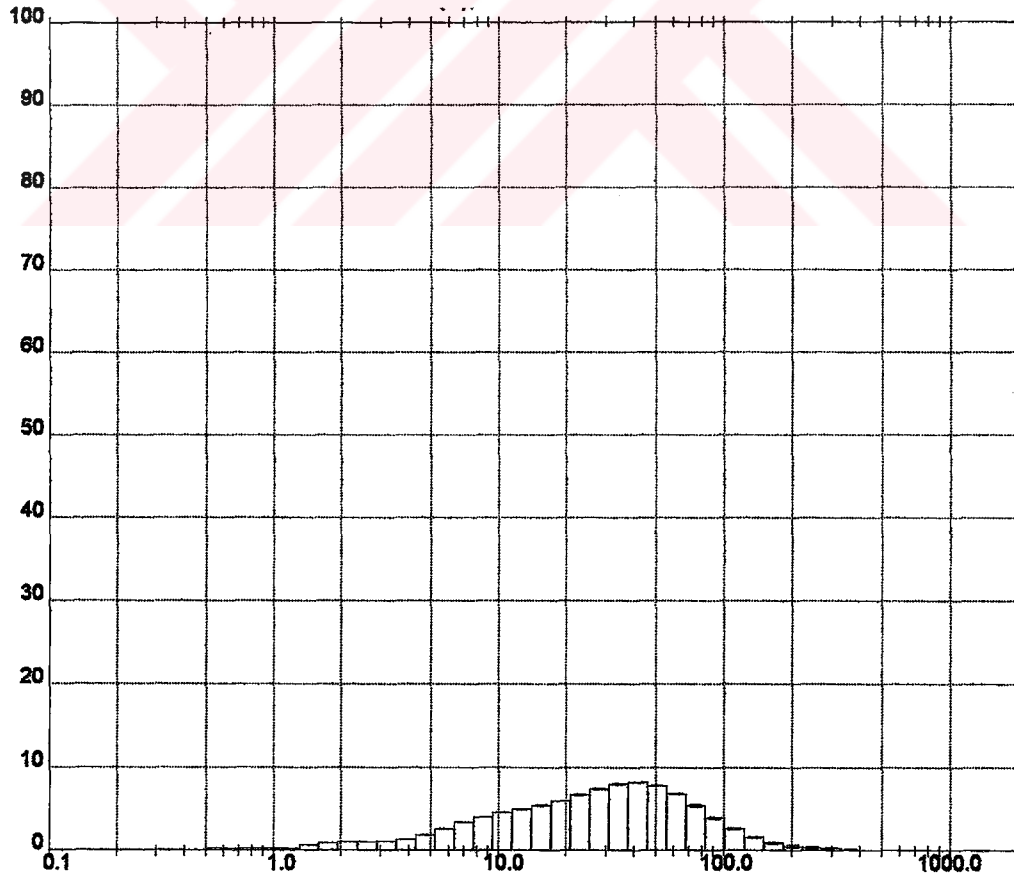
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.25	1.32	0.25	25.46	7.39	31.01	53.34
1.32	0.68	1.60	0.93	31.01	7.98	37.79	61.32
1.60	0.96	1.95	1.89	37.79	8.17	46.03	69.49
1.95	1.06	2.38	2.96	46.03	7.77	56.09	77.26
2.38	1.07	2.90	4.03	56.09	6.74	68.33	84.00
2.90	1.13	3.53	5.16	68.33	5.30	83.26	89.30
3.53	1.37	4.30	6.54	83.26	3.80	101.44	93.10
4.30	1.88	5.24	8.42	101.44	2.53	123.59	95.62
5.24	2.62	6.39	11.03	123.59	1.58	150.57	97.21
6.39	3.41	7.78	14.45	150.57	1.00	183.44	98.20
7.78	4.05	9.48	18.50	183.44	0.69	223.51	98.90
9.48	4.54	11.55	23.04	223.51	0.55	272.31	99.44
11.55	4.94	14.08	27.98	272.31	0.39	331.77	99.84
14.08	5.38	17.15	33.36	331.77	0.16	404.21	100.00
17.15	5.94	20.90	39.30	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	6.65	25.46	45.95	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.10 Soma 4.1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.11 Soma 4.1 numunesinin standart sapma değerleri

Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.24	0.25	0.25	0.00	25.46	7.35	7.48	7.41	0.05
1.32	0.68	0.69	0.68	0.00	31.01	7.93	8.04	7.98	0.04
1.60	0.95	0.97	0.96	0.01	37.79	8.15	8.21	8.18	0.03
1.95	1.05	1.07	1.06	0.01	46.03	7.77	7.81	7.80	0.02
2.38	1.06	1.08	1.07	0.01	56.09	6.74	6.86	6.81	0.05
2.90	1.12	1.14	1.13	0.01	68.33	5.30	5.48	5.40	0.08
3.53	1.36	1.38	1.37	0.01	83.26	3.80	4.02	3.92	0.09
4.30	1.87	1.89	1.88	0.01	101.44	2.53	2.72	2.63	0.08
5.24	2.60	2.64	2.62	0.02	123.59	1.58	1.67	1.61	0.04
6.39	3.40	3.44	3.42	0.02	150.57	0.84	1.00	0.93	0.06
7.78	4.04	4.09	4.06	0.02	183.44	0.41	0.69	0.54	0.12
9.48	4.53	4.58	4.55	0.02	223.51	0.21	0.55	0.36	0.14
11.55	4.94	4.99	4.96	0.03	272.31	0.12	0.39	0.25	0.11
14.08	5.38	5.44	5.40	0.03	331.77	0.02	0.16	0.11	0.06
17.15	5.94	6.02	5.97	0.04	404.21	0.00	0.05	0.02	0.02
20.90	6.63	6.74	6.67	0.05	492.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25.46					600.00				

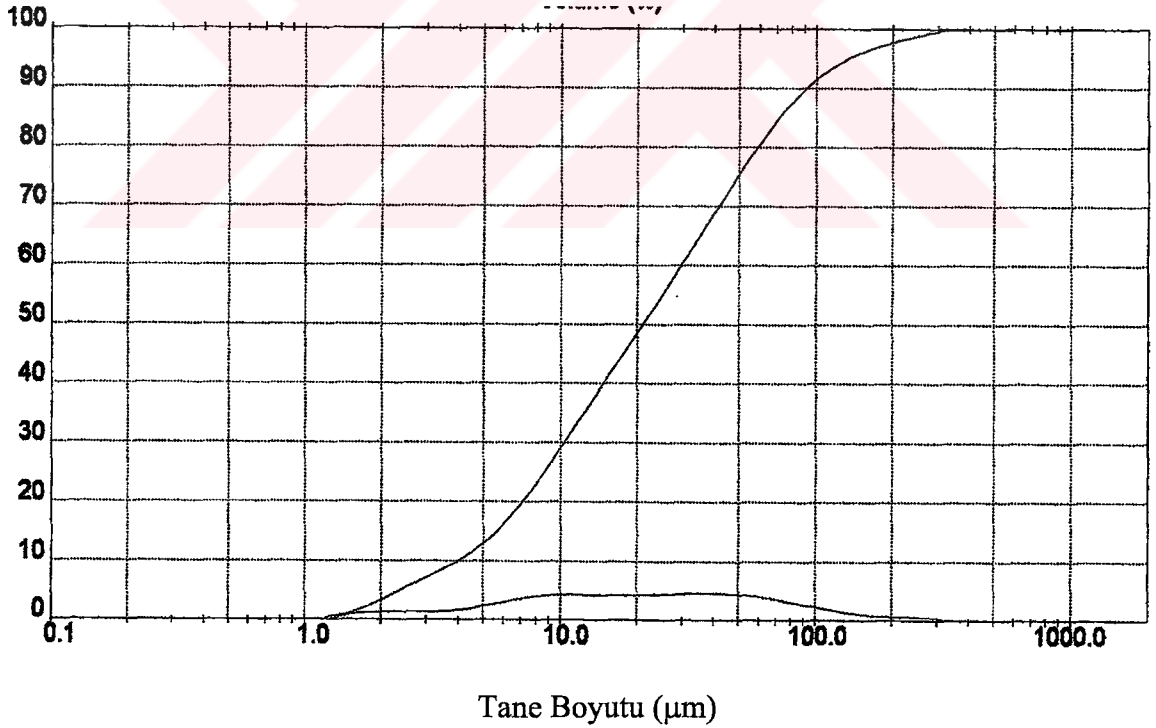


Tane Boyutu (µ)

Şekil 4.11 Soma 4.1 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.12 Soma 6 numunesinin tane boyutu dağılımları

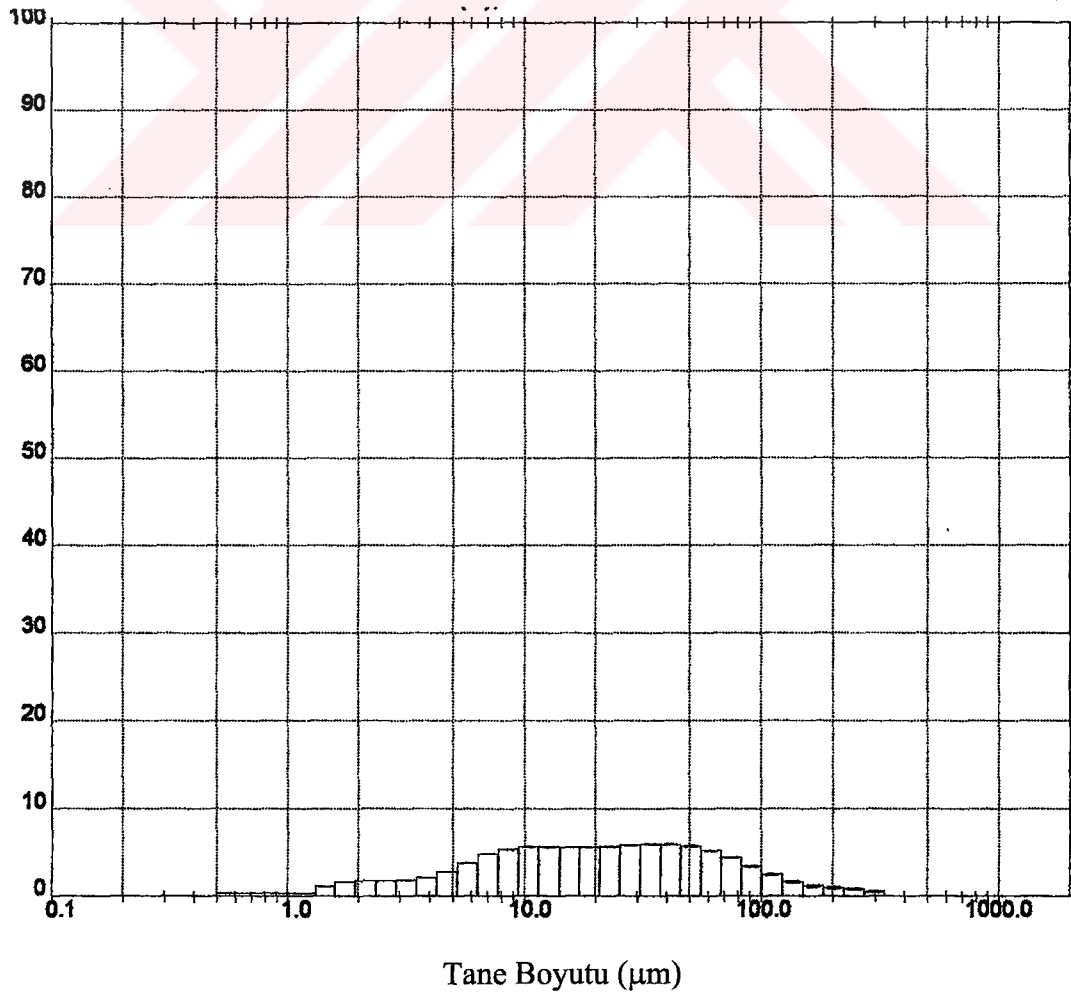
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.40	1.32	0.40	25.46	5.79	31.01	61.25
1.32	1.15	1.60	1.56	31.01	5.89	37.79	67.15
1.60	1.64	1.95	3.20	37.79	5.89	46.03	73.03
1.95	1.82	2.38	5.01	46.03	5.67	56.09	78.71
2.38	1.82	2.90	6.83	56.09	5.17	68.33	83.87
2.90	1.86	3.53	8.70	68.33	4.38	83.26	88.25
3.53	2.16	4.30	10.86	83.26	3.46	101.44	91.71
4.30	2.82	5.24	13.67	101.44	2.56	123.59	94.26
5.24	3.80	6.39	17.46	123.59	1.79	150.57	96.05
6.39	4.76	7.78	22.23	150.57	1.28	183.44	97.34
7.78	5.34	9.48	27.56	183.44	1.05	223.51	98.38
9.48	5.57	11.55	33.13	223.51	0.92	272.31	99.30
11.55	5.58	14.08	38.72	272.31	0.65	331.77	99.95
14.08	5.54	17.15	44.26	331.77	0.05	404.21	100.00
17.15	5.55	20.90	49.81	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	5.65	25.46	55.46	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.12 Soma 6 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.13 Soma 6 numunesinin standart sapma değerleri

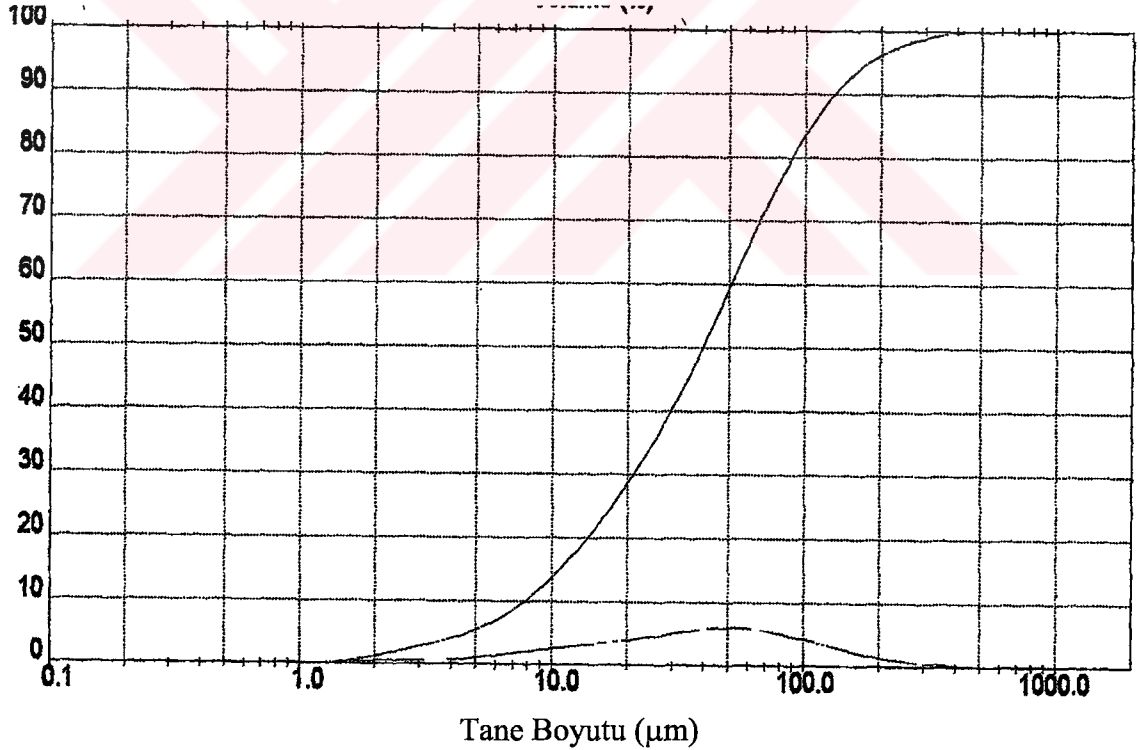
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.40	0.41	0.40	0.00	25.46	5.79	5.82	5.81	0.01
1.32	1.15	1.17	1.16	0.01	31.01	5.89	5.94	5.91	0.02
1.60	1.64	1.66	1.65	0.01	37.79	5.89	5.97	5.92	0.04
1.95	1.82	1.83	1.82	0.01	46.03	5.67	5.77	5.71	0.04
2.38	1.82	1.82	1.82	0.00	56.09	5.17	5.25	5.20	0.04
2.90	1.86	1.86	1.86	0.00	68.33	4.38	4.41	4.40	0.02
3.53	2.15	2.16	2.16	0.00	83.26	3.40	3.50	3.45	0.04
4.30	2.82	2.83	2.82	0.01	101.44	2.41	2.57	2.51	0.08
5.24	3.80	3.83	3.81	0.01	123.59	1.57	1.79	1.70	0.10
6.39	4.76	4.83	4.80	0.03	150.57	1.07	1.28	1.18	0.09
7.78	5.34	5.41	5.38	0.03	183.44	0.90	1.08	1.01	0.08
9.48	5.57	5.64	5.62	0.03	223.51	0.76	0.92	0.86	0.07
11.55	5.58	5.64	5.62	0.03	272.31	0.51	0.65	0.57	0.05
14.08	5.54	5.59	5.57	0.02	331.77	0.02	0.07	0.05	0.02
17.15	5.55	5.59	5.57	0.02	404.21	0.00	0.00	0.00	0.00
20.90	5.65	5.68	5.57	0.01	492.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25.46					600.00				



Şekil 4.13 Soma 6 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.14 Seyitömer 1 numunesinin tane boyutu dağılımları

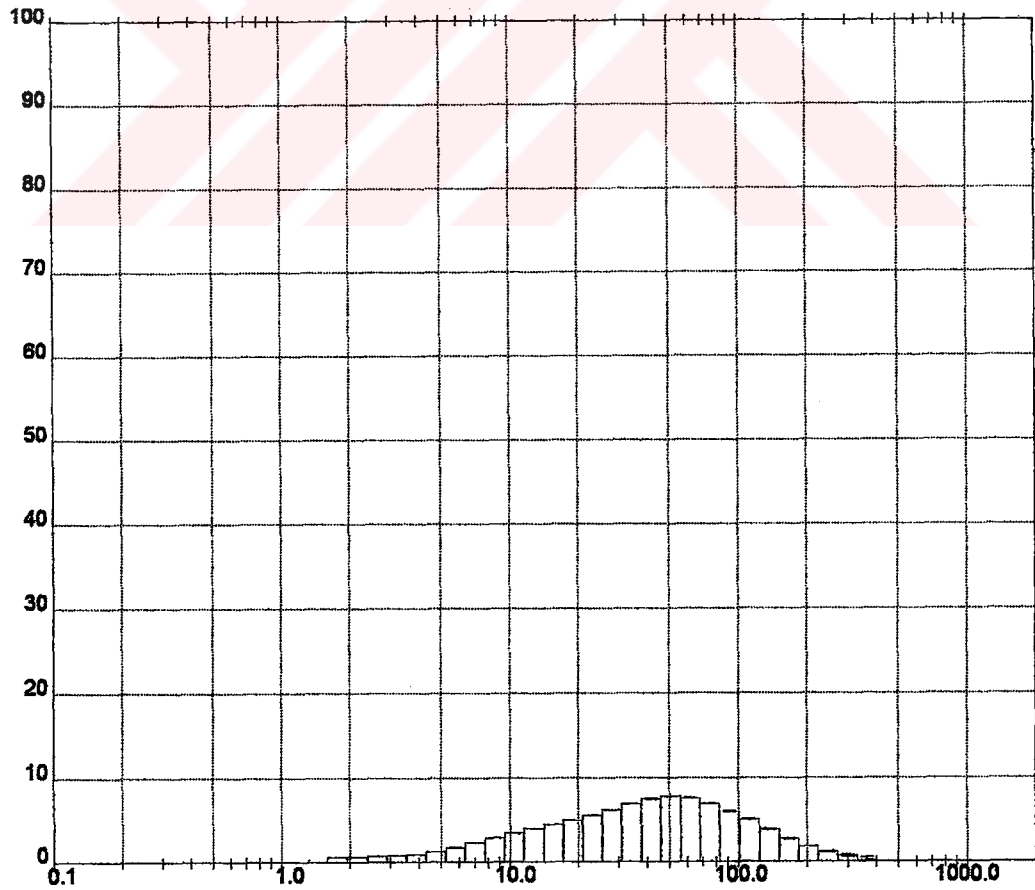
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.13	1.32	0.14	25.46	6.21	31.01	41.50
1.32	0.43	1.60	0.56	31.01	6.90	37.79	48.40
1.60	0.63	1.95	1.19	37.79	7.49	46.03	55.90
1.95	0.73	2.38	1.92	46.03	7.75	56.09	63.65
2.38	0.77	2.90	2.68	56.09	7.52	68.33	71.17
2.90	0.82	3.53	3.50	68.33	6.83	83.26	78.00
3.53	0.97	4.30	4.47	83.26	5.94	101.44	83.94
4.30	1.29	5.24	5.76	101.44	4.95	123.59	88.89
5.24	1.77	6.39	7.53	123.59	3.80	150.57	92.69
6.39	2.35	7.78	9.98	150.57	2.71	183.44	95.41
7.78	2.93	9.48	12.81	183.44	1.83	223.51	97.24
9.48	3.48	11.55	16.29	223.51	1.25	272.31	98.49
11.55	3.99	14.08	20.28	272.31	0.85	331.77	99.34
14.08	4.48	17.15	24.76	331.77	0.51	404.21	99.84
17.15	4.98	20.90	29.74	404.21	0.15	492.47	100.00
20.90	5.55	25.46	35.29	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.14 Seyitömer 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.15 Seyitömer 1 numunesinin standart sapma değerleri

Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.13	0.13	0.13	0.00	25.46	6.16	6.22	6.20	0.03
1.32	0.42	0.43	0.42	0.00	31.01	6.84	6.91	6.89	0.03
1.60	0.62	0.63	0.63	0.00	37.79	7.43	7.51	7.48	0.04
1.95	0.72	0.73	0.73	0.00	46.03	7.72	7.80	7.76	0.03
2.38	0.76	0.77	0.76	0.00	56.09	7.52	7.58	7.54	0.02
2.90	0.82	0.82	0.82	0.00	68.33	6.83	6.91	6.88	0.04
3.53	0.97	0.97	0.97	0.00	83.26	5.94	6.06	6.01	0.05
4.30	1.28	1.29	1.29	0.00	101.44	4.95	5.08	5.03	0.06
5.24	1.76	1.77	1.77	0.01	123.59	3.80	3.96	3.88	0.06
6.39	2.33	2.35	2.35	0.01	150.57	2.71	2.84	2.77	0.05
7.78	2.91	2.94	2.92	0.01	183.44	1.83	1.87	1.85	0.01
9.48	3.46	3.49	3.48	0.01	223.51	1.12	1.27	1.22	0.07
11.55	3.98	4.01	3.99	0.01	272.31	0.59	0.85	0.76	0.12
14.08	4.47	4.50	4.48	0.01	331.77	0.2	0.51	0.39	0.14
17.15	4.97	5.00	4.98	0.01	404.21	0.00	0.15	0.07	0.06
20.90	5.53	5.57	5.55	0.02	492.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25.46					600.00				

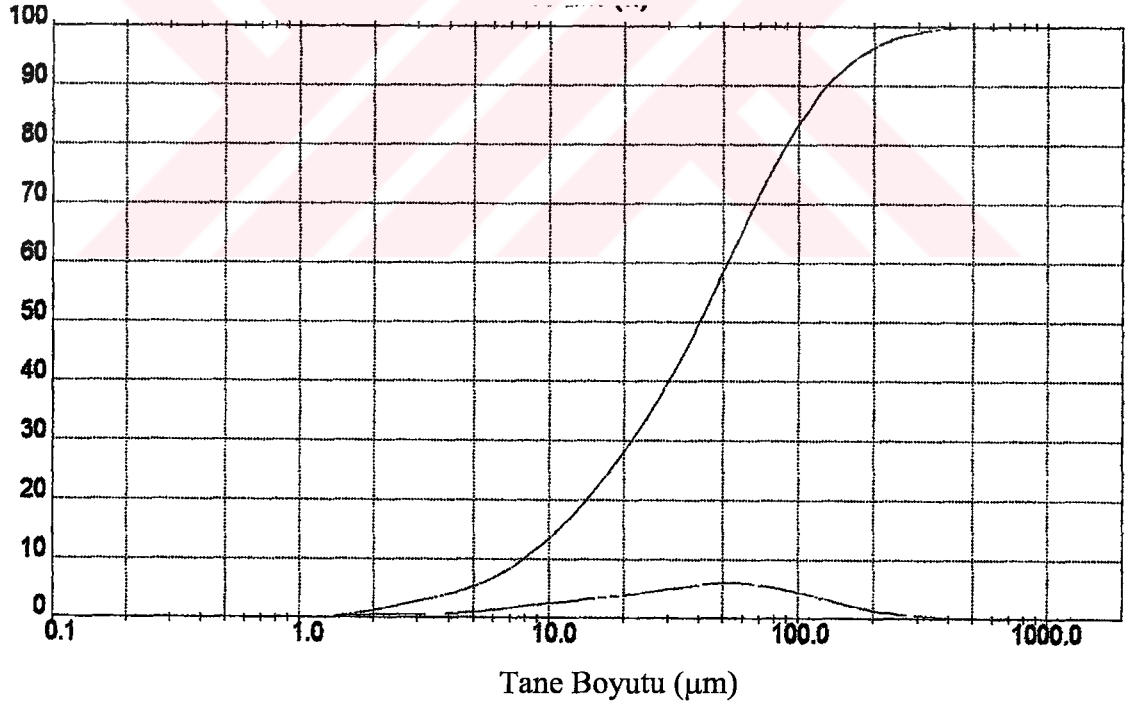


Tane Boyutu (µm)

Şekil 4.15 Seyitömer 1 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.16 Seyitömer 2 numunesinin tane boyutu dağılımları

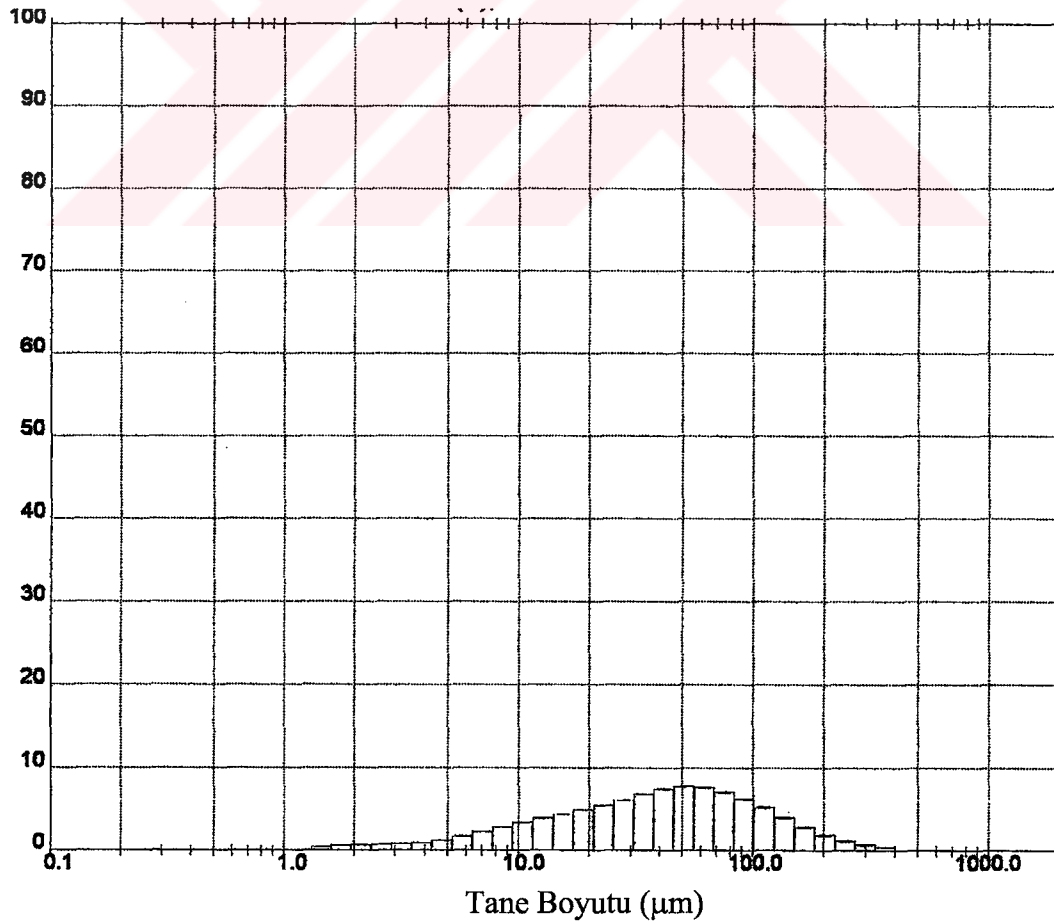
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.14	1.32	0.14	25.46	6.14	31.01	40.83
1.32	0.43	1.60	0.57	31.01	6.84	37.79	47.67
1.60	0.64	1.95	1.21	37.79	7.46	46.03	55.13
1.95	0.73	2.38	1.95	46.03	7.80	56.09	62.92
2.38	0.76	2.90	2.71	56.09	7.65	68.33	70.58
2.90	0.80	3.53	3.51	68.33	7.04	83.26	77.61
3.53	0.95	4.30	4.46	83.26	6.17	101.44	83.78
4.30	1.25	5.24	5.71	101.44	5.14	123.59	88.93
5.24	1.72	6.39	7.42	123.59	3.94	150.57	92.87
6.39	2.29	7.78	9.71	150.57	2.77	183.44	95.64
7.78	2.86	9.48	12.57	183.44	1.82	223.51	97.46
9.48	3.41	11.55	15.97	223.51	1.19	272.31	98.64
11.55	3.92	14.08	19.89	272.31	0.77	331.77	99.41
14.08	4.41	17.15	24.30	331.77	0.45	404.21	99.86
17.15	4.91	20.90	29.21	404.21	0.14	492.47	100.00
20.90	5.48	25.46	34.70	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.16 Seyitömer 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.17 Seyitömer 2 numunesinin standart sapma değerleri

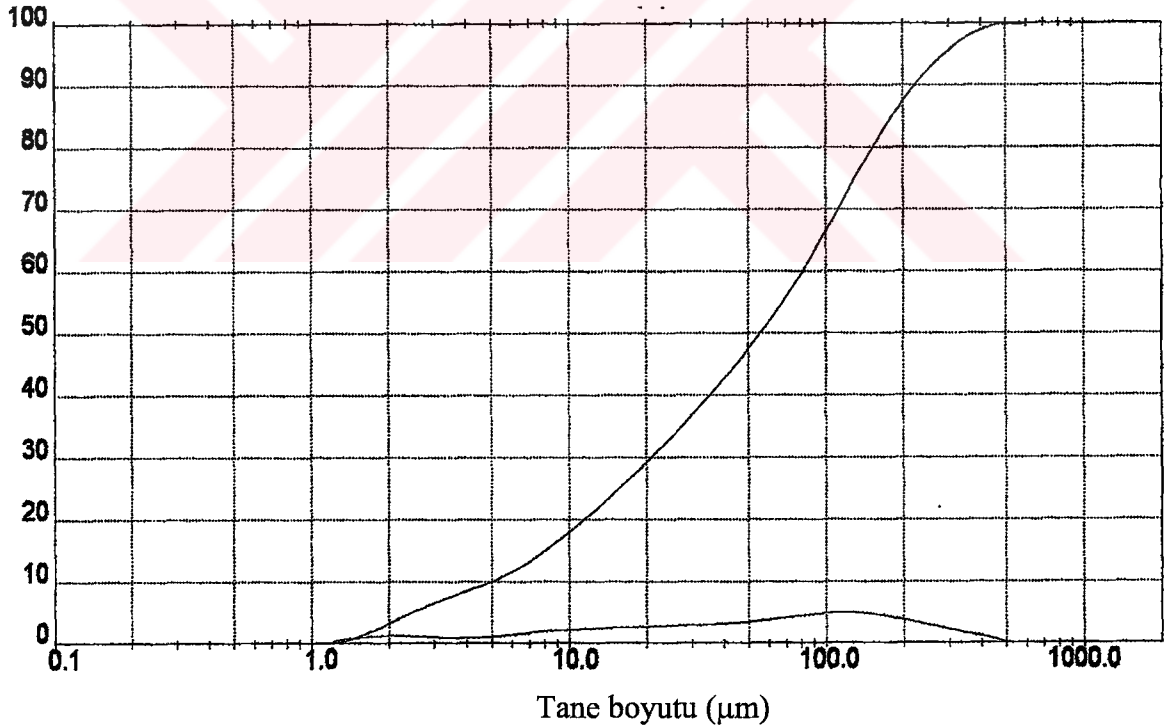
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.14	0.14	0.14	0.00	25.46	6.11	6.14	6.12	0.01
1.32	0.43	0.43	0.43	0.00	31.01	6.80	6.84	6.81	0.02
1.60	0.63	0.64	0.64	0.00	37.79	7.42	7.46	7.43	0.02
1.95	0.73	0.73	0.73	0.00	46.03	7.75	7.80	7.77	0.02
2.38	0.75	0.76	0.76	0.00	56.09	7.60	7.65	7.63	0.02
2.90	0.80	0.80	0.80	0.00	68.33	7.01	7.07	7.04	0.03
3.53	0.94	0.95	0.94	0.00	83.26	6.17	6.26	6.20	0.04
4.30	1.23	1.25	1.24	0.00	101.44	5.14	5.26	5.21	0.05
5.24	1.70	1.72	1.71	0.01	123.59	3.94	4.07	4.02	0.06
6.39	2.27	2.29	2.28	0.01	150.57	2.77	2.90	2.83	0.05
7.78	2.83	2.86	2.85	0.01	183.44	1.80	1.90	1.84	0.05
9.48	3.38	3.41	3.40	0.01	223.51	1.12	1.22	1.17	0.04
11.55	3.90	3.92	3.91	0.01	272.31	0.70	0.77	0.74	0.03
14.08	4.39	4.41	4.40	0.01	331.77	0.42	0.45	0.44	0.01
17.15	4.89	4.91	4.90	0.01	404.21	0.14	0.17	0.15	0.01
20.90	5.46	5.48	5.47	0.01	492.47	0.00	0.00	0.00	0.00
25.46					600.00				



Şekil 4.17 Seyitömer 2 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.18 Çayırhan 1 numunesinin tane boyutu dağılımları

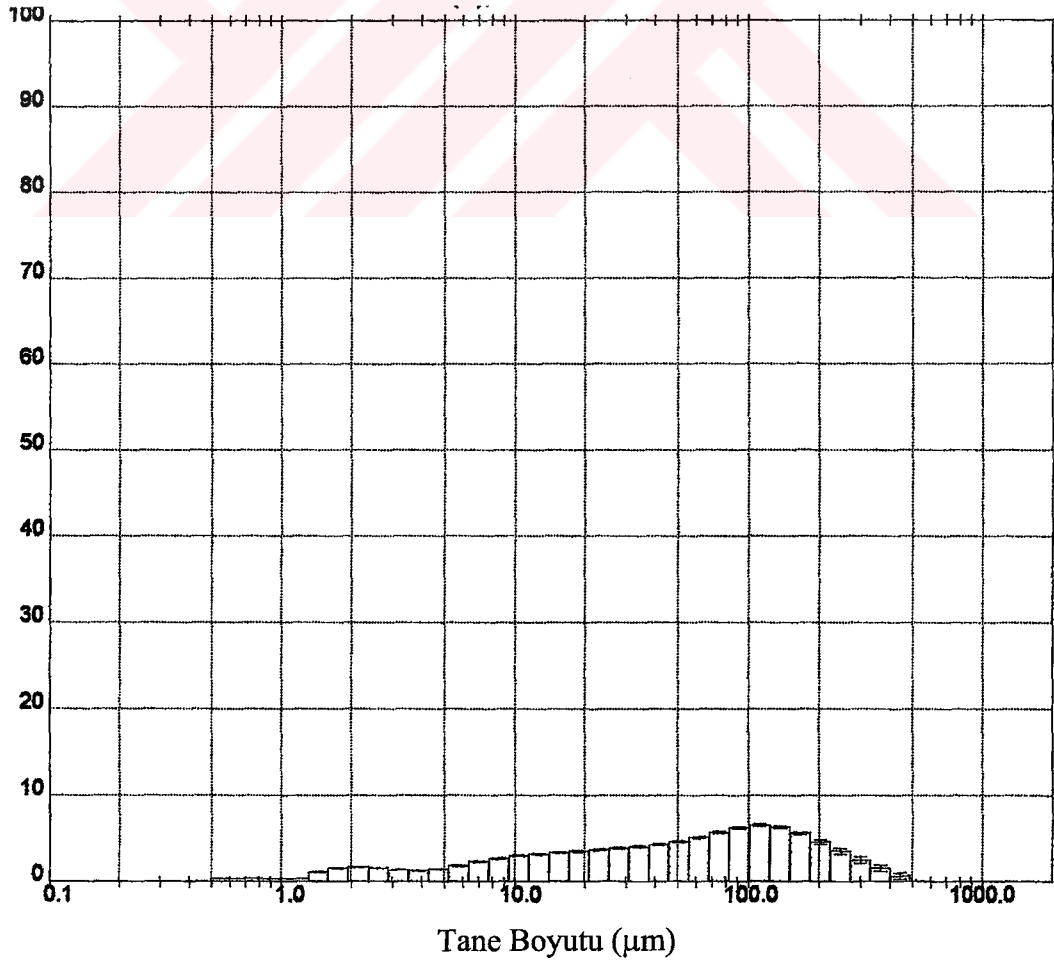
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.39	1.32	0.39	25.46	3.80	31.01	37.38
1.32	1.11	1.60	1.50	31.01	3.98	37.79	41.36
1.60	1.57	1.95	3.07	37.79	4.21	46.03	45.57
1.95	1.69	2.38	4.76	46.03	4.55	56.09	50.12
2.38	1.55	2.90	6.31	56.09	5.02	68.33	55.14
2.90	1.35	3.53	7.66	68.33	5.58	83.26	60.73
3.53	1.27	4.30	8.93	83.26	6.13	101.44	66.85
4.30	1.43	5.24	10.36	101.44	6.45	123.59	73.30
5.24	1.82	6.39	12.18	123.59	6.31	150.57	79.61
6.39	2.29	7.78	14.48	150.57	5.72	183.44	85.33
7.78	2.67	9.48	17.14	183.44	4.85	223.51	90.18
9.48	2.94	11.55	20.08	223.51	3.92	272.31	94.10
11.55	3.13	14.08	23.21	272.31	2.95	331.77	97.05
14.08	3.29	17.15	26.50	331.77	1.96	404.21	99.00
17.15	3.46	20.90	29.95	404.21	0.96	492.47	99.96
20.90	3.63	25.46	33.58	492.47	0.03	600.00	100.00



Şekil 4.18 Çayırhan 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.19 Çayırhan 1 numunesinin standart sapma değerleri

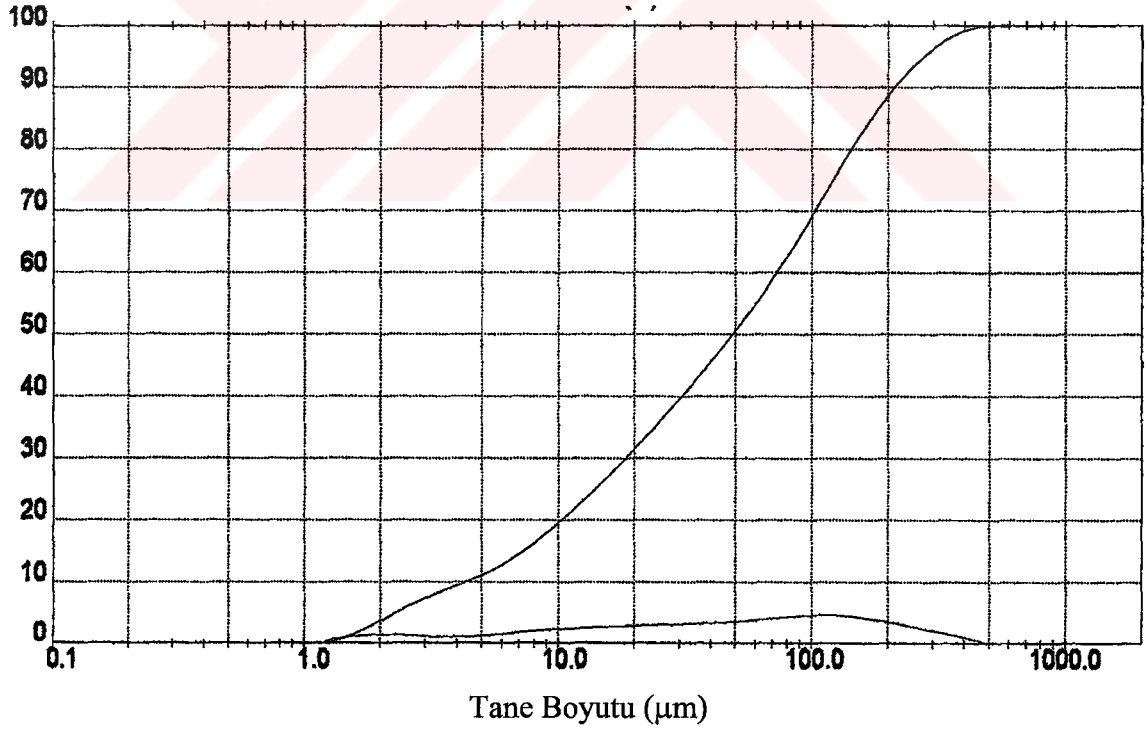
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.39	0.40	0.40	0.01	25.46	3.80	3.96	3.89	0.07
1.32	1.11	1.16	1.14	0.02	31.01	3.98	4.14	4.07	0.07
1.60	1.57	1.63	1.61	0.03	37.79	4.21	4.37	4.31	0.07
1.95	1.69	1.75	1.73	0.03	46.03	4.55	4.71	4.65	0.07
2.38	1.55	1.61	1.59	0.03	56.09	5.02	5.19	5.13	0.07
2.90	1.35	1.40	1.38	0.02	68.33	5.58	5.77	5.70	0.08
3.53	1.27	1.32	1.30	0.02	83.26	6.13	6.35	6.25	0.09
4.30	1.43	1.49	1.47	0.03	101.44	6.45	6.68	6.56	0.09
5.24	1.82	1.90	1.87	0.03	123.59	6.24	6.47	6.34	0.10
6.39	2.29	2.39	2.35	0.04	150.57	5.42	5.72	5.61	0.13
7.78	2.67	2.78	2.74	0.05	183.44	4.36	4.85	4.59	0.20
9.48	2.94	3.06	3.01	0.05	223.51	3.35	3.92	3.55	0.26
11.55	3.13	3.25	3.21	0.06	272.31	2.24	2.95	2.54	0.30
14.08	3.29	3.42	3.38	0.06	331.77	1.22	1.96	1.59	0.30
17.15	3.46	3.60	3.55	0.06	404.21	0.32	0.96	0.71	0.28
20.90	3.63	3.78	3.72	0.07	492.47	0.00	0.17	0.07	0.07
25.46					600.00				



Şekil 4.19 Çayırhan 1 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.20 Çayırhan 2 numunesinin tane boyutu dağılımları

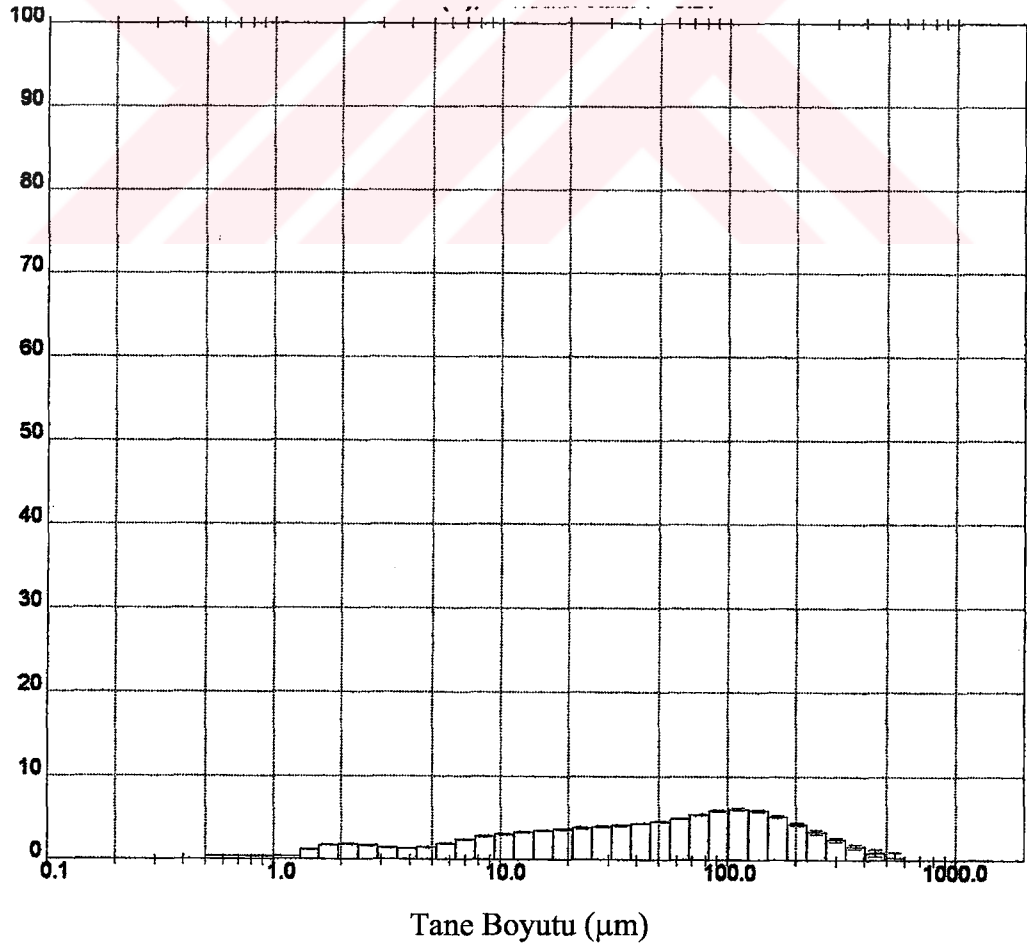
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.44	1.32	0.44	25.46	4.02	31.01	40.20
1.32	1.25	1.60	1.69	31.01	4.16	37.79	44.36
1.60	1.76	1.95	3.45	37.79	4.35	46.03	48.70
1.95	1.88	2.38	5.33	46.03	4.62	56.09	53.33
2.38	1.72	2.90	7.05	56.09	5.00	68.33	58.33
2.90	1.48	3.53	8.53	68.33	5.44	83.26	63.76
3.53	1.38	4.30	9.91	83.26	5.83	101.44	69.59
4.30	1.53	5.24	11.45	101.44	6.02	123.59	75.62
5.24	1.95	6.39	13.39	123.59	5.83	150.57	81.44
6.39	2.44	7.78	15.84	150.57	5.26	183.44	86.70
7.78	2.83	9.48	18.67	183.44	4.48	223.51	91.19
9.48	3.11	11.55	21.78	223.51	3.64	272.31	94.83
11.55	3.32	14.08	25.11	272.31	2.73	331.77	97.56
14.08	3.51	17.15	28.62	331.77	1.74	404.21	99.29
17.15	3.70	20.90	32.32	404.21	0.71	492.47	99.99
20.90	3.87	25.46	36.18	492.47	0.00	600.00	100.00



Şekil 4.20 Çayırhan 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.21 Çayırhan 2 numunesinin standart sapma değerleri

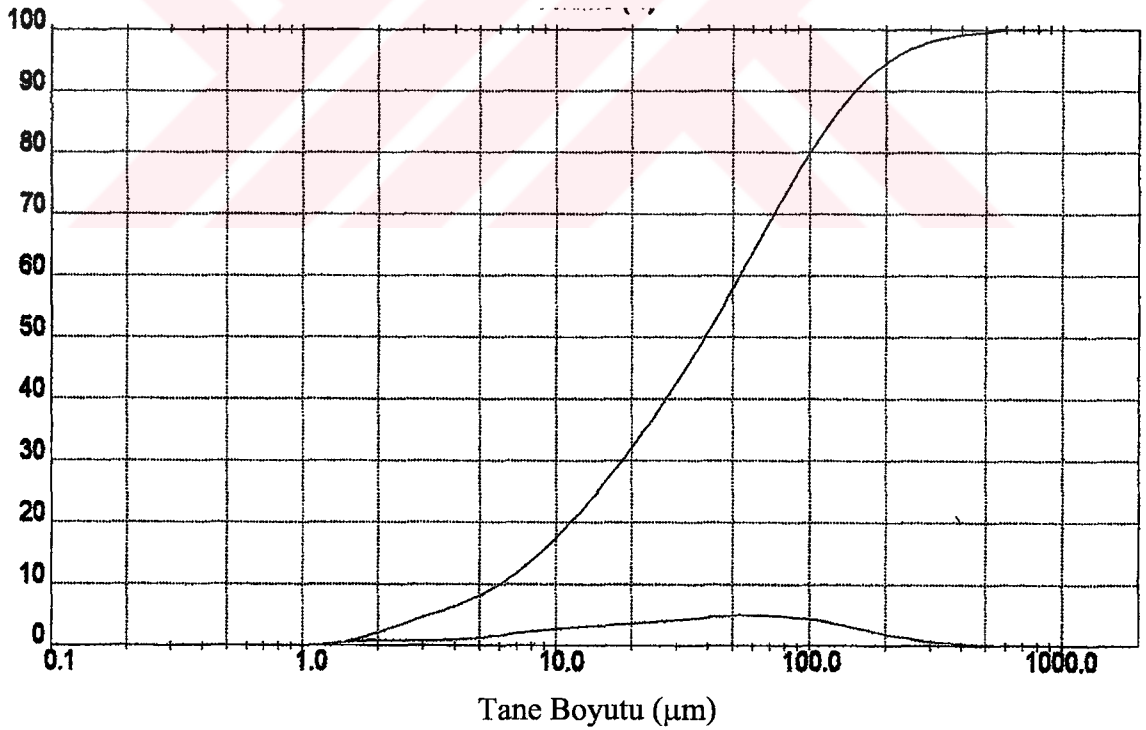
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.42	0.44	0.43	0.01	25.46	3.93	4.11	4.02	0.07
1.32	1.21	1.26	1.24	0.02	31.01	4.09	4.25	4.16	0.07
1.60	1.71	1.77	1.75	0.03	37.79	4.28	4.41	4.35	0.05
1.95	1.83	1.90	1.87	0.03	46.03	4.57	4.64	4.61	0.03
2.38	1.68	1.73	1.71	0.03	56.09	4.97	5.01	4.99	0.02
2.90	1.44	1.49	1.47	0.02	68.33	5.44	5.51	5.46	0.03
3.53	1.34	1.39	1.37	0.02	83.26	5.83	6.02	5.92	0.08
4.30	1.50	1.55	1.53	0.02	101.44	6.02	6.33	6.16	0.13
5.24	1.90	1.97	1.94	0.03	123.59	5.83	6.10	5.93	0.12
6.39	2.38	2.47	2.43	0.04	150.57	5.14	5.32	5.24	0.08
7.78	2.76	2.86	2.82	0.04	183.44	4.18	4.48	4.31	0.13
9.48	3.03	3.14	3.10	0.04	223.51	3.20	3.64	3.37	0.19
11.55	3.24	3.34	3.30	0.05	272.31	2.25	2.73	2.50	0.20
14.08	3.42	3.54	3.49	0.05	331.77	1.41	1.93	1.69	0.22
17.15	3.60	3.74	3.68	0.06	404.21	0.65	1.44	0.93	0.36
20.90	3.77	3.94	3.86	0.07	492.47	0.00	1.09	0.36	0.51
25.46					600.00				



Şekil 4.21 Çayırhan 2 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.22 Tunçbilek1 numunesinin tane boyutu dağılımları

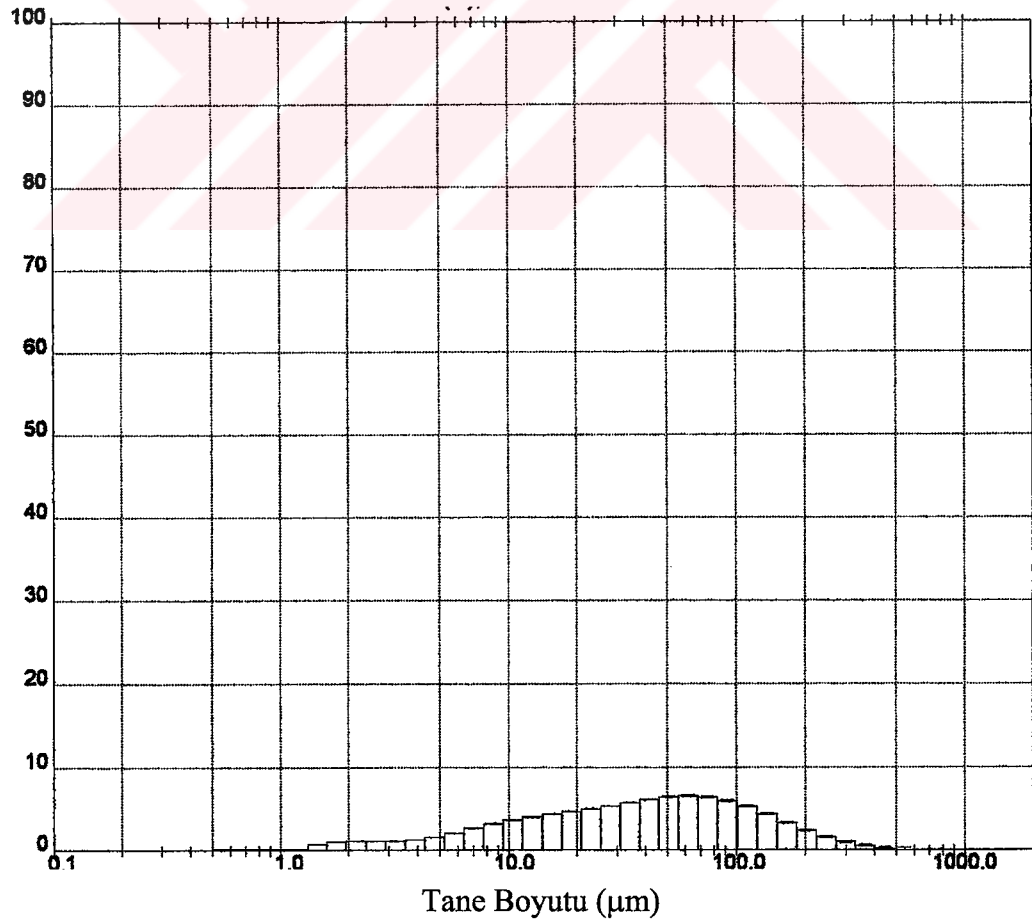
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.24	1.32	0.24	25.46	5.31	31.01	43.41
1.32	0.74	1.60	0.98	31.01	5.70	37.79	49.11
1.60	1.07	1.95	2.05	37.79	6.10	46.03	55.21
1.95	1.21	2.38	3.25	46.03	6.40	56.09	61.60
2.38	1.20	2.90	4.46	56.09	6.48	68.33	68.08
2.90	1.19	3.53	5.64	68.33	6.29	83.26	74.37
3.53	1.29	4.30	6.93	83.26	5.87	101.44	80.24
4.30	1.59	5.24	8.53	101.44	5.25	123.59	85.49
5.24	2.10	6.39	10.62	123.59	4.40	150.57	89.89
6.39	2.68	7.78	13.30	150.57	3.42	183.44	93.31
7.78	3.20	9.48	16.51	183.44	2.47	223.51	95.78
9.48	3.65	11.55	20.15	223.51	1.68	272.31	97.47
11.55	4.01	14.08	24.17	272.31	1.08	331.77	98.55
14.08	4.34	17.15	28.50	331.77	0.66	404.21	99.21
17.15	4.64	20.90	33.15	404.21	0.43	492.47	99.64
20.90	4.96	25.46	38.11	492.47	0.36	600.00	100.00



Şekil 4.22 Tunçbilek 1 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.23 Tunçbilek 1 numunesinin standart sapma değerleri

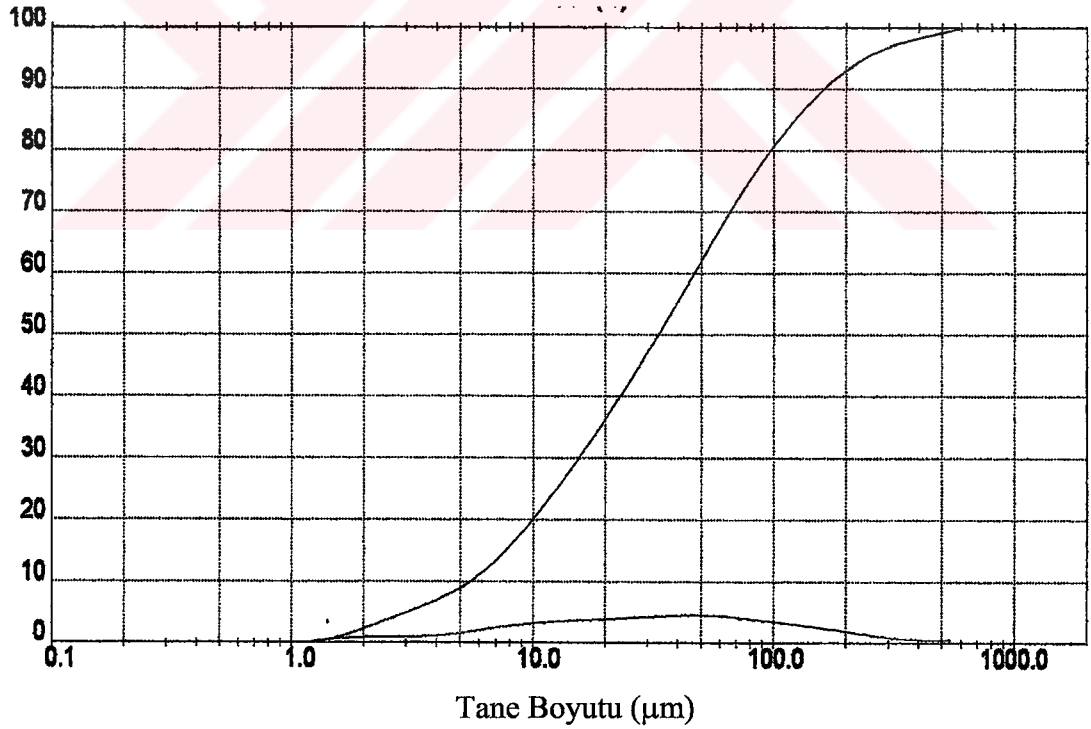
Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50	0.24	0.24	0.24	0.00	25.46	5.31	5.35	5.34	0.02
1.32	0.74	0.74	0.74	0.00	31.01	5.70	5.73	5.72	0.02
1.60	1.07	1.08	1.07	0.00	37.79	6.10	6.15	6.12	0.02
1.95	1.21	1.21	1.21	0.00	46.03	6.40	6.50	6.46	0.04
2.38	1.20	1.21	1.21	0.00	56.09	6.48	6.64	6.58	0.07
2.90	1.19	1.20	1.19	0.00	68.33	6.29	6.47	6.41	0.09
3.53	1.29	1.30	1.30	0.00	83.26	5.87	6.06	5.98	0.08
4.30	1.59	1.61	1.60	0.01	101.44	5.25	5.40	5.30	0.07
5.24	2.10	2.11	2.11	0.01	123.59	4.27	4.46	4.38	0.08
6.39	2.68	2.70	2.69	0.01	150.57	3.24	3.42	3.35	0.08
7.78	3.20	3.24	3.22	0.01	183.44	2.34	2.47	2.40	0.05
9.48	3.65	3.69	3.67	0.02	223.51	1.57	1.68	1.65	0.05
11.55	4.01	4.08	4.05	0.03	272.31	0.96	1.15	1.06	0.08
14.08	4.34	4.41	4.38	0.03	331.77	0.48	0.66	0.58	0.08
17.15	4.64	4.71	4.69	0.03	404.21	0.06	0.43	0.19	0.17
20.90	4.96	5.02	5.00	0.03	492.47	0.00	0.36	0.12	0.17
25.46					600.00				



Şekil 4.23 Tunçbilek 1 numunesinin tane boyut histogramı

Çizelge 4.24 Tunçbilek 2 numunesinin tane boyutu dağılımları

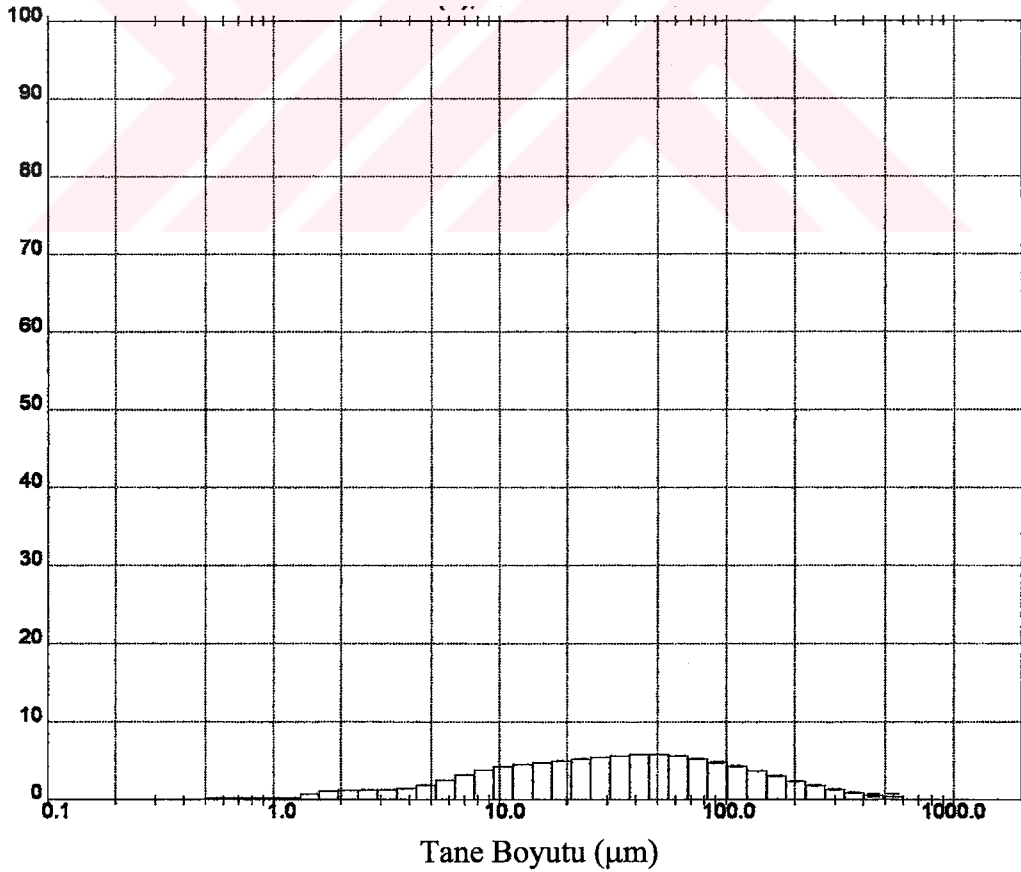
Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)	Küçük Elek Boyutu (μm)	Elekler Arası Miktar (%)	Büyük Elek Boyutu (μm)	Kümülatif Elekler Altı Miktar (%)
0.50	0.26	1.32	0.26	25.46	5.43	31.01	48.04
1.32	0.78	1.60	1.04	31.01	5.66	37.79	53.70
1.60	1.13	1.95	2.17	37.79	5.83	46.03	59.53
1.95	1.27	2.38	3.44	46.03	5.85	56.09	65.39
2.38	1.28	2.90	4.72	56.09	5.64	68.33	71.03
2.90	1.30	3.53	6.02	68.33	5.22	83.26	76.25
3.53	1.47	4.30	7.49	83.26	4.71	101.44	80.96
4.30	1.88	5.24	9.38	101.44	4.22	123.59	85.18
5.24	2.52	6.39	11.89	123.59	3.68	150.57	88.86
6.39	3.22	7.78	15.11	150.57	3.08	183.44	91.94
7.78	3.80	9.48	18.91	183.44	2.43	223.51	94.37
9.48	4.23	11.55	23.14	223.51	1.82	272.31	96.19
11.55	4.53	14.08	27.67	272.31	1.29	331.77	97.47
14.08	4.76	17.15	32.43	331.77	0.92	404.21	98.40
17.15	4.97	20.90	37.41	404.21	0.78	492.47	99.17
20.90	5.20	25.46	42.61	492.47	0.83	600.00	100.00



Şekil 4.24 Tunçbilek 2 numunesinin kümülatif elek altı eğrisi ve boyut tekerrür eğrisi

Çizelge 4.25 Tunçbilek 2 numunesinin standart sapma değerleri

Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma	Elek Boyutu (µm)	Elekler Arası Min Miktar (%)	Elekler Arası Max Miktar (%)	Elekler Arası Ortalama Miktar (%)	Standart Sapma
0.50					25.46				
1.32	0.26	0.26	0.26	0.00	31.01	5.43	5.48	5.45	0.02
1.60	0.77	0.78	0.78	0.00	37.79	5.66	5.67	5.67	0.01
1.95	1.12	1.13	1.13	0.01	46.03	5.81	5.83	5.82	0.01
2.38	1.26	1.27	1.27	0.01	56.09	5.82	5.85	5.84	0.01
2.90	1.27	1.28	1.28	0.01	68.33	5.64	5.65	5.65	0.00
3.53	1.29	1.30	1.30	0.01	83.26	5.22	5.31	5.27	0.04
4.30	1.46	1.48	1.47	0.01	101.44	4.71	4.88	4.81	0.07
5.24	1.87	1.89	1.88	0.01	123.59	4.22	4.39	4.31	0.07
6.39	2.51	2.53	2.52	0.01	150.57	3.68	3.79	3.72	0.05
7.78	3.21	3.23	3.22	0.01	183.44	3.02	3.12	3.07	0.04
9.48	3.79	3.81	3.80	0.01	223.51	2.39	2.47	2.43	0.03
11.55	4.22	4.25	4.24	0.01	272.31	1.82	1.91	1.86	0.04
14.08	4.53	4.56	4.54	0.01	331.77	1.29	1.42	1.37	0.06
17.15	4.76	4.81	4.78	0.02	404.21	0.92	1.03	0.96	0.05
20.90	4.97	5.03	5.00	0.02	492.47	0.46	0.78	0.65	0.13
25.46	5.20	5.25	5.22	0.02	600.00	0.04	0.83	0.45	0.32

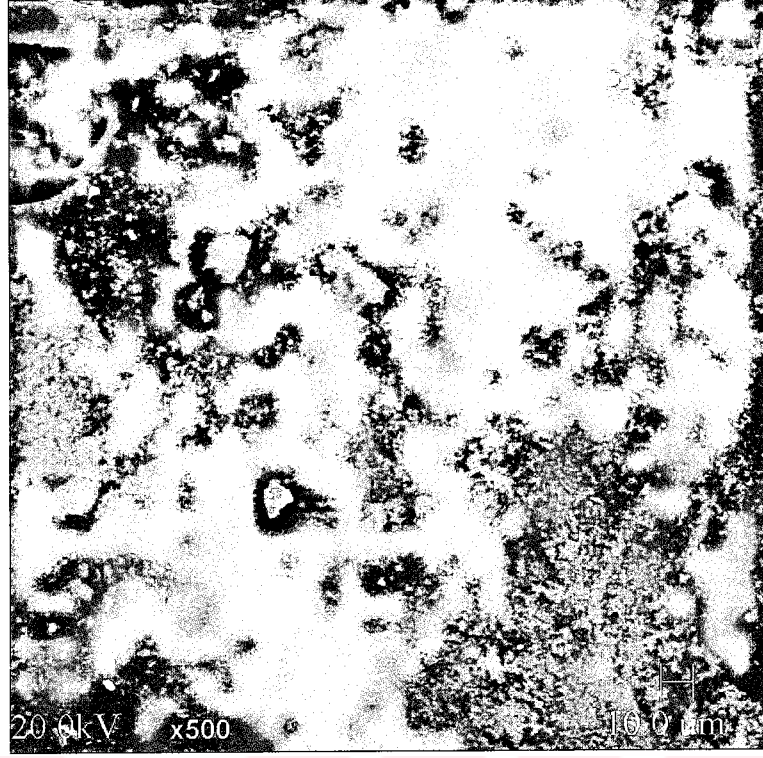


Şekil 4.25 Tunçbilek 2 numunesinin tane boyut histogramı

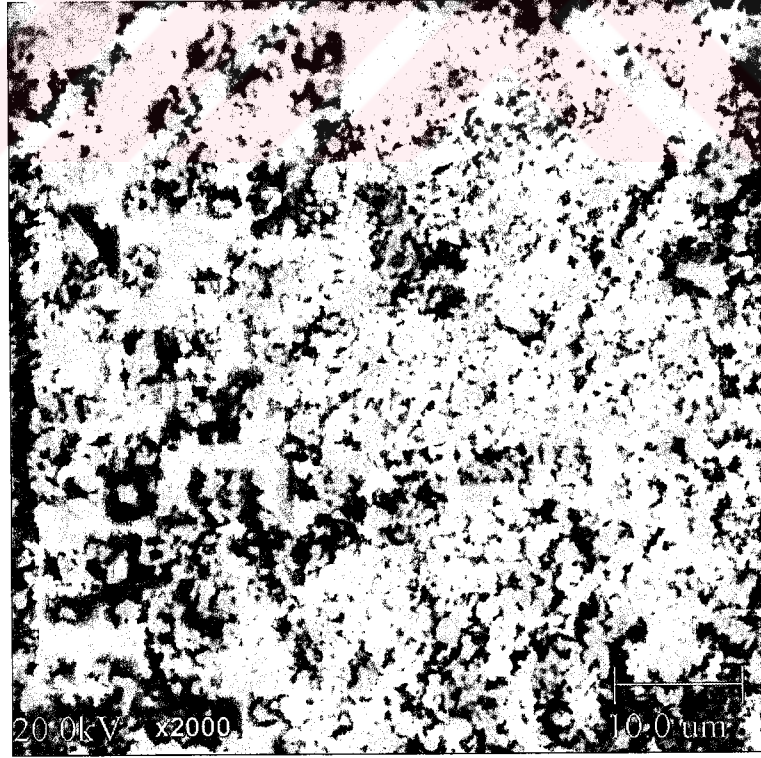
4.4 Silis Dumanı ve Atık Çamur ile Çatalağzı, Soma 4, Soma 6, Seyitömer, Çayırhan ve Tunçbilek Uçucu Küllerinin İç Yapı Görüntüleri

Kullanılan atıkların özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve basınç dayanımlarına olan etkilerinin daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla TÜBİTAK – MAM’da numunelerin SEM görüntüleri normal ve detaylı olarak çekilmiş ve sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

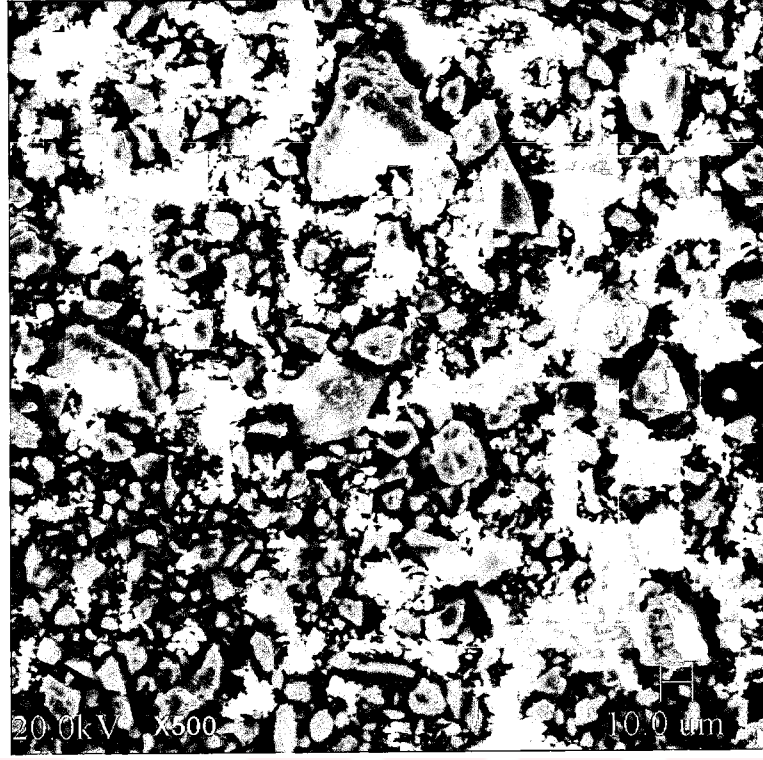
- Silis dumanı numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.26’da, detaylı görüntüsü Şekil 4.27’de,
- Atık çamur numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.28’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.29’da,
- Çatalağzı 1 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.30’da, detaylı görüntüsü Şekil 4.31’de,
- Çatalağzı 2 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.32’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.33’de,
- Soma 4.1 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.34’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.35’de,
- Soma 6 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.36’da, detaylı görüntüsü Şekil 4.37’de,
- Seyitömer 1 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.38’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.39’da,
- Seyitömer 2 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.40’da, detaylı görüntüsü Şekil 4.41’de,
- Çayırhan 1 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.42’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.43’de,
- Çayırhan 2 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.44’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.45’de,
- Tunçbilek 1 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.46’da, detaylı görüntüsü Şekil 4.47’de,
- Tunçbilek 2 numunesinin normal görüntüsü Şekil 4.48’de, detaylı görüntüsü Şekil 4.49’de sunulmuştur.



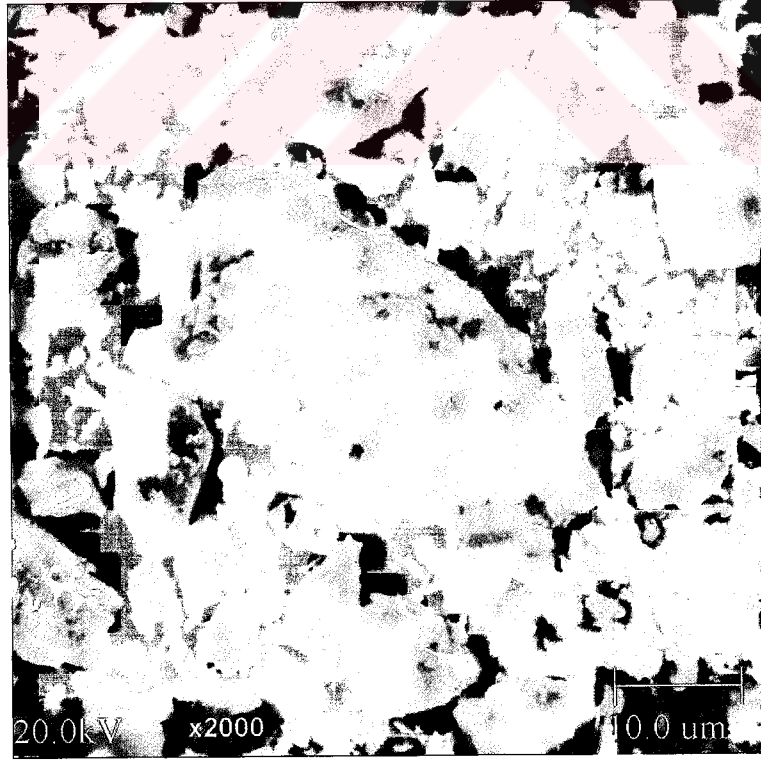
Şekil 4.26 Silis dumanının SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.27 Silis dumanının SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.28 Atık Çamurun SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.29 Atık Çamurun SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



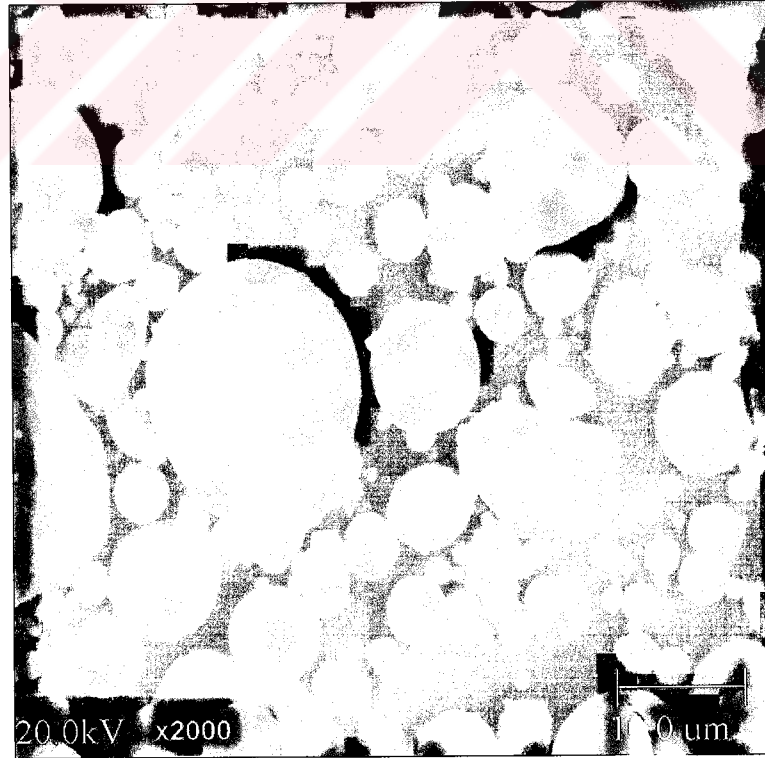
Şekil 4.30 Çatalağzı 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.31 Çatalağzı 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.32 Çatalağzı 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



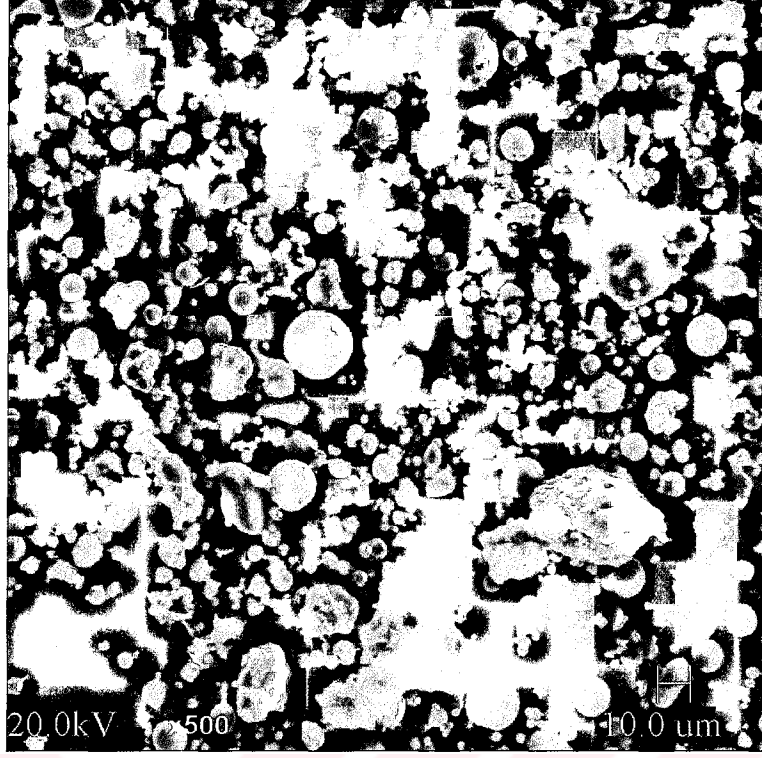
Şekil 4.33 Çatalağzı 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.34 Soma 4.1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.35 Soma 4.1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.36 Soma 6 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.37 Soma 6 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



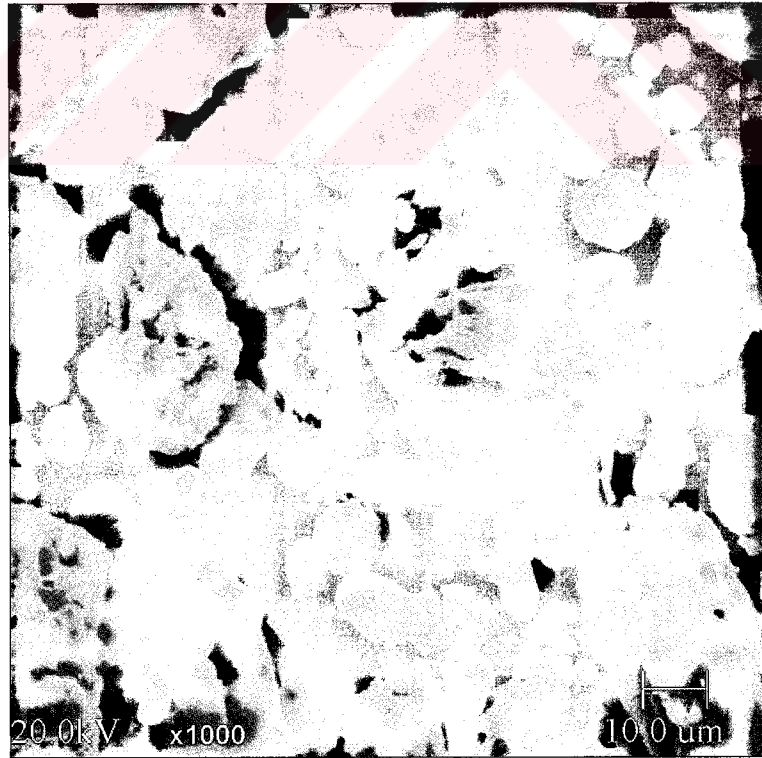
Şekil 4.38 Seyitömer 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.39 Seyitömer 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.40 Seyitömer 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



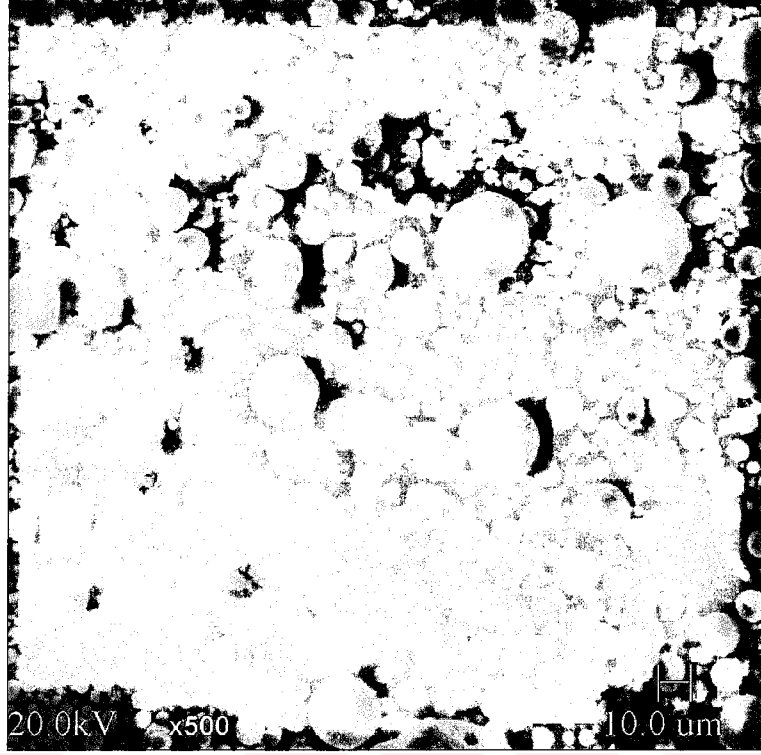
Şekil 4.41 Seyitömer 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.42 Çayırhan 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.43 Çayırhan 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.44 Çayırhan 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.45 Çayırhan 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



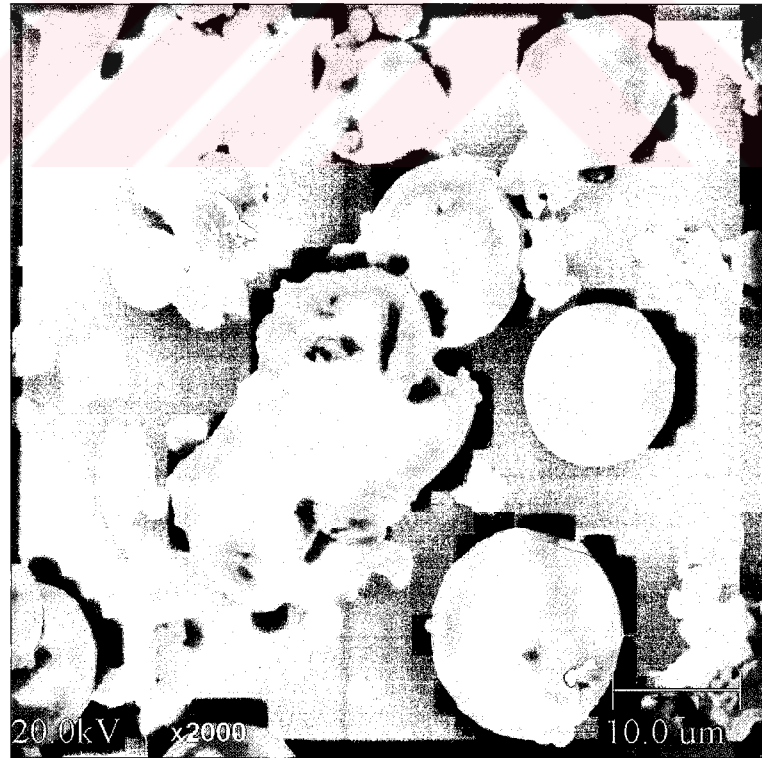
Şekil 4.46 Tunçbilek 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.47 Tunçbilek 1 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü



Şekil 4.48 Tunçbilek 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen görüntüsü



Şekil 4.49 Tunçbilek 2 uçucu külünün SEM kullanılarak çekilen detay görüntüsü

4.5 Basınç Dayanımları

Üretilen bütün çimento harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri bu bölümde sunulmuştur;

- PÇ 42.5 kontrol numunesinin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.26'da,
- Silis dumanı katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.27'de,
- Atık çamur katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.28'de,
- Çatalağzı 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.29'da,
- Çatalağzı 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.30'da,
- Soma 4.1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.31'de,
- Soma 4.2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.32'de,
- Soma 6 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.33'de,
- Seyitömer 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.34'de,
- Seyitömer 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.35'de,
- Çayırhan 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.36'da,
- Çayırhan 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.37'de,
- Tunçbilek 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.38'de,
- Tunçbilek 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 4.39'da,
- Farklı numune karışımlarının basınç dayanım değerleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.26 Kontrol numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
Kontrol (PÇ 42.5)	25.5	46.0	55.8	56.7	62.2

Çizelge 4.27 Silis dumanı numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
1X	24.0	41.0	66.5	73.7	76
2X	23.2	39.0	67.6	75.3	78.0
3X	20.9	39.5	68.6	75.7	79.9

Çizelge 4.28 Atık çamur numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
4X	23.8	39.7	51.1	52.1	55.5
5X	19.4	36.5	45.0	45.8	48.3
6X	16.7	31.0	39.0	41.1	43.0

Çizelge 4.29 Çatalağzı 1 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
7X	17.4	32.0	43.6	48.5	52.0
8X	14.4	26.4	37.0	42.1	46.0
9X	10.9	21.1	30.5	35.3	39.0

Çizelge 4.30 Çatalağzı 2 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
10X	19.0	35.0	46.0	52.0	54.6
11X	15.5	29.0	41.0	47.0	51.0
12X	10.7	22.0	31.4	38.1	41.7

Çizelge 4.31 Soma 4.1 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
13X	19.7	36.0	50.0	56.5	61.1
14X	18.1	35.5	49.0	56.0	58.6
15X	14.6	29.5	42.1	47.3	51.0

Çizelge 4.32 Soma 4.2 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
16X	20.2	38.7	51.9	57.0	60.0
17X	16.1	33.5	46.1	54.2	56.1
18X	12.7	28.3	40.3	49.2	52.0

Çizelge 4.33 Soma 6 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
19X	20.8	42.2	53.8	61.5	63.5
20X	17.0	36.2	48.0	57.1	58.1
21X	11.0	29.0	44.0	49.5	53.0

Çizelge 4.34 Seyitömer 1 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
22X	19.7	39.0	51.8	56.8	58.8
23X	16.1	31.5	44.0	49.5	52.5
24X	12.0	23.0	32.1	36.8	40.0

Çizelge 4.35 Seyitömer 2 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
25X	19.0	36.8	49.5	54.5	57.2
26X	16.5	30.4	42.0	47.0	50.1
27X	11.6	22.3	32.2	36.7	39.8

Çizelge 4.36 Çayırhan 1 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
28X	20.8	37.0	48.0	52.5	55.2
29X	15.7	29.2	40.5	45.6	49.2
30X	10.6	23.0	34.1	40.5	44.5

Çizelge 4.37 Çayırhan 2 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
31X	19.9	36.3	47.5	51.4	54.0
32X	15.1	29.0	40.5	45.2	48.7
33X	10.7	21.7	32.0	36.6	40.8

Çizelge 4.38 Tunçbilek 1 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
34X	20.7	37.5	47.7	53.9	56.6
35X	15.7	30.0	42.5	48.5	52.5
36X	11.7	23.5	36.9	43.4	48.0

Çizelge 4.39 Tunçbilek 2 numunesinin basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
37X	19.4	39.0	52.0	57.1	59.9
38X	18.2	35.1	45.9	54.5	55.2
39X	14.1	28.4	39.6	48.9	51.8

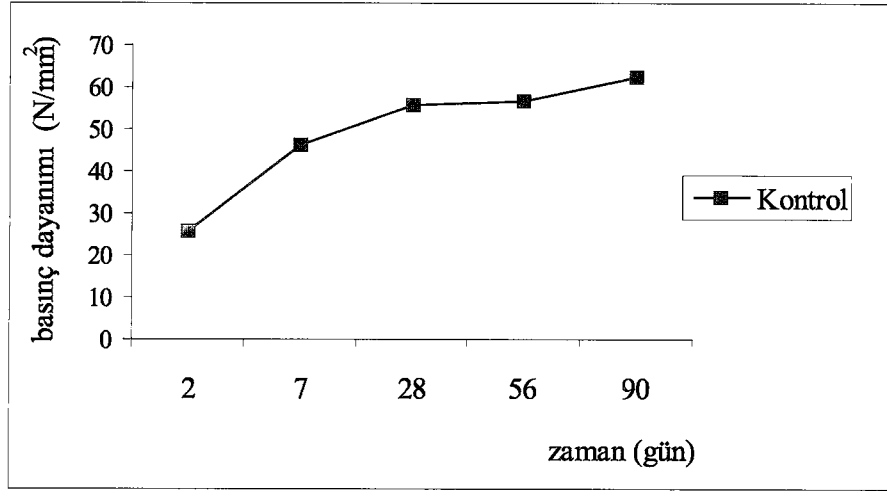
Çizelge 4.40 Farklı numune karışımlarının basınç dayanım değerleri

Numune kodu	Basınç Dayanımları (Mpa)				
	2. gün	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
40X	11.0	25.0	38.0	44.0	48.3
41X	11.1	27.9	44.3	55.3	58.0
42X	13.1	27.8	47.3	53.0	55.9
43X	15.1	31.1	55.5	61.9	64.2
44X	16.4	35.0	60.1	66.0	69.0
45X	12.6	29.5	43.0	46.6	47.8
46X	13.7	33.4	48.8	53.1	55.3
47X	15.4	35.5	51.0	57.4	61.7

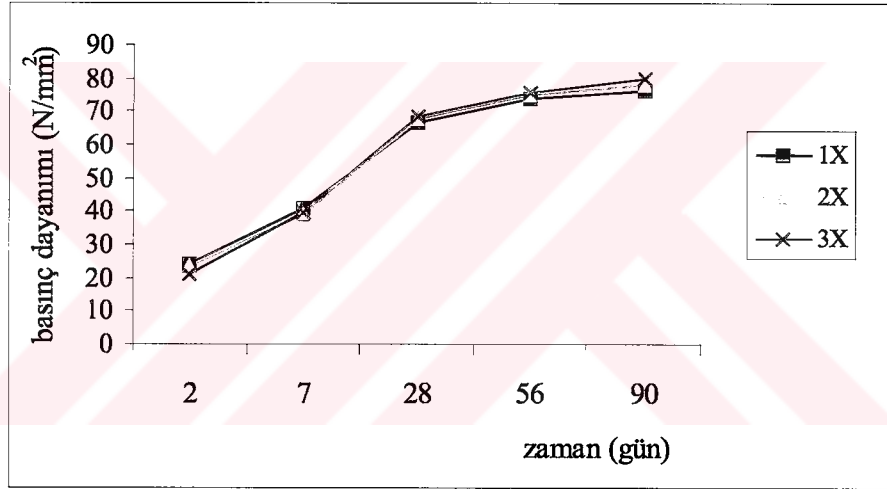
4.6 Basınç Dayanım Grafikleri

Üretilen bütün çimento harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri bu bölümde sunulmuştur;

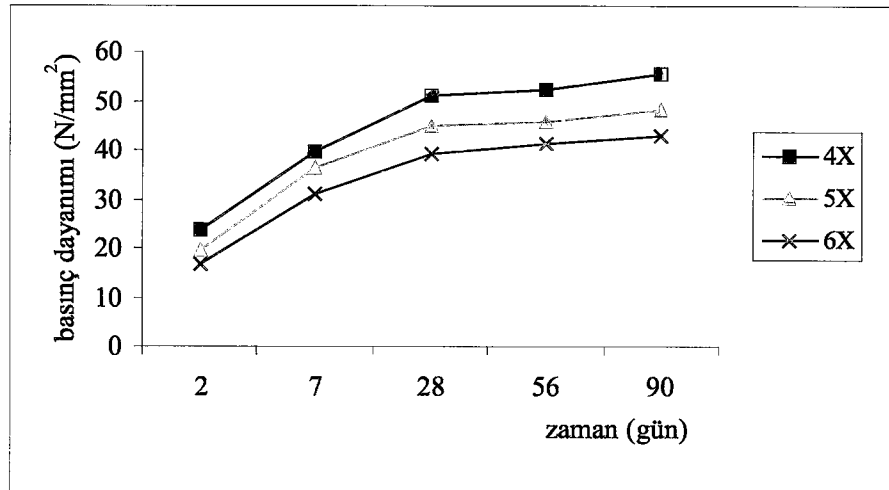
- PÇ 42.5 kontrol numunesinin basınç dayanım grafiği Şekil 4.50'de,
- Silis dumanı katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.51de,
- Atık çamur katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.52'de,
- Çatalağzı 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.53'de,
- Çatalağzı 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.54'de,
- Soma 4.1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.55'de,
- Soma 4.2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.56'da,
- Soma 6 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.57'de,
- Seyitömer 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.58'de,
- Seyitömer 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.59'da,
- Çayırhan 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.60'da,
- Çayırhan 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.61'de,
- Tunçbilek 1 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.62'de,
- Tunçbilek 2 uçucu külü katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği Şekil 4.63'de,
- Farklı numune karışımlarının basınç dayanım grafiği Şekil 4.64'de verilmiştir.



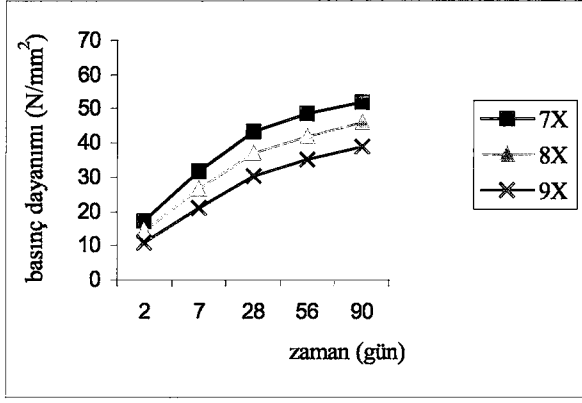
Şekil 4.50 Kontrol numunesinin basınç dayanım grafiği



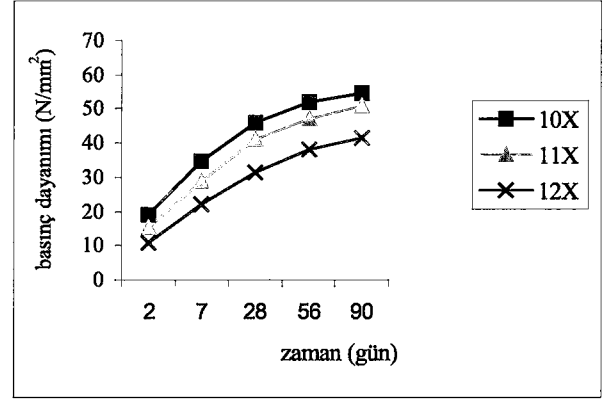
Şekil 4.51 Silis dumanı numunesinin basınç dayanım grafiği



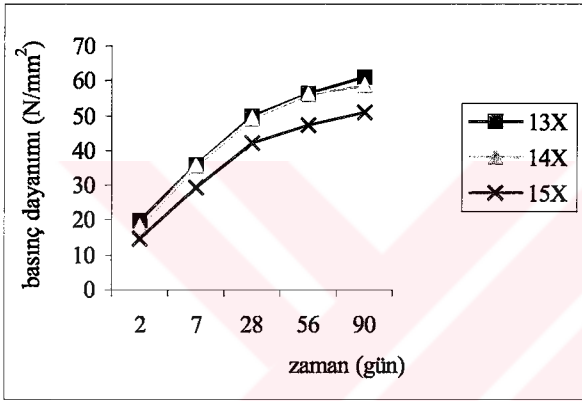
Şekil 4.52 Atık çamur numunesinin basınç dayanım grafiği



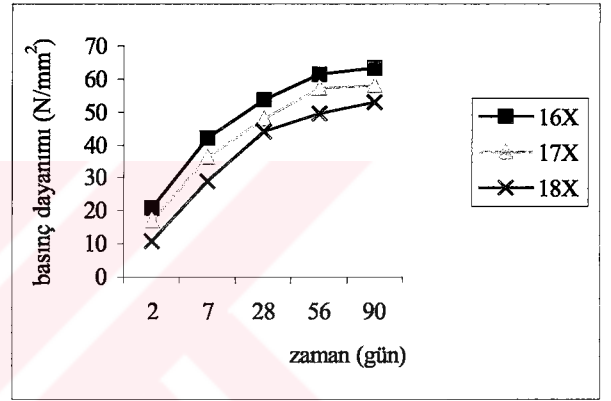
Şekil 4.53 Çatalağzı 1 numunesinin basınç dayanım grafiği



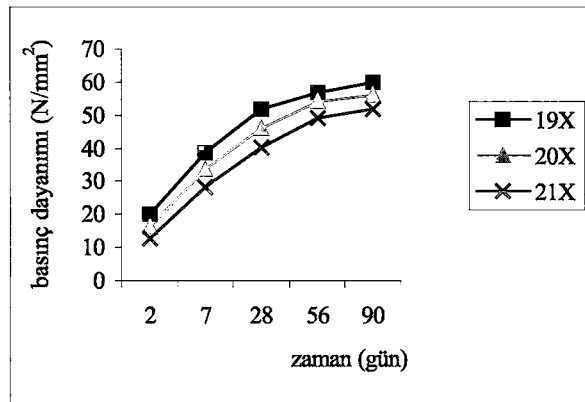
Şekil 4.54 Çatalağzı 2 numunesinin basınç dayanım grafiği



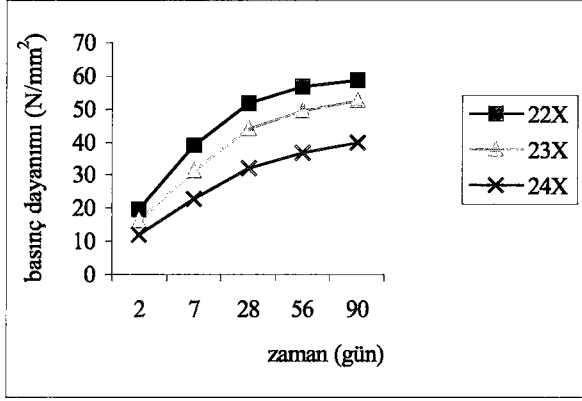
Şekil 4.55 Soma 4.1 numunesinin basınç dayanım grafiği



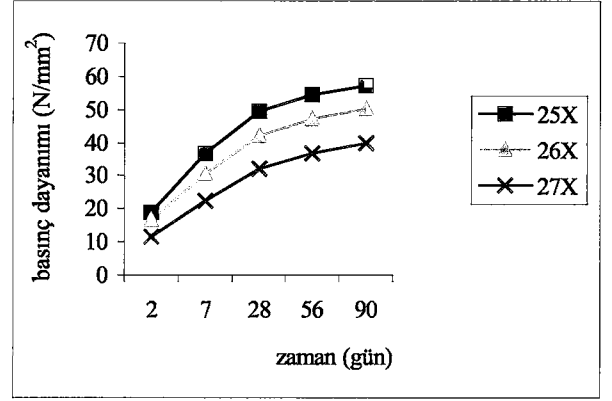
Şekil 4.56 Soma 4.2 numunesinin basınç dayanım grafiği



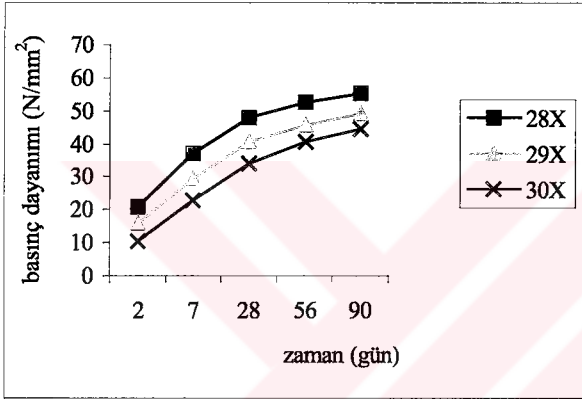
Şekil 4.57 Soma 6 numunesinin basınç dayanım grafiği



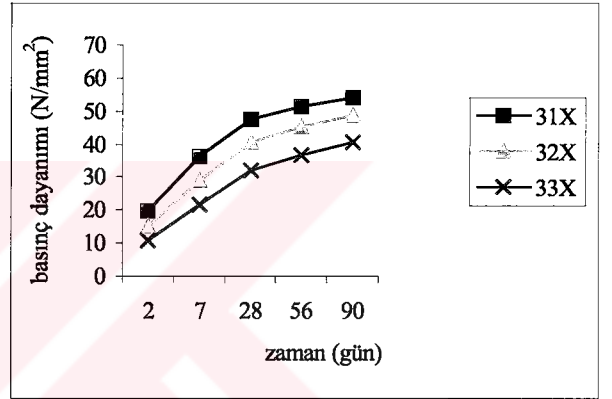
Şekil 4.58 Seyitömer 1 numunesinin basınç dayanım grafiği



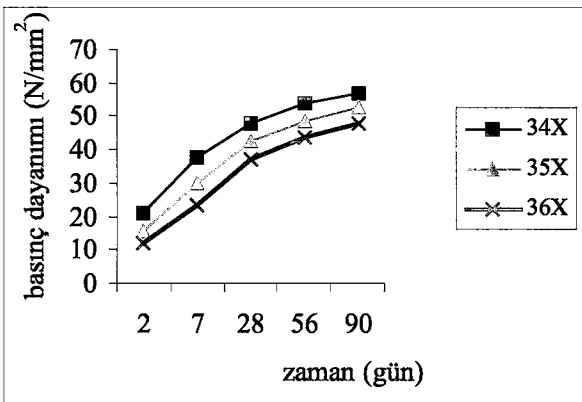
Şekil 4.59 Seyitömer 2 numunesinin basınç dayanım grafiği



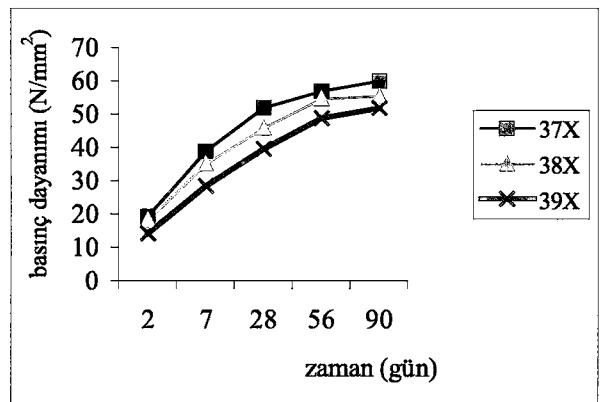
Şekil 4.60 Çayırhan 1 numunesinin basınç dayanım grafiği



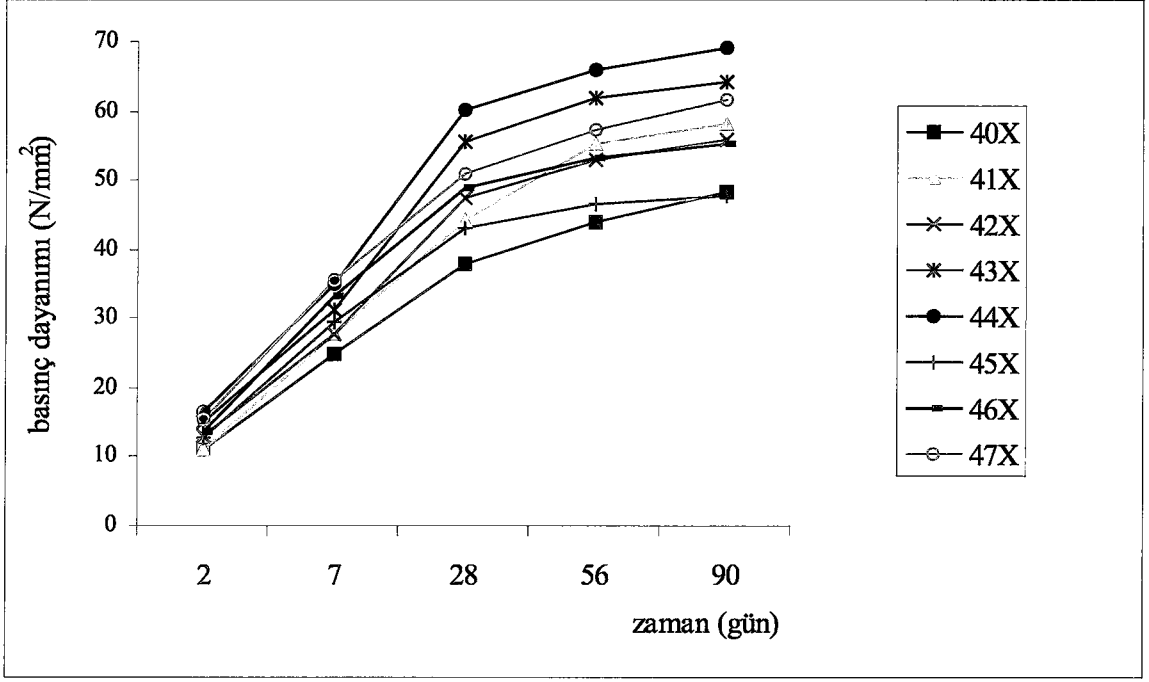
Şekil 4.61 Çayırhan 2 numunesinin basınç dayanım grafiği



Şekil 4.62 Tunçbilek 1 numunesinin basınç dayanım grafiği



Şekil 4.63 Tunçbilek 2 numunesinin basınç dayanım grafiği



Şekil 4.64 Farklı numune karışımlarının basınç dayanım grafiği

4.7 Değerlendirmeler

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulardan ve literatürlerden elde edilen bilgilerden yola çıkarak aşağıdaki yorumlar yapılmıştır:

1) Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri dikkate alındığında;

- Silis dumanının silis içeriği beklenildiği gibi %90.02 yani %84 - %91 değerleri arasında ölçülmüştür.
- Atık çamurun silis içeriği ise 94.56 gibi çok yüksek bir değer olarak ölçülmüştür.
- Çatalağzı 1 uçucu külünün S+A+F değeri %90.32 olarak ölçülmüştür ve ASTM C 618'e ve TS 639'a göre F sınıfı uçucu küldür.
- Çatalağzı 2 uçucu külünün S+A+F değeri %86.19 olarak ölçülmüştür ve kendi bünyesinden olan Çatalağzı 1 külü gibi ASTM 618'e ve TS 639'a F sınıfıdır.
- Soma 4.1 uçucu külünün S+A+F değeri %61.84 olarak ölçülmüştür ve ASTM C 618'e göre C sınıfı uçucu küldür.
- Soma 4.2 uçucu külünün S+A+F değeri %63.93 olarak ölçülmüştür yine Soma 4.1 uçucu külü gibi ASTM 618'e göre C sınıfına dahildir.
- Soma 6 uçucu külünün S+A+F değeri %58.03 olarak ölçülmüştür ve o da diğer Soma grubu uçucu külleri gibi ASTM C 618'e göre C sınıfına dahildir.
- Seyitömer 1 uçucu külünün S+A+F değeri % 85.00 olarak ölçülmüştür ve ASTM C 618'e ve TS 639'a göre F sınıfına dahil olmuştur.
- Seyitömer 2 uçucu külü % 87.50 olarak ölçülen S+A+F değeri ile, Seyitömer 1 uçucu külü gibi ASTM C 618'e ve TS 639'a göre F sınıfına dahildir.
- Çayırhan 1 uçucu külünün S+A+F değeri %66.81 olarak ölçülmüştür ve ASTM C 618'e göre C sınıfına dahil olmuştur.
- Çayırhan 2 uçucu külünün S+A+F değeri %67.05 olarak ölçülmüştür ve Çayırhan 1 uçucu külü gibi ASTM C 618'e göre C sınıfına dahildir.
- Tunçbilek 1 uçucu külünün S+A+F değeri ise %85.31 olarak ölçülmüştür ve ASTM C 618'e ve TS 639'a göre F sınıfına dahildir.
- Tunçbilek 2 uçucu külü de %84.97 olarak ölçülen S+A+F değeri ile yine Tunçbilek 1 uçucu külü gibi ASTM C 618'e göre F sınıfına dahildir. Her bir termik santralden sağlanan

küllerin kendi aralarındaki kimyasal özellikleri birbirlerine çok benzemektedir. Dolayısıyla bu santrallerden ünifom malzeme elde etmek mümkün olmuştur.

2) Kullanılan malzemelerin incelikleri ile ilgili olarak elde edilen bulgulara dayanarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- EN 450 ve ASTM 618 standartlarına göre uçucu küllerin incelikleri için 45µm elek üstünde kalan malzeme miktarının sırasıyla en çok %40 ve %34 olması koşulu aranmaktadır. Bu açıdan bakıldığında malzemenin inceliği açısından en düşük 45µm elek boyutundan en yüksek olana doğru sıralama yapıldığında ;
- Özgül yüzeyi 14.000.000cm²/gr olan silis dumanı tane boyutu dağılımı olarak Soma 4.1 ve Soma 6 uçucu kül numunelerine yakın olmakla beraber literatürdeki tane boyutu değerlerinden farklılıklar göstermiştir.. Deneyin defalarca tekrarlanmasına rağmen durum değişmemiştir. Malzeme morfolojisinin bunda etkisi olduğu düşünülmüştür.
- Soma 4.1 ve Soma 6 uçucu külleri %30 ve %26'lık 45µm boyut üstü değerleri ile hem EN 450'ye hem de ASTM 618 standartlarına uygundur. Bütün uçucu kül numuneleri içinde en düşük 45µm boyut üstü değerlerini bu iki atık vermiştir.
- Tunçbilek 2 uçucu külü %40 µm boyut üstü değeri ile Yalnızca EN 450'ye uygundur.
- Tunçbilek 1, Seyitömer 1, Seyitömer 2 uçucu külleri; %43'lük, 45µm boyut üstü değerleri ile EN 450'nin çok çok az altında kalmışlardır.
- Çayırhan 2 ve Çayırhan 1 uçucu külleri; %53 ile %54'lük 45µm boyut üstü değerleri ile EN 450'nin altında kalmışlardır.
- Çatalağzı 2 ve Çatalağzı 1 uçucu külleri; %67 ile %62'lik 45µm boyut üstü değerleri ile EN 450'nin altında kalmışlardır.

Ancak lazerli tane dağılım analizi ile bulunmuş olan bu sonuçlar, ıslak eleme yöntemi için verilmiş, yukarıda belirtilen standart sınırlarıyla metod bakımından farklıdır.

Bu bilgilere paralel olarak, uçucu kül 45µm boyut üstü değerlerinin basınç dayanımlarına olan etkileri şöyle sıralanabilir;

- %15 katkı oranında, 90. güne ait ölçülen en yüksek basınç dayanım değerleri, 45µm boyut üstü değerleri en düşük olan Soma 6 ve Soma 4.1 uçucu külü katkılı çimento harçlarından hazırlanan numunelerde ölçülmüştür.
- %15 katkı oranında, 90. güne ait ölçülen ve yüksekte düşüğe doğru sıralanan basınç dayanım değerleri, Tunçbilek 2, Seyitömer 1 ve 2 uçucu külleri katkılarıyla hazırlanan çimento harçlarından hazırlanan numunelerde ölçülmüştür.
- %15 katkı oranında, 90. gün basınç dayanım ölçümlerinde, Çayırhan 1 ve Çayırhan 2 uçucu külü katkısı ile hazırlanan çimento harçlarının basınç dayanım değerleri, Çatalağzı 1 ve Çatalağzı 2 uçucu külleri ile hazırlanan çimento harçları basınç dayanım değerlerinden yüksek, diğerlerinden düşüktür.

3) Uçucu kül morfolojisini genel özellikleri ile inceleyecek olursak;

- Atık çamurun mikro yapısı uçucu kül numunelerinden çok farklıdır. Malzeme şekilsizdir ve camsı bir yapıya sahiptir. Bilindiği gibi malzemenin birbiri üzerinde kayganlaştırıcı etkisi (lubricant effect) küresel formda olması ile ilgilidir. Bu nedenle işlenebilirliği de olumsuz yönde etkiler, beton iyi sıkışmaz ve boşluklu dolayısıyla mukavemeti düşük bir yapı ortaya çıkar ki bu sonuç da atık çamurun basınç dayanımı ölçümlerinde ortaya çıkmıştır.
- Silis dumanı Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de de görüldüğü gibi çok ince tane yapısına sahiptir ve mukavemeti yükseltmek ve boşluksuz bir beton üretebilmek için ideal bir malzemedir .
- Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de de görüldüğü gibi Çatalağzı 1 ve Çatalağzı 2 uçucu külünün mikroyapısı birbirine benzemektedir ve iri uçucu kül tanecikleri ile süngerimsi dokuları görülmektedir. Her ikisinin de partikül büyüklüğü birbirine çok yakın ve küresel formdadır.
- Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de de görüldüğü gibi Soma 4.1 ve Soma 6 uçucu küllerinin yapısı belirli bir formda olmayıp ince partiküllerden oluşmaktadır. Bu anlamda dayanım artırıcı etkisinin oluşu göze çarpmaktadır.
- Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de de görüldüğü gibi Seyitömer 1 ve Seyitömer 2 uçucu külünün mikroyapısı oldukça kendine özgü ve benzerdir. Şekilsiz ve süngerimsi dokusuyla su ihtiyacını artırıcı niteliktedir.

- Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de de görüldüğü gibi Çayırhan 1 ve Çayırhan 2 uçucu külleri iri ve küresel formda olup, ince küresel tanecikli uçucu küllere oranla daha boşluklu bir yapıya neden olurlar.

- Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’dan de görüldüğü gibi Tunçbilek 1 ve Tunçbilek 2 uçucu küllerinin yapısı değişik formlardadır. Bünyesinde ince malzemeyide barındırdığı için dayanım artırıcı etkisi oldukça yüksektir.

4) Kullanılan atıkların klinkere katılma oranlarının çimento harç numunelerinin basınç dayanımlarını hangi oranlarda etkilediğini irdelenecek olursak;

- 1X numunesi için %15 silis dumanı katkısı, PÇ 42.5’a göre 90. günde basınç dayanımını %22.2 oranında artırmıştır.

- 2X numunesi için %25 silis dumanı katkısı, PÇ 42.5’a göre 90. günde basınç dayanımını %25.4 oranında artırmıştır

- 3X numunesi için % 35 silis dumanı katkısı, PÇ 42.5’a göre 90. günde basınç dayanımını %28.5 oranında artırmıştır.

- 13X numunesi için %15 Soma 4.1 uçucu külü katkısı ile üretilen çimento harcının ölçülen basınç dayanımı değeri PÇ 42.5’un 90. gündeki ölçülen basınç dayanımı değerine çok yakın olup %1.8 gibi nispi bir oranda daha düşüktür.

- 16X numunesi için %15 Soma 4.1 uçucu külü katkısı ile üretilen çimento harcının ölçülen basınç dayanımı değeri PÇ 42.5’un 90. gündeki ölçülen basınç dayanımı değerine çok yakın olup, %3.6 oranında daha düşüktür.

- 19X numunesinin %15 Soma 6 uçucu külü katkısı PÇ 42.5’a göre 90. günde basınç dayanımı değerine çok yakın olup, %2.1 gibi nispi bir oranda daha yüksektir

- 37X numunesi için %15 Tunçbilek 1 uçucu külü katkısı ile üretilen çimento harcının ölçülen basınç dayanımı değeri PÇ 42.5’un 90. gündeki ölçülen basınç dayanımı değerine çok yakın olup %3.8 gibi nispi bir oranda daha düşüktür.

Kullanılan atık çamurun ise mukavemet yükseltici özelliği iyi değildir ancak, silis dumanı ve uçucu küllerle karıştırılarak kullanılması sayesinde olumlu sonuçlar alınmıştır.

KAYNAKLAR

ACI Committee 226, (1987), “ Use of Fly Ash in Concrete”, ACI Materials Journal, V.83, No.5, pp.381-409.

Aitcin, F.A., Carles-Gibergues, A., Vaquier, A., (1986), “ Comparatie Study of the Cementitious Properties of Different Fly Ashes”, Proceedings, 2nd International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, V:1, pp. 91-114.

Berry, E.E., Malhotra, V.M., (1987), “ Fly Ash in Concrete”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp.35-163.

Berry, E.E., Malhotra, V.M., (1984), “ Fly Ash in Concrete”, CANMET Rept. 84-156 (Advance Copy), pp. 247

Berry, E.E., Malhotra, V.M., (1980), “ Fly Ash For Use in Concrete A Critical Review”, ACI Journal, V.76, No.2, pp.59-73

Chindaprasirt, P., Ruangsiriyakul, S., Cao, H.T., Bucea, L., (2001), “ İ nfluence of Mae Moh Fly Ash Fineness on Characteristics, Strength and Drying Shrinkage Development of Blended cement Mortars”, The Eight East Asia-Pasific Conference on Structural Engineering and Construction, Singapore, p.6, Paper no. 1191.

Cook, J.E., (1982), “ Research and Application of High-Strength Concrete Using Class C Fly Ash”, Concrete International, 4:72-80.

Dhir, R.K., (1986), “ Pulverized Fuel Ash”, Cement Replacement Materials (Ed.R.N.Swamy), pp.197-255.

Dhir, R.K., Munday, S.G.L., Ong, L.T., (1984), “ Investigations of the Engineering Properties of OPC/pfa Concrete, Strength Development and Maturity”, Proceedings, Institute of Civil Engineers, V.77,Part 2, pp.239-254.

Douglas, E., Malhotra, V.M., (1987), “ A Review of the Strength Development of Non-Ferrous Slags-Portland Cement Binders”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp.371-428.

EİE, (1979), “ Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları”, Elektrik İşleri Etüd Dairesi Genel Direktörlüğü, Yayın No. 81-45,164pp.

EİE, (1982), (1982), “ Türkiye Uçucu Külleri (Üretim, Kullanım Alanları, Sorunlar, Öneriler)”, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü, Yayın No.82-19, 15pp.

Erdoğan-I, T.Y., (1995), “ Türkiye’de Üretilen Çimentolar, Özellikleri ve Kullanımları, Çimento Sempozyumu, Ankara.

Erdoğan, K., Türker, P., (1998), “ Effects of Particle Size on Strength of Portland Cement Fly Ash Mortars”, Cement and Concrete Research, 28:1217-1222.

Hooton, R.D., (1987), “ The Reactivity and Hydration Product of Blast Furnace Slag”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp.245-288.

Joshi, R.C., (1982), “ Effect of Coarse Fraction of Fly Ash on Concrete Properties!!”, Proceedings, Sixth International Symposium on Fly Ash Utilization, Reno, Nevada, pp.77-85.

Kocaçitak, S., (1978), Çimento ve Deneyleri, D.S.İ Basım ve Foto Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara.

Lamond, J.F., (1983), “Twenty-Five Years Experience Using Fly Ash in Concrete”, Proceedings, 1st International Conference on the Use of Fly Ash, silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, Montebella, V.1, pp.47-70.

Lane, R.O., Best, J.F., (1982), “ Properties and Use of Fly Ash in Cement Concrete”, Concrete International, V.4, No.7, pp.81-92.

Lea, F.M., (1972), “ The Chemistry of Cement and Concrete”, London.

Lee, S.H., Sakai, E., Diamond, M., Bang, W.K., (1999), “ Characterization of Fly Ash Directly from Electrostatic Precipitator”, Cement and Concrete Research, 29: 1791-1797.

Malhotra, V.M., (1987), “ Properties of Fresh and Hardened Concrete Incorporating Ground Granulated, Blast Furnance Slag”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp. 289-334.

Massazza, F., (1989), “ Puzolanlar”, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

Mehta, P.K., (1987), “ Natural Pozzolans”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp.1-33.

Mehta, P.K., (1983), “ Pozzolan and Cementitious By-Products as Mineral Admixtures for Concrete-a Critical Review”, Proceedings, 1st International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, Montebella, V.1, pp.1-46.

Monk, M., (1983), “ Portland-pfa Cement A Comparison Between Intergrinding and Blending”, Magazine of Concrete Research, 35:131-141.

Özturan, T., (1991), “ Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği”, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.

Postacıoğlu, B., (1975), “ Yapı Malzemesi Dersleri, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Price, G.C., (1961), “ Investigation of Concrete Materials for the South Saskatchewan River Dam”, Proceedings, ASTM, V.61, pp.1155-1179.

Ravina, D., (1981), “ Production and Collection of Fly Ash for Use in Concrete”, Proceedings, Symposium on Fly Ash Incorporation in Hydrated Cement Systems, Materials Research Society, Boston, p.2-11

Samarn, A., Munn, R.L., Ashby, J.B., (1983), “ The Use of Fly Ash in Concrete-Australian Experience”, Proceedings, 1st International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, slag and Other Mineral By-Products in Concrete, Montebella, V.1, pp.143-172.

Sellevoid, E.J., Nilsen, T., (1987), “ Condensed Silica Fume: A World Review”, in Supplementary Cementing Materials for Concrete, ACI Special Publication SP86-8E, pp.165-243.

Şanbaşoğlu, N., (1997), “ Çimento Hakkında Genel Bilgi”, Çimento Dergisi.

Temiz, H.,Karakeçi, A:Y., (2002), “ An investigation on Microstructure of Cement Paste Containing Fly ash and Silica Fume”, Cement and Concrete Research, 32: 1131-1132.

Tonak, T., (1995), “ Çimento Standartları”, Çimento Sempozyumu, Ankara.

TS EN 450 ,“Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol”, Türk Standartları Enstitüsü

Uchikawa, H., Uchida, S., Ogawa, K., (1982), “ Influence of the Properties of Fly Ash on the Fluidity and structure of Fly Ash Cement Paste”, Proceedings, International Symposium on the Use of PFA in Concrete, University of Leeds, England, pp.83-95.

Yeğinobalı, A., (2002), “ Silis Dumanı İle Çimento ve Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge, Y01.01.



EKLER

- Ek 1 Curve Expert 1.3 Programı ve Basınç Dayanımlarına Uygulanması
Ek 2 Programın Çalıştırılması



EK 1**CURVE EXPERT 1.3 PROGRAMI ve BASINÇ DAYANIMLARINA UYGULANMASI**

Amaç: Çimento numunelerinin 2, 7, 28, 56 ve 90.günlerde ölçülen basınç dayanımlarından zamana karşı oluşturulan grafikleri bir fonksiyon olarak tanımlamak ve basınç dayanımları ölçülmemiş kür günlerinin fonksiyona göre aldığı basınç dayanımı değerlerini elde edebilmek amacıyla CurveExpert 1.3 adlı program kullanılmıştır. Bu sayede ölçülmemiş basınç dayanımı değerlerinin hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir yani tespit edilen dayanımların dışındaki değerlerin değişimleri deney yapılmadan gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ayrıca ülkemizde faaliyet gösteren 5 farklı termik santralden temin edilen uçucu küllerin ve silis dumanının, uygun olduğu modellerin detaylı bir şekilde çıkarılması, bu atıklarla ilgili ileriye dönük çalışmalarda büyük kolaylık sağlayacaktır.

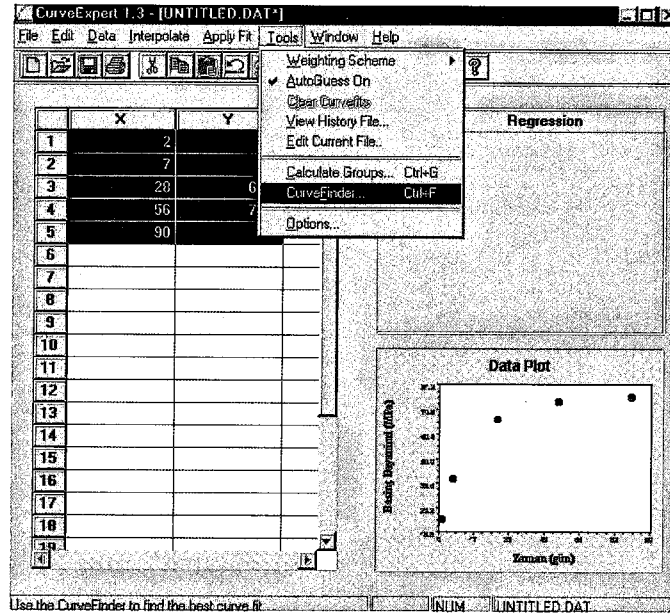
CurveExpert 1.3 programı 9 adet model grubu içermektedir. Bu çalışmadaki grafiklerin en çok uygun olduğu modeller Modifieye edilmiş Hoerl, Buhar Basıncı, MMF, Weibull ve Rasyonel Fonksiyon'dur. 36X ve 39X kodlu numunelerin dışında kalan bütün uçucu küllü çimento harç numuneleri; Modifieye edilmiş Hoerl ve Buhar Basıncı modeline uymaktadır. Silis dumanı MMF modele, atık çamur ise Rasyonel Fonksiyon'a uygundur. Kullanılan model detayları her bir çimento harç numunesi oranları için verilmiştir. Modellerin içerdiği fonksiyonlara göre 2, 7, 28, 56, 90 günlük dayanımların dışında 180 ve 360. gün dayanımları da programa hesaplatılmıştır.

“ r sayısı ”

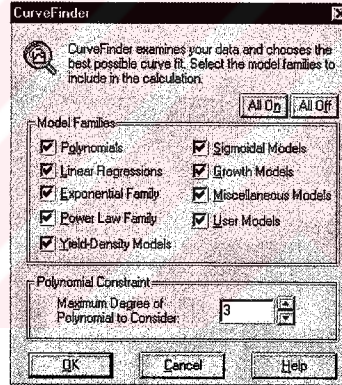
Bu değer korelasyon katsayısıdır. Gerçek basınç dayanımı değerleri ile programın hesapladığı basınç dayanımı değerleri arasındaki doğruluğu göstermektedir. Bu sayı 1 değerine ne kadar yakınsa model o nispette uygundur.

Her bir çimento harç numunesi için; gerçek basınç dayanım değerleri, en uygun olduğu modele ait basınç dayanımı değerleri ve “ r ” sayısına göre sırasıyla en uygun olduğu model basınç dayanımı değerleri ile ikinci en uygun olan modelin programa hesaplatılan basınç dayanım değerleri Çizelgelerde sunulmuştur. Örnek olması açısından yalnızca 1X kodlu karışımın program çıktıları verilmiştir.

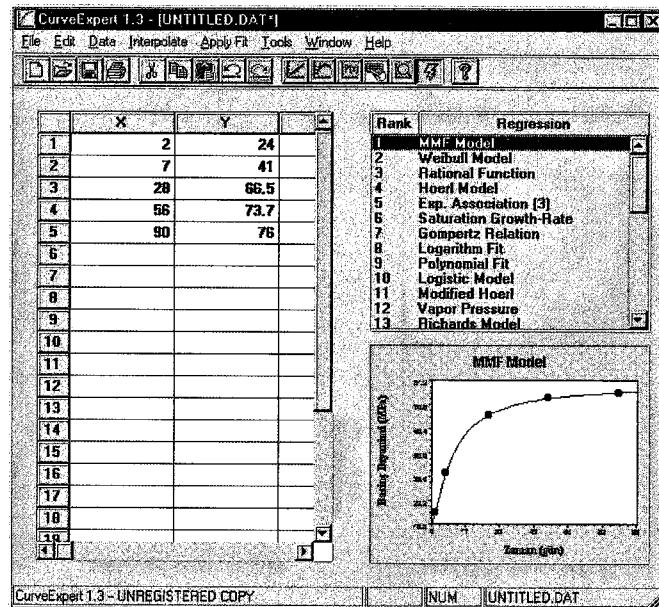
Programın Çalıştırılması



Fonksiyon dereceleri bütün modellerde 3 olarak seçilmiştir.



“ r ” sayısına göre uygun modellerin seçimi



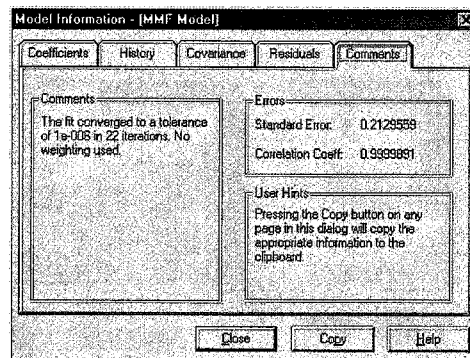
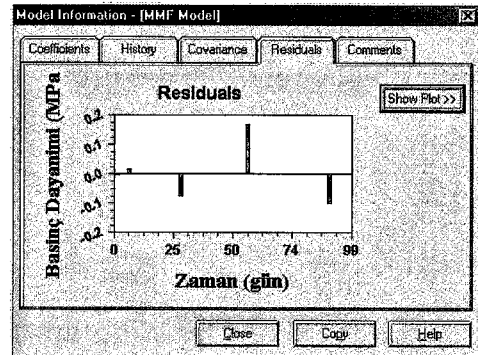
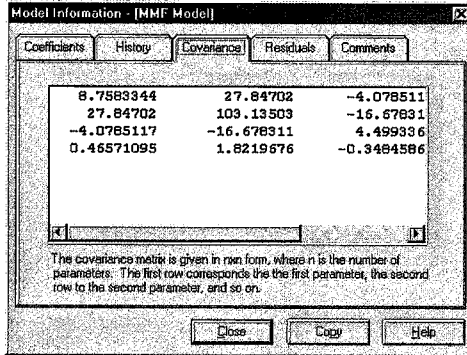
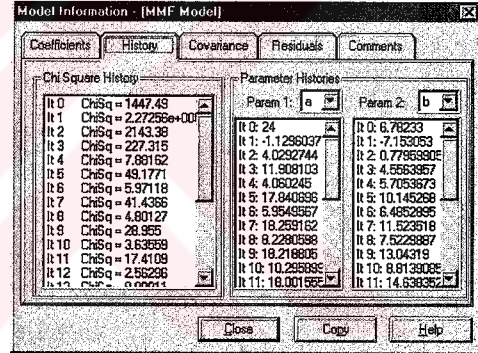
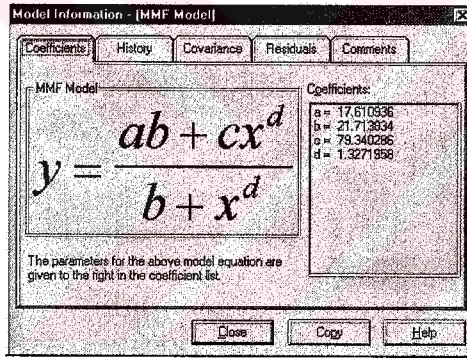
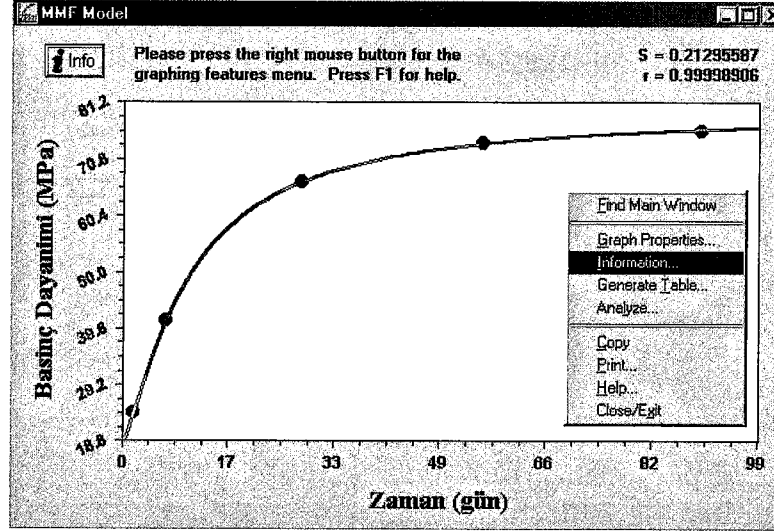
“ r ” sayısına göre en uygun model: MMF

Numune kodu: 1X

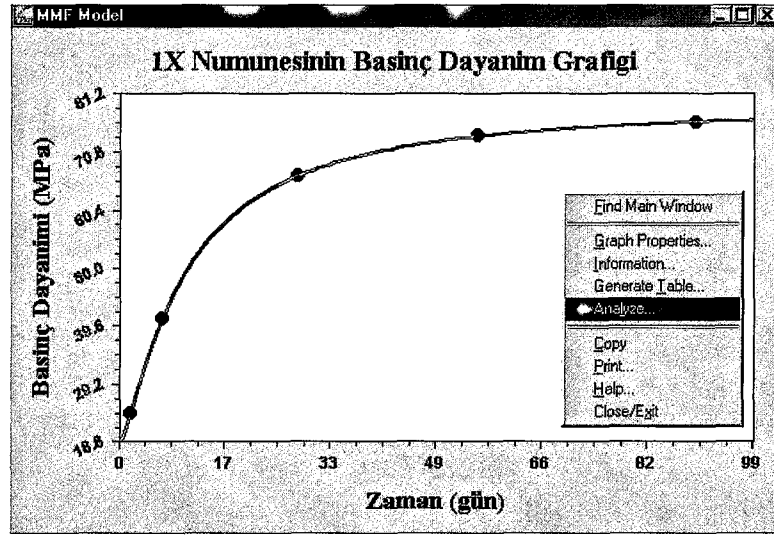
“ r ” sayısına göre diğer uygun model: Weibull

MMF MODEL

- MMF Model Detayları;



- **MMF Modele Göre Basınc Dayanım Sonuçları**



2, 7, 28, 56 ve 90. Günlere Ait Basınc Dayanım Sonuçları:

Analyze - [MMF Model]

Find $y=f(x)$ Find $x=f(y)$ Differentiate Integrate ArcLength

Given the X value, find the value of the model at that location.

Locate a Y value, $y=f(x)$

At X = 2 Y = 24.0052

Calculate Close Help

Analyze - [MMF Model]

Find $y=f(x)$ Find $x=f(y)$ Differentiate Integrate ArcLength

Given the X value, find the value of the model at that location.

Locate a Y value, $y=f(x)$

At X = 7 Y = 40.9838

Calculate Close Help

Analyze - [MMF Model]

Find $y=f(x)$ Find $x=f(y)$ Differentiate Integrate ArcLength

Given the X value, find the value of the model at that location.

Locate a Y value, $y=f(x)$

At X = 28 Y = 66.5768

Calculate Close Help

Analyze - [MMF Model]

Find $y=f(x)$ Find $x=f(y)$ Differentiate Integrate ArcLength

Given the X value, find the value of the model at that location.

Locate a Y value, $y=f(x)$

At X = 56 Y = 73.5311

Calculate Close Help

Analyze - [MMF Model]

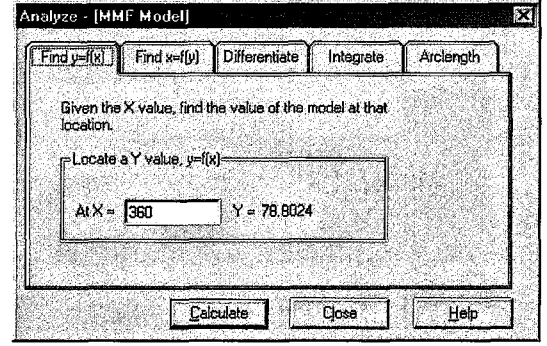
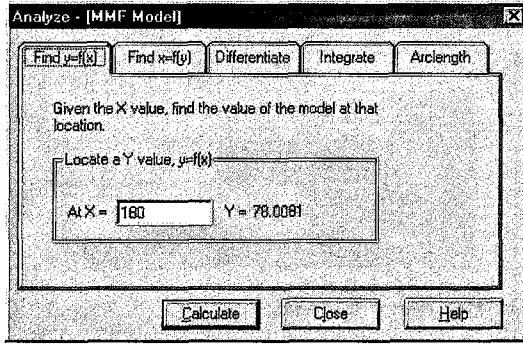
Find $y=f(x)$ Find $x=f(y)$ Differentiate Integrate ArcLength

Given the X value, find the value of the model at that location.

Locate a Y value, $y=f(x)$

At X = 90 Y = 76.1031

Calculate Close Help

180 ve 360. Günlere Ait Basınc Dayanım Sonuçları:

EK 2**KARIŞIM NUMUNELERİNE AİT GERÇEK BASINÇ DAYANIMLARI VE UYGUN MODELLERİN BASINÇ DAYANIMLARI**

Çizelge Ek 2.1 Numune kodu 1X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			24.0	41.0	66.5	73.7	76.0	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		24.0	41.0	66.6	73.5	76.1	78.0	78.8	0.99998906
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)		24.0	41.1	66.4	74.0	75.9	76.4	76.4	0.99998002

Çizelge Ek 2.2 Numune kodu 2X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			23.2	39.0	67.6	75.3	78	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		23.2	39.0	67.6	75.3	78.0	79.8	80.5	0.99999990
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)		23.2	39.1	67.3	75.8	77.7	78.0	78.0	0.99989483

Çizelge Ek 2.3 Numune kodu 3X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			20.9	39.5	68.6	75.7	79.9	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.9	39.6	68.3	76.4	79.5	81.8	82.8	0.99985104
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.8	39.7	68.0	76.8	79.3	80.1	80.1	0.99960477

Çizelge Ek 2.4 Numune kodu 4X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			23.8	39.7	51.1	52.1	55.5	-	-	-
En Uygun Model	Rasyonel Fonksiyon Model Basınç Dayanımı (Mpa)		23.8	39.9	50.3	53.2	55.1	58.7	65.8	0.99843038
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		23.8	39.8	50.4	53.4	54.8	56.2	57.1	0.99805388

Çizelge Ek 2.5 Numune kodu 5X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.4	36.5	45.0	45.8	48.3	-	-	-
En Uygun Model	Rasyonel Fonksiyon Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.4	36.6	44.5	46.6	48.0	51.0	57.3	0.99913988
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.4	36.5	44.7	46.7	47.7	48.5	49.1	0.99876689

Çizelge Ek 2.6 Numune kodu 6X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.4	36.5	45.0	45.8	48.3	-	-	-
En Uygun Model	Rasyonel Fonksiyon Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.4	36.6	44.5	46.6	48.0	51.0	57.3	0.99913988
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.4	36.5	44.7	46.7	47.7	48.5	49.1	0.99876689

Çizelge Ek 2.7 Numune kodu 7X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			17.4	32.0	43.6	48.5	52.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		17.4	32.0	43.6	48.6	52.0	57.0	62.4	0.99999516
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		17.4	32.0	43.6	48.6	52.0	57.0	62.4	0.99999516

Çizelge Ek 2.8 Numune kodu 8X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			14.4	26.4	37.0	42.1	46.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		14.4	26.3	37.0	42.2	45.9	51.6	57.8	0.99997318
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		14.4	26.3	37.0	42.2	45.9	51.6	57.8	0.99997318

Çizelge Ek 2.9 Numune kodu 9X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			10.9	21.1	30.5	35.3	39	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	21.0	30.6	35.4	38.9	44.4	50.5	0.99995042
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	21.0	30.6	35.4	38.9	44.4	50.5	0.99995042

Çizelge Ek 2.10 Numune kodu 10X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.0	35.0	46.0	52.0	54.6	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.1	34.7	46.6	51.5	54.8	59.6	64.6	0.99959950
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.1	34.7	46.6	51.5	54.8	59.6	64.6	0.99959950

Çizelge Ek 2.11 Numune kodu 11X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			15.5	29.0	41.0	47.0	51.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.5	29.0	41.1	46.9	51.0	57.4	64.4	0.99998909
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.5	29.0	41.1	46.9	51.0	57.4	64.4	0.99998909

Çizelge Ek 2.12 Numune kodu 12X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		10.7	22.0	31.4	38.1	41.7	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	10.9	21.5	32.2	37.7	41.7	48.2	55.4	0.99916799
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	10.9	21.5	32.2	37.7	41.7	48.2	55.4	0.99916799

Çizelge Ek 2.13 Numune kodu 13X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		19.7	36.0	50.0	56.5	61.1	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	19.7	36.0	50.0	56.5	61.1	68.1	75.6	0.99999947
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	19.7	36.0	50.0	56.5	61.1	68.1	75.6	0.99999947

Çizelge Ek 2.14 Numune kodu 14X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		18.1	35.5	49.0	56.0	58.6	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	18.1	35.6	49.3	55.2	59.1	64.9	71.0	0.99953870
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	18.1	35.6	49.3	55.2	59.1	64.9	71.0	0.99953870

Çizelge Ek 2.15 Numune kodu 15X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		14.6	29.5	42.1	47.3	51	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	14.6	29.6	42.0	47.4	51.0	56.5	62.3	0.99998291
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	14.6	29.6	42.0	47.4	51.0	56.5	62.3	0.99998291

Çizelge Ek 2.16 Numune kodu 16X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			20,2	38.7	51.9	57.0	60.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.2	38.8	51.9	56.9	60.1	64.7	69.4	0.99998703
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.2	38.8	51.9	56.9	60.1	64.7	69.4	0.99998703

Çizelge Ek 2.17 Numune kodu 17X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			16.1	33.5	46.1	54.2	56.1	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.2	33.3	47.0	52.8	56.7	62.5	68.6	0.9985657
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.2	33.3	47.0	52.8	56.7	62.5	68.6	0.9985657

Çizelge Ek 2.18 Numune kodu 18X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			12.7	28.3	40.3	49.2	52.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		13.0	28.1	41.7	48.0	52.4	59.1	66.4	0.99801148
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		13.0	28.1	41.7	48.0	52.4	59.1	66.4	0.99801148

Çizelge Ek 2.19 Numune kodu 19X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			20.8	42.2	53.8	61.5	63.5	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		21.1	41.4	55.3	60.4	63.7	68.3	72.8	0.99829040
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		21.1	41.4	55.3	60.4	63.7	68.3	72.8	0.99829040

Çizelge Ek 2.20 Numune kodu 20X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			17.0	36.2	48.0	57.0	58.1	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		17.2	35.6	49.6	55.2	58.8	64.1	69.6	0.9970721
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		17.2	35.6	49.6	55.2	58.8	64.1	69.6	0.9970721

Çizelge Ek 2.21 Numune kodu 21X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			11.0	29.0	44.0	49.5	53.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	29.1	43.9	49.5	53.1	58.2	63.3	0.99998035
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	29.1	43.9	49.5	53.1	58.2	63.3	0.99998035

Çizelge Ek 2.22 Numune kodu 22X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.7	39.0	51.8	56.8	58.8	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.7	39.1	51.9	56.4	59.1	62.9	66.6	0.99985719
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.7	39.1	51.9	56.4	59.1	62.9	66.6	0.99985719

Çizelge Ek 2.23 Numune kodu 23X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			16.1	31.5	44.0	49.5	52.5	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.0	31.6	44.0	49.2	52.7	57.9	63.4	0.99991375
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.0	31.6	44.0	49.2	52.7	57.9	63.4	0.99991375

Çizelge Ek 2.24 Numune kodu 24X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			12.0	23.0	32.0	36.8	40.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		12.1	22.8	32.3	36.8	39.9	44.8	50.1	0.99986837
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		12.1	22.8	32.3	36.8	39.9	44.8	50.1	0.99986837

Çizelge Ek 2.25 Numune kodu 25X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.0	36.8	49.5	54.2	57.2	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.0	36.9	49.5	54.3	57.4	61.7	66.2	0.99996246
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.0	36.9	49.5	54.3	57.4	61.7	66.2	0.99996246

Çizelge Ek 2.26 Numune kodu 26X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			16.5	30.4	42.0	47.0	50.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.4	30.6	41.9	46.8	50.2	55.2	60.5	0.99992849
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		16.4	30.6	41.9	46.8	50.2	55.2	60.5	0.99992849

Çizelge Ek 2.27 Numune kodu 27X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			11.6	22.3	32.2	36.7	39.8	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.6	22.4	32.1	36.7	39.9	44.8	50.2	0.99996878
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.6	22.4	32.1	36.7	39.9	44.8	50.2	0.99996878

Çizelge Ek 2.28 Numune kodu 28X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			20.8	37.0	48.0	52.5	55.2	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.8	36.9	48.1	52.4	55.2	59.2	63.3	0.99998731
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		20.8	36.9	48.1	52.4	55.2	59.2	63.3	0.99998731

Çizelge Ek 2.29 Numune kodu 29X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			15.7	29.2	40.5	45.6	49.2	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.7	29.1	40.5	45.6	49.2	54.6	60.3	0.99999892
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.7	29.1	40.5	45.6	49.2	54.6	60.3	0.99999892

Çizelge Ek 2.30 Numune kodu 30X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			10.6	23.0	34.0	40.5	44.5	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		10.7	22.7	34.4	40.3	44.5	51.2	58.6	0.99977881
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		10.7	22.7	34.4	40.3	44.5	51.2	58.6	0.99977881

Çizelge Ek 2.31 Numune kodu 31X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			19.9	36.3	47.5	51.4	54.0	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.9	36.4	47.4	51.5	54.0	57.6	61.3	0.99998689
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		19.9	36.4	47.4	51.5	54.0	57.6	61.3	0.99998689

Çizelge Ek 2.32 Numune kodu 32X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		15.1	29.0	40.5	45.2	48.7	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.1	29.1	40.4	45.3	48.7	53.7	59.0	0.99997837
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.1	29.1	40.4	45.3	48.7	53.7	59.0	0.99997837

Çizelge Ek 2.33 Numune kodu 33X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		10.7	21.7	32.0	36.6	40.8	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	10.7	21.6	31.9	37.0	40.6	46.2	52.5	0.99983320
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	10.7	21.6	31.9	37.0	40.6	46.2	52.5	0.99983320

Çizelge Ek 2.34 Numune kodu 34X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		20.7	37.5	47.7	53.9	56.6	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	20.9	36.9	48.6	53.4	56.6	61.2	66.0	0.99913339
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	20.9	36.9	48.6	53.4	56.6	61.2	66.0	0.99913339

Çizelge Ek 2.35 Numune kodu 35X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		15.7	30.0	42.5	48.5	52.5	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.7	30.0	42.5	48.4	52.5	58.9	65.7	0.99999462
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.7	30.0	42.5	48.4	52.5	58.9	65.7	0.99999462

Çizelge Ek 2.36 Numune kodu 36X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		11.7	23.5	36.9	43.4	48.0	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)	11.7	23.5	36.8	43.5	47.0	54.4	60.7	0.99999418
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)	11.7	23.5	36.9	43.5	47.9	54.1	59.8	0.99998824

Çizelge Ek 2.37 Numune kodu 37X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		19.4	39.0	52.0	57.0	59.9	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	19.4	38.9	52.1	56.9	59.9	64.1	68.2	0.99998264
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	19.4	38.9	52.1	56.9	59.9	64.1	68.2	0.99998264

Çizelge Ek 2.38 Numune kodu 38X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			18.2	35.1	45.9	54.5	55.2	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		18.3	34.7	47.3	52.6	56.1	61.3	66.7	0.99653191
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		18.3	34.7	47.3	52.6	56.1	61.3	66.7	0.99653191

Çizelge Ek 2.39 Numune kodu 39X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			14.1	28.4	39.6	48.9	51.8	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		14.3	27.8	40.9	47.5	52.3	59.8	68.2	0.99778598
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		14.3	27.8	40.9	47.5	52.3	59.8	68.2	0.99778598

Çizelge Ek 2.40 Numune kodu 40X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			11.0	25.0	38.0	44.0	48.3	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	25.0	38.0	44.0	48.3	54.8	62.0	0.99999876
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.0	25.0	38.0	44.0	48.3	54.8	62.0	0.99999876

Çizelge Ek 2.41 Numune kodu 41X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			11.1	27.9	44.3	55.3	58.0	-	-	-
En Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.1	27.5	45.5	53.7	58.7	64.8	69.5	0.99847381
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		11.2	27.6	45.4	53.6	58.8	65.4	71.2	0.99843972

Çizelge Ek 2.42 Numune kodu 42X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			13.1	27.8	47.3	53.0	55.9	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		13.1	27.8	47.2	53.2	55.8	58.0	59.1	0.99997402
Diğer Uygun Model	Rasyonel Fonksiyon Model Basınç Dayanımı (Mpa)		13.1	27.9	47.1	53.3	55.8	57.3	56.3	0.99994623

Çizelge Ek 2.43 Numune kodu 43X

		Gün	2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)			15.1	31.1	55.5	61.9	64.2	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.1	31.1	55.5	61.9	64.2	65.9	66.5	1.00000000
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)		15.1	31.2	55.3	62.3	64.0	64.4	64.4	0.99993521

Çizelge Ek 2.44 Numune kodu 44X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		16.4	35.0	60.0	66.0	69.0	-	-	-
En Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)	16.4	35.0	59.8	66.4	68.8	70.6	71.4	0.99995371
Diğer Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)	16.4	35.1	59.6	66.7	68.6	69.3	69.3	0.99982344

Çizelge Ek 2.45 Numune kodu 45X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		12.6	29.5	43.0	46.6	47.8	-	-	-
En Uygun Model	Weibull Model Basınç Dayanımı (Mpa)	12.6	29.5	43.0	46.5	47.8	48.7	48.9	0.99999665
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)	12.6	29.5	43.1	46.5	47.9	49.1	49.8	0.99998299

Çizelge Ek 2.46 Numune kodu 46X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		13.7	33.4	48.8	53.1	55.3	-	-	-
En Uygun Model	Rasyonel Fonksiyon Model Basınç Dayanımı (Mpa)	13.7	33.4	48.8	53.1	55.3	58.8	64.2	0.99999875
Diğer Uygun Model	MMF Model Basınç Dayanımı (Mpa)	13.7	33.4	48.8	53.2	55.3	57.3	58.5	0.99999572

Çizelge Ek 2.47 Numune kodu 47X

Gün		2	7	28	56	90	180	360	“ r ” sayısı
Gerçek Basınç Dayanımı (Mpa)		15.4	35.5	51.0	57.4	61.7	-	-	-
En Uygun Model	Modifiye Hoerl Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.5	35.4	51.1	57.5	61.6	67.6	73.9	0.99998050
Diğer Uygun Model	Buhar Basıncı Model Basınç Dayanımı (Mpa)	15.5	35.4	51.1	57.5	61.6	67.6	73.9	0.99998050

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	03.04.1968	
Doğum Yeri	Trabzon	
Lise	1981 – 1984	Vakfikebir Lisesi
Lisans	1984 – 1991	İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fak., Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995 – 1999	İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Müh. Anabilim Dalı, Proses ve Reaktör Tasarımı Programı
Çalıştığı Kurum	1995 – devam ediyor	İstanbul Üniversitesi, Müh. Fak, İnşaat Müh.Böl., Araştırma Görevlisi

