

139783

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIRLI YER VE DUVAR KAROSU ATIKLARININ
ÇİMENTO SANAYİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

139783

Kimya Yük. Müh. Zehra Gülten ALTIN

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 6 Ocak 2004

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Seyfettin Erturan (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ahmet Aydın (İÜ)

: Prof. Dr. Güldem Üstün (İTÜ)

İSTANBUL, 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN İŞLERİ MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Sır	1
1.2 Seramik Sırların Sınıflandırılması	3
1.2.1 Bileşimlerine göre sırların sınıflandırılması	3
1.2.2 Üretim türüne göre sırların sınıflandırılması	3
1.3 Genel Olarak Sırların Sınıflandırılması	3
1.4 Sırlama Yöntemleri	3
1.5 Sırların Renklendirilmelerine Etki Eden Faktörler	5
1.6 Sırların Renklendirilmesinde Kullanılan Oksitler	5
2. SERAMİĞİN TARİHÇESİ	8
2.1 Anadolu'da Seramik	8
2.2 Türkiye'de Seramik Endüstrisi Gelişimi ve Bugünkü Durumu	9
2.3 Değişik Bölgelerde Yer ve Duvar Karosu Üretimi Yapan Fabrikalarda Durum..	10
3. ÇİMENTONUN TARİHÇESİ VE TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜ	12
3.1 Çimentonun Tarihçesi	12
3.2 Türkiye'de Çimento Sektörü	14
3.3 Çimento Çeşitleri	15
3.3.1 Portland çimentosu	15
3.3.1.1 Normal portland çimentosu	15
3.3.1.2 Sertleşme ısısı orta derecede ve sülfatlı sulara dayanıklı portland çimentosu.....	15
3.3.1.3 Erken sertleşen yüksek sağlamlığa sahip çimentolar.....	15
3.3.1.4 Düşük ısılı portland çimentoları	15
3.3.1.5 Sülfatlı sulara dirençli portland çimentoları	16
3.3.2 Puzolan çimentosu	16
3.3.3 Yüksek alüminalı çimentolar	16
3.3.4 Özel veya korozyona dayanıklı çimentolar ve harçlar.....	16
3.3.5 Kontrollü çimento.....	16

3.4	Çimentonun Kimyası ve Yapısı.....	16
3.5	Çimento Üretimi	17
3.5.1	Yaş sistem.....	18
3.5.2	Kuru sistem.....	18
3.5.3	Çimento üretiminde yaş ve kuru sistem karşılaştırılması	18
3.5.3.1	Kireç grubu	19
3.5.3.2	Puzolan grubu	19
3.5.3.3	Çimentolar	19
4.	PORTLAND ÇİMENTOSUNUN YAPISI VE KİMYASI.....	21
4.1	Portland Çimentosu Klinkerinin Yapısı.....	21
4.2	Portland Çimentosunun Kimyasal Bileşimi.....	21
4.3	Silikat Modülü	22
4.4	Alümina-Demir Oksit Oranı (Alümina Modülü).....	22
4.5	Kireç Doygunluk Faktörü (LSF)	23
4.5.1	Manganez.....	23
4.5.2	Titanyum.....	23
4.5.3	Fosfor	23
4.5.4	Magnezyum Oksit.....	24
4.5.5	Kükürt trioksit.....	24
4.5.6	Kızdırma Kaybı	24
4.5.7	Alkaliler	25
5.	PUZOLANLAR.....	26
5.1	Doğal ve Suni Puzolanların Sınıflandırılması	27
5.2	Puzolanik Aktivite	30
5.3	Kireç- Puzolan Reaksiyonunun Mekanığı	30
5.4	Puzolanik Aktivitenin Değerlendirilmesi	31
5.5	Puzolanlı Çimentolar	31
5.6	Puzolan İçeren Çimentoda Gerçekleşen Reaksiyonlar	33
5.7	Puzolanik Reaksiyon Tepkime Mekanizması.....	33
5.8	Tepkime Ürünleri.....	35
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
6.1	Kullanılan Malzemeler	36
6.2	Kullanılan Cihazlar	37
6.3	Numune Hazırlama.....	37
6.3.1	Puzolanik aktivite deney numunesinin hazırlanması.....	37
6.3.2	Mukavemet deney numunelerinin hazırlanması	38
6.4	Yapılan Deneyler	38
6.4.1	Puzolanik Aktivite deneyi	38
6.4.2	Normal Kıvam Tayini.....	38
6.4.3	Priz başlama ve sona erme süreleri.....	39
6.4.4	Hacim genleşme deneyi.....	39
6.4.5	Tane büyüklüğü tayini	39
6.4.6	Yoğunluk tayini	40
6.4.7	Özgül yüzey tayini	40
6.4.8	Mukavemet deneyleri	41
6.5	Deney Sonuçları.....	41

6.5.1	Puzolanik aktivite deney sonuçları	41
6.5.2	Priz başlama ve sona erme sürelerinin tayin sonuçları	41
6.5.3	Hacim genleşme tayin sonuçları	41
6.5.4	Tane büyüklüğü tayini deney sonuçları	41
6.5.5	Yoğunluk tayin sonuçları	42
6.5.6	Özgül yüzey tayin sonuçları	42
6.5.7	Mukavemet deney sonuçları	42
7.	MATEMATİKSEL MODELLEME	76
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
	KAYNAKLAR	95
	ÖZGEÇMİŞ	99



SİMGE LİSTESİ

β	Beta
γ	Gama
μm	Mikrometre
C_3A	($3CaO \cdot Al_2O_3$) Trikalsiyum alüminat
C_2F	Dikalsiyum ferrit
C_2S	($2CaO \cdot SiO_2$) Dikalsiyum silikat
C_3S	($3CaO \cdot SiO_2$) Trikalsiyum silikat
C_4AF	($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) Tetrakalsiyum alüminoferrit



KISALTMA LİSTESİ

A	Toplam
ALM	Alümina Modülü
D	Devlet
BET	Spesifik Yüzey Alanı
C	Özel
ÇK	Çözünmez Kalıntı
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
KK	Kızdırma Kaybı
KLN	Klinker
KZÇ	Kompoze Çimento
LSF	Kireç Doygunluk Faktörü
MÖ	Milattan Önce
MS	Milattan Sonra
PCC	Portland Curufllu Çimento
PÇ	Portland Çimentosu
PKÇ	Portland Kompoze Çimento
PLÇ	Portland Kalkerli Çimento
PSFÇ	Portland Silika Füme Çimento
PZÇ	Puzolanik Çimento
RO	Bazik Oksit
RO ₂	Asit Oksit
R ₂ O ₂	Amfoter Oksit
SAM	Sırlı Atık Malzeme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
S/R	Silikat Modülü
TR	Tras
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1 Doğal ve suni puzolanların sınıflandırılması.....	29
Şekil 5.2 Puzolanik tepkime mekanizması.....	34
Şekil 6.1 PÇ 42.5 çimentosunun 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri.....	51
Şekil 6.2 Değişik konsantrasyonlarda PÇ ve TR karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri.....	52
Şekil 6.3 Değişik konsantrasyonlarda PÇ ve SAM karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri.....	52
Şekil 6.4 Değişik konsantrasyonlarda PÇ, TR ve SAM karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri.....	53
Şekil 6.5 SAM difraktogramı.....	54
Şekil 6.6 Sırlı atık malzemenin SEM fotoğrafı.....	55
Şekil 6.7 Sırlı atık malzemenin tanecik dağılım analiz sonucu.....	55
Şekil 6.8 Portland çimentosunun SEM fotoğrafı.....	56
Şekil 6.9 Portland çimentosunun tanecik dağılım analiz sonuçları.....	57
Şekil 6.10 Trasin SEM fotoğrafı.....	58
Şekil 6.11 Trasin tanecik dağılım analiz sonuçları.....	58
Şekil 6.12 Değişik konsantrasyonlarda SAM ve PÇ'nin SEM fotoğrafları.....	59
Şekil 6.12 Değişik konsantrasyonlarda SAM ve PÇ'nin SEM fotoğrafları.....	60
Şekil 6.13 % 5 SAM + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	60
Şekil 6.14 % 10 SAM + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	61
Şekil 6.15 % 20 SAM + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	62
Şekil 6.16. Değişik konsantrasyonlarda TR + PÇ'nin SEM fotoğrafları.....	64
Şekil 6.17 % 5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	65
Şekil 6.18 % 10 TR + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	66
Şekil 6.19 % 20 TR + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	67
Şekil 6.20 Değişik konsantrasyonlarda SAM + PÇ + TR'nin SEM fotoğrafları.....	68
Şekil 6.21 % 2.5 SAM + % 2.5 TR +% 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	69
Şekil 6.22 % 5 SAM + % 5 TR +% 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	70
Şekil 6.23 % 10 SAM + % 10 TR +% 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	71
Şekil 6.24 % 15 SAM + % 15 TR +% 70 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları.....	72
Şekil 6.25 Sırlı atık malzemenin SEM spektrumu.....	74
Şekil 6.26 Sırlı atık malzemenin SEM'den çıkan analiz sonuçları.....	75
Şekil 7.1 Portland çimentosuna % 5, 10, 20 TR ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar.....	88
Şekil 7.2 Portland çimentosuna % 5, 10, 20 SAM ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar.....	89
Şekil 7.3 Portland çimentosuna % 5, 10, 20 TR ve SAM ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar.....	90
Şekil 7.4 2,7,28 günlük teorik ve deneysel mukavemet değerleri arasındaki sapmalar.....	92

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Değişik bölgelerde yer ve duvar karosu üretimi yapan fabrikalarda durum	10
Çizelge 2.2 Kullanım ve değerlendirme durumuna göre seramik endüstrisinden kaynaklanan endüstriyel katı atık miktarı, (1996 verilerine göre)	11
Çizelge 6.1 Sırlı atık malzemenin kimyasal analizi	36
Çizelge 6.2 Portland çimentosunun (PÇ 42.5) kimyasal analizi	36
Çizelge 6.3 Kullanılan Karamürsel trasının kimyasal analizi	37
Çizelge 6.4 Puzolanik aktivite deneyi için karışım miktarı.....	38
Çizelge 6.5 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının klinker ve alçı ile yapılan fiziksel ve mekanik deney sonuçları	43
Çizelge 6.6 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının klinker ve alçı ile yapılan kimyasal analiz sonuçları.....	44
Çizelge 6.7 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının fiziksel ve mekanik deney sonuçları	45
Çizelge 6.8 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının kimyasal analiz sonuçları	46
Çizelge 6.9 Yeni ilave edilen çimento tipleri ve standart değerleri.....	48
Çizelge 6.10 Mevcut standartlar ve yeni ilave edilen standartlar.....	49
Çizelge 6.11 Trasin PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları	50
Çizelge 6.12 SAM' in PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları.....	50
Çizelge 6.13 SAM' in ve trasın PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları	51
Çizelge 6.14 Sırlı atık malzemenin tanecik dağılım yüzdesi (hacmen)	56
Çizelge 6.15 Portland çimentosunun tanecik dağılım yüzdesi (hacmen).....	57
Çizelge 6.17 % 5 SAM + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen).....	61
Çizelge 6.18 % 10 SAM + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen).....	62
Çizelge 6.19 % 20 SAM + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen).....	63
Çizelge 6.20 % 5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)	65
Çizelge 6.21 % 10 TR + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)	66
Çizelge 6.22 % 20 TR + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)	67
Çizelge 6.23 % 2.5 SAM + % 2.5 TR +% 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen).....	69
Çizelge 6.24 % 5 SAM + % 5 TR +% 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen) 70	
Çizelge 6.25 % 10 SAM + % 10 TR +% 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)71	
Çizelge 6.26 % 15 SAM + % 15 TR +% 70 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)72	

ÖNSÖZ

Doktora eğitimime karar vermemde büyük desteğini gördüğüm değerli hocam Sayın Prof. Dr. Selahattin Gökmen'e teşekkür ederim.

Tez danışmanım, kıymetli insan, verdiği pozitif enerji ile tez süresince bana ışık tutan Sayın Doç. Dr. Seyfettin Erturan'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım için her türlü laboratuvar olanaklarını bana sağlayan Set-Italcementi Group Kalite Müdürü Selahattin Hasdemir, Operasyon Şefi Levent Onat, Laborant Levent Özer ve Kalite Müdürü Dr. Ahmet Sait Bayoğlu'na çok teşekkür ederim.

Bütün öğrenim yaşamımda, beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen anneme en içten sevgilerimde teşekkür ederim.

Tez süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen yaşam arkadaşım, eşim Kimya Yüksek Mühendisi Enver Altın'a, ve yaşama sevinçlerim Onur ve Elif Altın'a, çok teşekkür ederim.



ÖZET

Çalışmamızda sırlı yer ve duvar karosu atıklarının alçıya alternatif malzeme olarak kullanılamayacağı 2, 7, 28 günlük mukavemet değerlerinin saptanması ile anlaşıldı. Doğal puzolan trasa alternatif minör katkı maddesi olup olmayacağı araştırıldı ve % 5 SAM katkılı PÇ 2, 7, 28 günlük mukavemet değerleri iyi sonuç verdi. SAM konsantrasyonu arttıkça PÇ'nin mukavemet değerleri azalmaktadır. Buna karşın boyut dağılım analizinden 50-90 µm aralığındaki tanecik boyutları puzolanik etkiyi artırmaktadır.

Matcad programı ile 2,7 ve 28 günlük mukavemet değerleri için teorik matematiksel model denklemleri elde edildi. 2 günlük model denkleminin deneysel verilerle en uygun olduğu saptandı.

Anahtar Kelimeler: Sırlı yer ve duvar karosu atığı, değerlendirme, çimento, tane boyutu, puzolan



ABSTRACT

The data obtained for the resistance values in the 2nd, 7th, 28th days revealed that ground and wall tile residuals can not be used as an alternative material to plaster. The tile residuals were also tested to see if they can be used as a minor filling material as an alternative to natural pozzolan trase. The resistance values of 5 % SAM added portland cement were found to be positive in the 2nd, 7th and 28th days. The resistance value decreased in proportion to thr increase of SAM concentration. Dimensional distribution analysis indicated that possolonoic effect increases particule size within 50-90 μm interval.

Resistance values were calculated by Matcad programs. Mathematical model equivalances were in accordance with the experimental data.

Keywords: Waste ground and wall tile, evaluation, cement, particule size, pozzolan.



1. GİRİŞ

Seramik, organik olmayan malzemelerle oluşturulan bileşimlerin, çeşitli yöntemlerle şekil verilmesinden sonra, sırlanarak veya sırlanmadan sertleşip dayanmasına kadar geçen pişirilme sürecidir (Menek, 1990). Pişirilme; şekillendirilmiş olan seramiğin sıcaklığın etkisi ile sertlik kazanması olarak da tanımlanabilir (Arcasoy, 1983). Tuğla, kiremit ve yer karolarında olduğu gibi seramik pişirildikten sonra kullanıma hazırdır. Bazı durumlarda ise; bir kez pişirme yetmeyerek seramik parçaya sırlama işlemi yapılır. Sırlama yapılan parçalar süs, sofa porseleni ve duvar karosu olarak kullanılır.

Yer ve duvar karosu atıklarının günümüzde inşaat malzemesi olarak bilinen çimentoda katkı maddesi olarak kullanımı araştırıldı. Çimento olarak portland çimentosu seçildi. Portland çimentosu (PÇ), klinkerle az miktarda (yaklaşık % 5) alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen katkısız çimentolardır. Bu çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre başlıca 3 tiptir. Bunlar PÇ 32.5, PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 dir. (Akçansa, 2003)

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde yaygın olarak kullanılan tras (TR) yerine sırlı yer ve duvar karosu atıklarının çimento endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırmaktır.

1.1 Sır

Sır, şekillendirilmiş seramik çamurunun ince bir tabaka ile kaplanmasıyla onun üzerinde eriyen camsı bir oluşumdur. Bu oluşumun en önemli özelliği, erime noktasının daima üzerine çekilen çamurdan daha düşük olmasıdır. Soğuma sırasında viskozite düşer iskelet oluşumunu sağlayan tanecik hareketleri gerçekleşemez iskelet oluşturma düzenine giren tanecikler aniden donarak camsı oluşum fazına dönüşür. Camsı faz seramik çamurunun içerisindeki erimemiş mineralleri birbirine bağlayarak yapıyı kuvvetlendirir. Seramik parçaya çoğu zaman renklendirilerek de uygulanabilen sırlın seramik çamuruyla aynı sıcaklıklara bağlı ortak özellikler göstermesi gerekmektedir. Seramik sırlarında aranan en büyük özellik; üzerine çekildiği çamur ile normal koşullarda fiziksel ve kimyasal bağlar kurmasıdır (Moore, 1956; Bloor, 1956).

Sırlın üstlendiği görevler şunlardır :

- Üzerine çekilen çamuru sıvılardan, gazlardan koruyup yalıtım.
- Çamura etki eden mekanik güçlere karşı, etki gücünü artırmak.
- Çamurun dışında parlak ve kaygan bir yüzey oluşturmak.
- Renkli pişme gösteren çamurların üzerinde örtücü bir tabaka oluşturmak.

- Seramik yüzeyine renk ve doku özellikleri getirerek estetik değerini arttırmak.
- Sır altına uygulanan dekorasyonu koruyup, dış etkilerden yalıtım (Morris, 1956).

Eğer sır yalnızca metal oksit ve silisyum dioksitten oluşuyorsa $RO.SiO_2$ şeklinde belirtilir. RO olarak adlandırdığımız oksitlerin tümü bazik oksitler olup PbO , K_2O , Na_2O , CaO , ZnO , BaO , MgO , SrO , Li_2O oksitlerinden oluşurlar.

Renkli sırlarda ise bu oksitlere CoO , CuO , FeO , NiO , MnO , CdO gibi oksitlerde katılır. Sırları renklendirmek için renk veren oksitler tek tek veya bileşikler halinde sır bünyesine ilave edilirler, bu işlem oksitlerin çözünmesi veya dağılması ile olur. Bu oksitler sırlarda çözülerek sırnın saydamlığını bozmadan renk verirler, aşırı ilave edildiği takdirde sır saydamlığı bozulur, ilave edilen oksidin sır içinde dağılmasıyla sır oksidin doğal kendi rengine döner (Tür, 1981). Ayrıca beyaz, renk veren sırlar ve mat sırlar gibi çeşitlerde mevcuttur.

Bir formülde verilen oksitlerin birbirlerine olan oranlarını SEGER tarafından ortaya atılan 2 ana grup altında toplamak mümkündür.

R_2O_3 : Amfoter oksitler: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Sb_2O_3 , Mn_2O_3 , Cr_2O_3

RO_2 : Asit oksitler: SiO_2 , SnO_2 , ZrO_2 , B_2O_3 , TiO_2 , CeO_2

Tüm yukarıdaki oksit gruplarını içeren genel bir formülü bazik oksitlerin aralarında mol sayıları toplamı 1.0 olacak şekilde aşağıdaki gibi yazmak mümkündür:

1.0 RO . x R_2O_3 . y RO_2

Sırın verilen bir sıcaklıkta erimesine etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörlerin başında sırnın belirli bir sıcaklığa erişmesi için geçen süre gelir. Sırın gelişimini tamamlayabilmesi için gerekli süre anlaşılmalıdır. Ayrıca hammadde tane büyüklüğünün de sırnın erimesinde rolü büyüktür. Küçük partiküllerin erimesi büyük tanelere oranla daha çabuk olur. Sırın kimyasal yapısının da erimede etkisi büyüktür. Bünyedeki alkaliler, lityum ve kurşun ile silikat oluşturan sırlar alüminyumca zengin sırlara oranla daha çabuk erirler. Üzerine sürülen seramik çamurunun bileşimi ve sırnın kalınlığı, erimeyi, görünümü ve süreyi etkiler (Rawson 1956; Worrall, 1982).

1.2 Seramik Sırların Sınıflandırılması

Sırları bileşimine veya üretim türüne göre sınıflandırmak mümkündür.

1.2.1 Bileşimlerine göre sırların sınıflandırılması

A. Kurşunlu sırlar

1. Borsuz sırlar
2. Basit kurşunlu sırlar
3. Karışık kurşunlu sırlar
4. Borlu sırlar

B. Kurşunsuz sırlar

1. Borlu sırlar
2. Borsuz sırlar
3. Bol alkalili sırlar
4. Düşük alkalili sırlar (Worrall, 1982; Dietzel, 1983).

1.2.2 Üretim türüne göre sırların sınıflandırılması

1. Ham sırlar
2. Sırçalı sırlar
3. Tuz sırlar

1.3 Genel Olarak Sırların Sınıflandırılması

1. Çok akışkan sırlar (SiO_2 oranı düşük buna karşın alkali ve metal oksitlerin oranı yüksektir. Kullanım alanları akçini ve çömlektir. Kurşunlu ve kurşunsuz olmak üzere ikiye ayrılırlar).
2. Az akışkan sırlar (Yüksek oranda SiO_2 ve düşük oranda alkali içerirler. Kullanım alanları porselen, sert akçinidir) (Arcasoy,1983).

1.4 Sırlama Yöntemleri

Sırların seramik çamuru üzerine uygulanabilmesi için, birçok kriteri sağlaması gerekmektedir. Seçilmiş olan sırlama tekniği bu kriterlerin göz önüne alınmasıyla başarılı olur. Bu kriterler şunlardır:

1. Kabın biçim ve büyüklüğü
2. Kullanılan numune miktarı
3. Enerji kaynakları
4. İş gücü
5. Sırlanacak yüzey

Sulu kıvamda hazırlanmış bir seramik çamuruna uygulanan sırlama yöntemlerini 5 grupta toplamak mümkündür:

1. Püskürtme yöntemi: Daldırma ile yapılan sırlamanın başarısız olduğu durumlarda başvurulan bir yöntemdir. Sırlama yapılacak numune üzerine özel püskürtme tabancaları ile sır atılır. Başarılı bir sırlama için; tabancanın püskürtme ağız açıklığı, püskürtme basıncı (hava), sırnın viskozitesi, sırnın akış hızı, seramik çamuru ve sır arasındaki sıcaklık farkı, püskürtme pompalarının sayısı, püskürtme mesafesi göz önüne alınması gereken faktörlerdir. Püskürtme yöntemlerini 4 sınıfta toplamak mümkündür : otomatik, mekanik, elektrostatik ve hava püskürtmeli (Marquis vd., 1974; Gray ve Bull, 1979; Arcasoy, 1983).
2. Daldırma yöntemi: Basit, etkili ve hızlı bir uygulamadır. Sır çamuru içine seramik daldırılır, süzdürüldükten sonra kurutulur. Sır tabakası kalınlığının uygulama için optimum şartları sağlaması gerekmektedir. Yüzey üzerindeki sırnın miktarı kabın durumuna, seramik çamurunun reolojik özelliğine, daldırma zamanına göre değişir. Bununla birlikte seramik çamurunun viskozitesi, sırnın akış yoğunluğu ve sırnın tanecik yapısı, kabın gözeneklilik ve sıcaklığı, sıra katılan katkı maddeleri (renk veren oksitler gibi) sırlamada etkin olan faktörlerdir (Marquis vd., 1974; Gray ve Bull, 1979; Arcasoy, 1983).
3. Akıtma Yöntemi: Bu yöntemde sır bir haznenin altından film oluşturarak akar. Yürüyen bantlar üzerine numuneler yerleştirilerek sırlama yapılır. Seramik endüstrisinde en çok yer ve duvar kaplamalarının sırlanmasında kullanılır. İyi bir sırlama için tercih edilen bir yöntemdir. Tercih edilme sebebi , sır haznesinin iyi beslenmesi, sırnın iyi süzülmesi, sır akıtma aralığının iyi ayarlanması ve çapaksız olmasıdır (Marquis vd., 1974; Gray ve Bull, 1979; Arcasoy, 1983).
4. Tozlama Yöntemi: Emaye endüstrisinde uygulanan bir yöntemdir. Sırlanacak olan parça yüzeyi eğimli ise, ince bir tabaka halinde organik yapıştırıcı kaplanır. Bu işlemden sonra

tozlama ile sırlama yapılır. Bu yöntemde rastlanan en büyük hatalar, sırın parçanın yüzeyine iyi dağılmaması sonucu ortaya çıkar. Dikkat edilmesi gerekli nokta sırın parçaya yapışması sırasında görülür(Marquis vd., 1974; Gray ve Bull, 1979; Arcasoy, 1983).

5. Tuzlama Yöntemi: Bu yöntemin esasını, fırın içinde oluşan tuz buharı oluşturur. Sırlama işleminin yapıldığı fırın açık ateşli çalışan kamara türü fırınlardır. Fırında kullanılan yakıtlar odun, fuel oil, mazot ve gazdır. Sırlama fırınına sinterleşme sıcaklığında NaCl tuzu atılır. Sıcaklıkla buharlaşan tuz, bacanın kapatılmasıyla fırın içindeki yanma gazlarıyla birleşerek ince bir tabaka şeklinde malzemenin yüzeyini kaplar (Marquis vd., 1974; Gray ve Bull, 1979; Arcasoy, 1983).

1.5 Sırların Renklendirilmelerine Etki Eden Faktörler

Sırların renklendirilmesi için renk veren maddeler veya onların özel olarak hazırlanmış boya ları kullanılır. Bir sırın renklendirilmesinde etkin faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir

1. Renk veren maddenin türü ve miktarı
2. Sırın bileşimi
3. Sırlama fırınının özellikleri
4. Sırın pişme sıcaklığı

Yukarıdaki tüm faktörlerin sırlama için aynı anda sağlanması gerekmektedir. Bir seçeneğin eksikliği sırda çatlaklara sebep olur (Arcasoy, 1983).

1.6 Sırların Renklendirilmesinde Kullanılan Oksitler

1. CuO, Cu₂O oksitleri: Yeşilin tüm tonları elde edilir.
2. FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ oksitleri: Sarı, kahverengi, kızıl kahverengi, şarap kırmızısı renkler elde edilir.
3. CoO, Co₂O₃, Co₃O₄ oksitleri: Açık maviden lâciverde kadar tüm renk tonları elde edilir.
4. Cr₂O₃ oksidi: Sırları yüksek sıcaklıklarda yeşile boyar. Alkalili sırlarda krom ile yeşil renk elde etmek mümkündür. Doğal bir bileşik olan kromit (Cr₂O₃.FeO) seramik endüstrisinde en çok astar ve çamurların boyanmasında kullanılır. Gri- siyah renk tonlarının eldesi için kromit ile muamele sonucu gri yeşil renk tonları elde edilir.
5. MnO₂ oksidi: Kahverengi, mor ve siyah renklerin eldesinde en çok kullanılan oksittir.

6. Ni_2O_3 , NiO oksitleri: Değişik oksitlerle birlikte kullanıldığı zaman değişik renk tonları elde edilir. Bakır bileşikleri katkısı ile mavi- yeşil, krom bileşikleri katkısı ile sarı- yeşil, sarı , mangan bileşikleri ile kahverengi- mor , kalay oksit ve bakır bileşikleri ile turkuvaz renkler elde edilir.
7. SnO_2 oksitleri: Örtücü özelliğinden dolayı en bilinen maddedir fakat pahalı olması sebebi ile oksidin kullanımı bırakılmış, yerini zirkonyum almıştır.
8. ZrO_2 oksidi: Kalay oksit gibi örtücülük yapmada kullanılan zirkon oksidin en yaygın şekli zirkon silikattır (ZrSiO_4). Tane inceliğinin 5 mikronun altında olması çok önemlidir.
9. Sb_2O_3 , Sb_2O_5 oksitleri: Kurşunsuz sırlarda beyaz örtücülük yaparken, bol kurşunlu sırlarda parlak sarı renk verir.
10. TiO_2 oksidi: Matlaştırıcı ve kristal oluşturucu özelliği vardır. Kurşunsuz sırlarda beyaz, kurşunlu sırlarda ise açık sarı renk elde edilir.
11. MoO_2 , MoO_3 oksitleri: Sırlarda erime noktasını düşürürler, tek başlarına sırlara renk vermezler. Değişik oksitlerle birlikte kullanılırlar.
12. UO_2 , UO_3 oksitleri: Pahalı bir oksit olmasına rağmen en çok kullanılır.
13. As_2O_3 , As_2O_5 oksitleri: Seramik ve emaye sırlarda örtücülük özelliği sebebi ile az kullanım alanına sahiptir. Zehirli oluşu sebebi ile çoğu ülkelerde kullanımı yasaktır.
14. BeO oksidi: Matlaştırıcı özelliğe sahiptir, renk vermez. Çoğu renk veren oksitleri de etkiler.
15. V_2O_3 , V_2O_5 oksitleri: Kurşunsuz sırlara katılımı ile (% 5) sırda yeşil- beyaz örtücülük yapar. Katkı oranının artması ile gri- yeşil renk kahverengiye döner.
16. CeO_2 oksidi: Emaye sırlarının örtücülüğünde kullanılmasına rağmen yaygın bir kullanım alanına sahip değildir. En çok 1000°C ' ye kadar kullanılır. ZrO_2 ile kullanıldığında sır çatlaklığına karşı etkilidir.
17. WO_3 oksidi: Saf kurşunlu sırlarda düşük oranlarda katkısı ile (% 2-3) çiçek şeklinde kristaller oluşur. Alkalice zengin borlarda ise yüksek oranlarda ilavesi ile (% 15-20) beyaz örtücülük elde edilmesine rağmen, sır mat renk alır.
18. Bi_2O_3 oksidi: Sırın erime özelliği üzerine etkisi büyüktür. Oksitleyici atmosferde altın sarısı, redükleyici atmosferde koyu kahverengi ve mavi- siyah renge boyanır.

19. Fosfatlar: İki fosfat bileşigi vardır. [$\text{CaO}_3 (\text{PO}_4)_2$] ve bor fosfat (BPO_4). Düşük oranlarda sırlara katıldığında eritici özellik gösterirler, katılma miktarı % 5' i aştığında sırlarda matlık oluşur.
20. Selen bileşikleri: Bir sıra selen bileşikleri katıldıkları zaman sırn ve selen bileşiginin türüne göre örtücü gri beyaz renk oluşur.
21. Nd_2O_3 ve Pr_2O_3 oksitleri: Direkt olarak seramik sırlarının renklendirilmesinde hemen hemen hiç kullanılmazlar. Yüksek sıcaklığa dayanıklı özellikle sarı seramik boyaların yapımında çokça kullanılırlar. Neodyum sırlarda tek başına mor- gri renkleri oluşturur. Praseodyum ise; zirkonlu sırlarda yumuşak yeşil tonlar oluşturur.
22. Er_2O_3 oksidi: Seramik sırların renklendirilmesinde pek kullanılmaz. Saydam sırlarda pembe tonları elde edilirken, mat ve örtücü sırlarda bu renk daha koyulaşır (Thurnaver, 1937; Johnson, 1956; Lehnhauser, 1973; Arcasoy, 1983).



2. SERAMİĞİN TARİHÇESİ

Yapılan incelemeler sonunda ilk seramiğe, MÖ. Onuncu ve dokuzuncu binlerde rastlanmıştır. En eski seramik örneklerine Türkistan'ın Aşkova bölgesinde (MÖ.8000), Filistin'in Jercho bölgesinde (MÖ. 7000), Anadolu'nun çeşitli höyüklerinde (Hacılar, MÖ. 6000) ve Mezopotamya olarak bilinen Dicle-Fırat nehirlerinin arasında kalan bölgede rastlanmıştır.

Seramiğin hammaddesi, balçık adı ile bilinen kıvamlı çamur birikintisi, ilk seramik kaplarda, balçık ile sıvanmış sepetlerdi. Bu balçık kaplı sepetler ateş ile karşılaşp sertleştikleri zaman oluşan kaplar kullanışlı kapları oluşturdu. Seramik eşyaların sıra kavuşması, odun ve benzeri organik maddelerin külleri seramik çamurunun üzerinde etkilerini gösterdiği zaman keşfedildi. Bu ise MÖ. 5000 ve 6000 yıllarına rastlar (Arcasoy, 1983; Menek, 1990).

2.1 Anadoluda Seramik

Anadolu çeşitli kültürlerin yaşadığı bir bölge olduğu için her dönemden seramik esere rastlanmaktadır. En önemli seramik ürünler MÖ. 3500 Kalkatik devir, MÖ. 2500- 1000 Truva, Hitit, MS 11. ve 13. asırlarda Selçuklular dönemine ait eserlerdir. 10. yüzyılda Anadolu'ya giren Osmanlılar Selçuklulardan kalan seramik kültürünü devam ettirmiş ve 15. Yüzyılda kendi özelliklerini oluşturmuştur. Osmanlı döneminde çini sanatı, 16. Yüzyılda İznik'te kurulmuş, Bursa ve İstanbul'un en ünlü Osmanlı yapılarını süslemiştir.

Seramik daha sonra Kütahya'da devam etti. İznik ve Kütahya seramik alanında ilerlerken, Batı Anadolu'da oluşan diğer seramik merkezi Çanakkale oldu.

İslam ülkelerinde gelişen seramik, Arapların İspanya üzerinden Avrupa'ya çıkmaları ile 9. Yüzyılda başta İspanya ve İtalya olmak üzere diğer Avrupa ülkelerine yayıldı. Türkiye'de ilk porselen yapımı Osmanlı döneminde 18.yüzyıl sonlarında, İstanbul'da Haliç yöresinde, özellikle Galata ve Balat'ta küçük atölyelerde başladı. Kurulan ilk porselen fabrikası da Fransız'ların öneri ve yardımları ile 1892 yılında kurulan Yıldız porselen ve çini fabrikasıdır.

Cumhuriyetten sonra ilk seramik üretimi 1942 yılında Kartal'da Eczacıbaşı tarafından kahve fincanı üretimi ile başlar. Sanayileşme girişimi ile 1958'de ilk modern seramik fabrikası yine Eczacıbaşı tarafından Kartal'da sofr ve süs eşyası üretmek üzere kuruldu. Seramik sanayi 1960'larda hızlı bir gelişme gösterdi. Eczacıbaşı'nın girişimi ile yer ve duvar karoları endüstrisi gelişmeye başladı(Menek, 1990).

2.2 Türkiye’de Seramik Endüstrisi Gelişimi ve Bugünkü Durumu

Ülkemiz Cumhuriyet döneminde seramik konusunda bir sanayi kuruluşuna sahip değildi. Kütahya ve Çanakkale’de sayıları 15-20 olan atölyelerde çanak, çömlek üretimi, bazı yörelerde ise testi, harman tuğlası dışında seramik üretimi yapılmıyordu. Kiremit dahil diğer seramik ürünler Avrupa’dan ithal ediliyordu.

Daha sonraları 1950’de başlayan sanayileşme ile Eczacıbaşı’nın 8 kişilik atölyesi 1958’de 250 kişi olmuş, sofras ve süs eşyası üreten modern bir fabrika haline gelmiştir. Aynı dönemlerde Çanakkale’nin Çan ilçesinde İbrahim Bodur’un çalışmalarıyla yer ve duvar karoları üretimi, Yarımcı’da Sümerbank’ın sofras porseleni, sağlık gereçleri ve gerilim projeleri girişimi görülmektedir.

Tuzla’da porselen, Bozüyük’te Sümerbank’ın yer ve duvar seramikleri ile İstanbul Yıldız’daki Yıldız Çini porselen fabrikası daha sonra işletmeye alınmıştır.

Sanayileşmesini ve kalkınmasını hızla sürdüren Türkiye’de, seramik ihtiyaçlarına paralel olarak kurulan fabrikaların kapasitelerini artırırken sayıları da bir hayli artmıştır. Başlıca seramik üretimi yapan fabrikalar aşağıda verilmiştir.

Eskişehir’de : Tuğla, kiremit.

Söğüt’te : Fayans ve refrakter.

Turgutlu’da : Fayans ve tuğla.

Bozüyük’te : Sağlık gereçleri, fayans, yer karosu.

Bilecik’te : Fayans.

Kütahya’da : Porselen.

Uşak’da : Fayans.

Manisa’da : Sağlık gereçleri.

İstanbul’da : Elektro porselen.

Değişik yörelerde kiremit, tuğla fabrikaları üretime geçmiştir. Türkiye’de 1970’den itibaren seramik ürünler ihraç etmeye başlamış, 1980’den sonra ithal pazarlarında diğer ülkeler ile rekabet etme gücüne ulaşmış ve pazardaki payını arttırmaya başlamıştır.

Türkiye’de ve dünyada atık problemi gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Atıklardan kaçınmak mümkün olmadığına göre bunları azaltmaya, tekrar kullanmaya ve geri kazanmaya çalışmak en akıllıca bir yaklaşımdır olacaktır.

Kimya endüstrisi atıkları çimento sektöründe değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Sırlı

seramik atıkları seramik endüstrinde, hatalı üretim sonucunda meydana gelen ve tekrar kullanılmayan malzemelerdir. Bunlar suni puzolanlar grubunda yer almaktadır. Bu atıkların, çimento sanayinde değerlendirilmesi ülke ekonomisine katkı olması açısından önem taşımaktadır.

2.3 Değişik Bölgelerde Yer ve Duvar Karosu Üretimi Yapan Fabrikalarda Durum

Çizelge 2.1. Değişik bölgelerde yer ve duvar karosu üretimi yapan fabrikalarda durum

Fabrika İsmi	Yöre	Aylık yer ve duvar karosu üretimi Planlanan (m ²)	Aylık yer ve duvar karosu üretimi Plan Haricinde Yapılan	Atık Değerlendirme
Yüksel Seramik	Söke, Aydın	150 000	Yer ve duvar karosu bazen yapılmıyor 100 000 m ² granit yapılıyor	Yer karosu çatı izolasyonunda, duvar karosu % 5 duvar karosu üretiminde kullanılıyor
Çanakkale Seramik	Çanakkale	Yer Karosu 65 000 Duvar Karosu 50 000	Planlanan üretim yapılıyor	Atıklar kendi bünyesinde % 5' e kadar değerlendiriliyor
Uşak Seramik	Uşak	10 000	Planlanan üretim yapılıyor	Atıklar kendi bünyesinde % 5' e kadar değerlendiriliyor
Eczacıbaşı Karo Seramik	Bilecik	70 000	Planlanan üretim yapılıyor	Atıklar kendi bünyesinde % 5' e kadar değerlendiriliyor

Çizelge 2.1 de görüldüğü gibi değişik yörelere ait yer ve duvar karosu atıklarının değerlendirilmesi kendi bünyesinde % 5 'e kadar yapılmakta. Ekolojik açıdan atık değerlendirmenin önemi de düşünülerek çeşitli sanayii dallarından özellikle çimento

sanayinde katkı maddesi olarak kullanımı için çalışmalar yapıldı.

Çizelge 2.2 Kullanım ve değerlendirme durumuna göre seramik endüstrisinden kaynaklanan endüstriyel katı atık miktarı, (1996 verilerine göre)

Sektör	Toplam yaratılan		Geri kazanılan ve yeniden kullanılan		Satılan ve Hibe edilen		Değerlendirilen		
	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	
Türkiye	A	156	753490	31	138453	23	362780	133	252257
	B	4	35641	-	-	1	1793	3	33848
	C	152	717849	31	138453	22	360987	130	218409

A:Toplam, B:Devlet, C: Özel

Çizelge 2.2 de ise Devlet İstatistik Enstitüsünden alınan bilgilere göre devlet ve özel sektörde üretimi yapılan seramik miktarı ve atık değerlendirme verileri görülmektedir. DİE'nin verilerine göre de atık değerlendirme verileri görülmektedir. DİE'nin verilerine göre de atık değerlendirmenin önemi ülkemiz açısından gereklidir.

3. ÇİMENTONUN TARİHÇESİ VE TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜ

3.1 Çimentonun Tarihçesi

Çimento Latince’de “Coemetum”dan Fransızcaya “Ciment”, Almancaya “Zement”, Türkçe’ye de Çimento olarak girmiştir.

Çimentonun, daha doğrusu su kirecinin ilk defa nerede ve nasıl bulunduğu ve üretildiği hakkında kesin bilgiler bulunmamakla birlikte kullanımının M.Ö.2000’li yıllara kadar gittiği tahmin edilmektedir. Anadolu’daki Hitit kentlerinde, özellikle Çorum, Tokat ve Malatya illerindeki antik kentlerde, magnezyum içeren kireç ile karıştırılmış puzolanik aktif doğal malzemelerin harç yapımında kullanıldığı görülmektedir. Dünya tarihinde en eski yapılardan olan piramitlerde ve Eski Romalılar tarafından yapılan günümüze kadar gelmiş pek çok eserde bağlayıcı özelliği olan harcın kullanıldığı görülmektedir. Romalılar devrinde yapılan eserlerin dayanıklı olması, Romalıların harcın karışımına gerekli özeni göstermelerine, kireçtaşını iyi yakıp, en iyi harcı elde etmiş olmalarına bağlanmaktadır. Türkiye’de Güneydoğu Anadolu’da Asurlulardan kalma tarihi kalıntılarda normal kireç ile puzolanik maddenin yapılmış olması , Anadolu’da Romalılar ve Yunanlılardan önce çimento kullanıldığını göstermektedir. Teos-İzmir, Efes-İzmir, Afrodiasias-Aydın, Kinidas-Muğla antik kentlerinde çimento ve harcın, eski Anadolu uygarlıkları ile geniş temas kurulduktan sonra kullanıldığı görülmektedir. Yunanlılar ve Romalılar daha sonra kalsine edilmiş kireçtaşlarını puzolan adı verilen volkanik külle öğütürerek puzolanik çimentoyu üretmişlerdir. Puzolanik çimento Vezüv Yanardağı’ndan sağlanan volkanik kül ve kireçten oluşturulmuş olup, Avrupa’da ilk defa İtalya’da kullanılmıştır. İtalya’nın Anadolu uygarlıkları ile olan yakın benzerliği gözden kaçırılmamalıdır. Julius Sezar’ın imparatorluk döneminde, Caligula Wharf’ın yapımında puzolanik çimento kullanılmış, bu inşaat Pozzuli Limanı’nda su seviyesinden 4-4,5 m derinlikte, su altında yaklaşık 2000 yıldan beri durduğu bilinmektedir (Çelenk ve Peker, 2000).

Harçların hazırlanmasında yeni bir döneme 18. Yüzyılda girilmiştir. O tarihlerde Orta ve Küçük Asya’da Türkler ve Persler tarafından “ Horasan Harcı” denilen ve Avrupalılarca bilinmeyen sağlam bir bağlayıcı kullanılıyordu. Tuğla ve kiremit tozu ile kireç ve su karışımından oluşan bu harcın suya dayanıklı yapılarda ve aynı zamanda kubbe yapılarında kullanılması ve yapıların bugüne kadar ayakta durması, bu harcın dayanımı konusunda da fikir vermektedir. Bu harç 11. Yüzyıldan, 19. Yüzyıla kadar Anadolu’da Türkler tarafından kullanılmıştır (Çelenk ve Peker, 2000).

1756 yılında İngiliz mühendisi John Smeaton'a, Manş Denizi'ndeki seferler için çok önemli olan, fırtınada yıkılmış Eddystone Feneri'ni yeniden inşa etmesi görevi verilmiştir. Devamlı olarak dalgalar tarafından dövülen bu fenerin asırlarca dayanabilmesi için kullanılacak olan harcın çok iyi olması gerektiğini düşünen Smeaton, yaptığı denemeler sonunda en iyi kirecin yumuşak ve saf olmayan kalkerden elde edildiğini bularak, suda sertleşen kirecin yalnız killi kalkerden elde edileceğini buldu ve feneri bu malzeme ile inşa etti.

1796 yılında J.Parken, kentin sahillerinde bulunan üçüncü zamana ait kalkerden pişirmeye başlayarak mükemmel bir hidrolik kireç elde etmiş ve buna 'Roma Çimentosu' adını vermiştir. Bu çimento 1830 yılına kadar önemini kaybetmemiştir (Hazra, 1987).

1830 yılında Almanya'da J.M. Von Funch 'Harlem İlim Birliği' tarafından ödüllendirilen 'Kireç ve Harç' etüdü ile su altında yavaş sertleşen su kireçlerinin üretiminde büyük başarı sağlamış ve sertleşmenin esasen silis ve kireçten oluşan kimyasal bir bileşikten ileri geldiği ispat edilmiştir.

Çimento tiplerinin en sonuncusu ve gelişmiş Portland Çimentosudur. Bu çimentoyu bulan Joseph Aspdin 1824 yılında ilk defa 'Portland Çimentosu' adını verdiği ürünün patentini aldı, ama yaptığı çimentodaki kalker ve kil oranlarını bildirmediği için kullandığı karışımın bileşimini vermemiştir. 20 yıl sonra J.C. Johnson, Portland Çimentosu'nu tekrar üretmeye başladığında, kaydetmediği için pek çok deneme yapmak zorunda kalmıştır. Johnson, 1845 yılında, hammadde karışımını çok yüksek sıcaklıklarda camlaşmaya kadar kızdırmış ve denemelerle uygun oran ve ısıları tespit ederek bugünkü Portland Çimento fabrikasyonunun ilk esaslarını bulmuştur. Johnson'un fikirleri tanınmış Alman kimyageri Michaelis tarafından da desteklenmiştir. Michaelis, çimento sanayine kimyasal kontrolü sokarak bu sanayinin gelişmesine büyük hizmette bulunmuştur. 1878 yılında Portland Çimentosunun aynı şartlar altında üretimi ve kontrolü için normlar tespit edilmiştir. Bundan önce 1871 yılında USA' da David O. Saylar tarafından Portland Çimentosunun ilk gerçek imalatı yapılmıştır. 1892 yılında A.F. Tornbohm, polarizasyon mikroskobu ile yaptığı denemeler sonunda klinker içindeki 3 kristal cinsini ayırarak bunlara, Alit, Belit ve Celit adlarını verdi (Bogue, 1955).

1883 yılına kadar, Portland Çimentosu'na yabancı maddelerin ilavesi reddedilmiş ve bu konuda, 'Alman Çimento Fabrikaları Birliği' sert tedbirler almıştır. Ancak 1862 yılında A. Langen, yüksek fırın cürufunun hidrolik olduğunu bulmuş, Godhord Prussing ise belirli miktarlarda cüruf ilavesi ile portland çimentosunun sertlik ve hacim sabitliğinin ayarlanabildiğini görmüş ve ayrıca 1882 yılında bağlayıcı niteliği olan kum ilavesi ile ishah edilmiş çimentosunu piyasaya çıkardığında Alman Çimento Fabrikaları Birliği'nin tepkisi ile

karşılaşmıştır. W. Michaelis, L. Tedmeyer ve E. Deitrich, Prussing'in buluşuna hak vermelerine rağmen, Birliği kararından çevirememişlerdir. 1883 yılında, Th. Narjes ve A. Bender, yüksek fırın cürufunu klinker üretiminde hammadde olarak kullandılar. H. Passow da yaptığı çalışmalarla yüksek fırın cürufundan çimento üretimini desteklemiştir.

Çimento sahasında mevcut bilgilerle, sistematik çalışmaya 1913 yılında Fransa'da Vicat, İngiltere'de Frost ile başlamıştır. Birinci ve İkinci Dünya savaşlarının getirdiği ekonomik buhranlarla, zaman zaman düşen çimento üretimi, 1948 yılından sonra birden büyük ölçüde artış göstermiştir (Çelenk ve Peker, 2000).

3.2 Türkiye'de Çimento Sektörü

Dünyada çimento üretim ve satışına 1878 yılında başlanmasına rağmen, Türkiye'nin çimento sektörü ile tanışması 1912 yılında özel sektör girişimi ile olmuştur. 34 yıl geç başlamamız, su kireci imalinin yeterli olması ve bu yılların Osmanlı İmparatorluğunun çöküş dönemlerine rastlamasından kaynaklanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'nın dünya ekonomisinde yaptığı etkiler ülkemizde de hissedilmeye başlanmış ve inşaat sektörü genel bir duraklama devrine girmiş, buna paralel olarak, çimento üretiminde bir durgunluk, tüketiminde ise bir gerileme meydana gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı'nın olumsuz etkileri azalmaya başladıktan sonra Türkiye'de yatırımların artmasıyla çimento talebinde de artışlar gözlenmiştir ve çimento sektörü için yeni bir dönem başlamıştır (Çimento bülteni, 1982).

Çimentoda katkı maddesi kullanımı 1963-1966 yılları arasına rastlar. Bu katkı maddeleri, cüruf, tras ve uçucu küllerdir. Mevcut fabrikalar maksimum kapasitede çalıştırılmış ve üretimde kuru sisteme geçilmiştir. Ülkemizde 1978 yılından sonra siyasi ve ekonomik istikrarın zedelenmesiyle inşaat sektöründeki yatırımlar da büyük ölçüde etkilenmiş, 1980'de duraklamasına sebep olmuş ve iç tüketim %20 oranında düşmüştür. Türkiye'de yaklaşık 90 yıla yakın geçmişi olan çimento sektörü, bilindiği üzere 1987 yılı içerisinde başlayan yeniden yapılanma süreci, kamu sektörüne ait tüm fabrikaların özelleştirilmesi ve yabancı sermayenin Türk çimento sektörüne girişi ile şekillenmiş yeni oluşum gerçekleşmiştir. 1998 yılına gelindiğinde 37488 milyon ton/yıl üretim ile, üretim açısından Avrupada birinci, dünyada yedinci sıraya yükselmiştir. 1999 yılı sonu itibari ile sektörde 39 adet komple çimento fabrikası, 5'i bağımsız, 12'si çimento üreticilerine ait olmak üzere 17 adet öğütme tesisi, ayrıca 7 adet çimento satış terminali bulunmaktadır.

Türkiye'de çimento iç tüketiminin 2020 yılına kadar artış göstererek kişi başına 750-800 kg seviyelerine çıkacağı ve ülkenin gelişmesinin tamamlanması ile birlikte kişi başına tüketimin

450-500 kg ile sabitleşmesi ve devam etmesi beklenmektedir. Bu olay gelişmiş ülkelerde de aynı şekilde olmuştur (Çelenk ve Peker, 2000; Akçansa, 2003).

3.3 Çimento Çeşitleri

3.3.1 Portland çimentosu

Hidrolik kalsiyum silikatlardan, toz edilmiş klinkerden oluşan bir üründür. Kendisine, kalsinasyondan sonra su veya işlem görmemiş kalsiyum sülfattan başka katkı konulmamıştır. Sadece üreticinin isteğine bağlı olarak klinker içerisine %1'i aşmamak üzere diğer maddeler konulabilir şeklinde bir yorum getirilmiştir. A.B.D.'de beş tip portland çimentosu kabul edilmiştir (Bogue, 1955).

3.3.1.1 Normal portland çimentosu

Genel olarak betonarme yapılarda kullanılır. Daha az demir (III) oksit bulunduran beyaz çimento, petrol kuyusu çimentosu, çabuk sertleşen çimento ve diğer özel amaçlı çimentolar gibi bu çimentonun diğer tipleri de vardır (Çataltaş, 1983).

3.3.1.2 Sertleşme ısısı orta derecede ve sülfatlı sulara dayanıklı portland çimentosu

Orta derecede hidrasyon ısısı gerektiren veya orta derecede sülfatlı sularla karşılaşacak, genel amaçlı betonarme yapılar için kullanılır. Bu çimentoların 7 ve 28 günlük mukavemet çalışmalarını sonucunda verdikleri ısı 70 ve 80 cal/gr'dan fazla olmaması gerekmektedir (Çataltaş, 1983).

3.3.1.3 Erken sertleşen yüksek sağlamlığa sahip çimentolar

Kireç silikat oranı, normal portland çimentosunda olan hammaddelerden yapılıdır. Aynı zamanda daha ince öğütülür. Normal portland çimentosuna oranla daha yüksek oranda trikalsiyum silikata (C_3S) sahiptir. Bu özellik ve ince öğütme, daha çabuk sertleşmeye ve daha hızlı ısı vermeye sebep olur. Bu tip çimento ile yapılan yollar normal çimento ile yapılan yollara nazaran, daha kısa sürede servise sokulur (Çataltaş, 1983).

3.3.1.4 Düşük ısıli portland çimentoları

Düşük oranda C_3S ve trikalsiyum aluminata (C_3A) sahiptir. Bu durum ısı vermeyi azaltır. C_3A miktarını azaltmak için Fe_2O_3 katılarak, tetrakalsiyum aluminaferit (C_4AF) yüzdesi artırılır (Çataltaş, 1983).

3.3.1.5 Sülfatlı sulara dirençli portland çimentoları

Bileşimlerinin ve işleminin bir sonucu olarak, diğer dört tipe oranla sülfatlı sulara daha çok dayanır. Bu tip portland çimentoları, yüksek sülfat dayanıklılığı istenilen yerlerde kullanılır. Bu çimentolarda, normal çimentolara oranla C_3A daha düşüktür. Bunun bir sonucu olarak, C_4AF miktarı daha yüksektir (Çataltaş, 1983).

3.3.2 Puzolan çimentosu

İtalyanlar bu tip çimentoyu başarı ile kullanmışlardır. Çimento, 2-4 kısım puzolan çimentosu, 1 kısım sönmüş kirecin karışımından oluşur. Puzolanın kendisi çimentoya benzemeyen bir maddedir, fakat kireç ile karıştırıldığında çimentoya benzer özellikler gösterir. Puzolanlar doğal ve suni olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar, volkanik tüflerdir. Yapay puzolanlar, daha çok uçucu küller olarak bilinir (Çataltaş, 1983).

3.3.3 Yüksek alüminalı çimentolar

Esas itibari ile bir kalsiyum alüminat çimentosudur. Kireçtaşı ve boksit karışımının eritilmesi ile elde edilir. Bunun yanında demir oksit, silikat, magnesia ve diğer safsızlıklara sahiptir. Deniz suyuna ve sülfatlı sulara karşı üstün bir dayanıma sahiptir (Çataltaş, 1983).

3.3.4 Özel veya korozyona dayanıklı çimentolar ve harçlar

Tuğla kaplı reaktörler, depolama tankları, absorpsiyon kuleleri, duman boruları ve bacaları, asitleme tankları, yer döşemeleri, birikinti çukurları, hendekler ve asit eritme tankları gibi kimyasal cihazlar için korozyona dayanıklı kaplamaların yapımında yaygın bir şekilde kullanılır (Çataltaş, 1983).

3.3.5 Kontrollü çimento

Sertleşmesi esnasında büzülme çatlama yapmayan kontrollü çimento, Permanente Cement and Medusa kuruluşu tarafından piyasaya çıkarılmıştır. %10-20 kadar kalsiyum sulfoalüminatın (boksit, jibs ve kireçtaşından) portland çimentosu ile birleştirilmesi, betonun çatlama eğilimini gerçekten ortadan kaldırır (Çataltaş, 1983).

3.4 Çimentonun Kimyası ve Yapısı

Çimento kalker, kireçtaşı, kil, demir cevherleri ve kum gibi doğada bol miktarda bulunan maddelerden elde edilmektedir. Bu maddeler kırılır, öğütülür ve döner fırınlarda akkor haline gelinceye kadar pişirilir. Fırından çıkan yarı mamul maddeye klinker adı verilir. Klinkerin, tek

veya daha fazla cins katkı maddesi ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır (Boque, 1955; Taylor, 1964; Yamaguchi vd., 1960;).

3.5 Çimento Üretimi

Portland çimentosunun üretiminde, önce uygun miktarda kireç(CaO), silis(SiO₂), alümin(Al₂O₃) ve demir oksit(Fe₂O₃) içeren hammaddeler belirli oranlarda karıştırılarak fırınlarda 1450°C - 1650°C' ye kadar pişirilirler. Fırından çıkan gri renkteki pürüzlü ve gözenekli yüzeye sahip 1- 25 mm çapındaki malzemeye 'klinker' denir. Klinker soğutulur daha sonra öğütülür. Öğütme işlemi sırasında çimentonun priz sürelerini ayarlamak için klinkere %3-%5 oranlarında alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) ilave edilir. Sonuçta ortaya çıkan malzeme bağlayıcılık özelliğini kazanmış olan Portland çimentosudur. Eğer öğütme işlemi sırasında Portland çimentosu klinkeri ve alçı taşına belli miktarlarda katkı maddeleri (puzolanik katkılar) eklenirse farklı tiplerdeki katkılı çimentolar elde edilir (TSE, 1974).

Çimento hammaddeleri karıştırılıp kimyasal bileşimlerine göre orantılaşır harmanlanır. Pişirme sıcaklığını düşürmek için karışımda alüminyum ve demir oksitlerinde bulunması gerekir. Kilin içinde yeterince bulunmuyorlarsa ayrıca katılırlar. 'Farin' tabir edilen hammadde karışımı öğütüldükten sonra eğik bir döner fırında 1500°C civarında sıcaklığa kadar pişirilir. Fırının alt çıkış ucuna doğru hammadde tanelerinin yarı ergimiş halde birbirlerine yapışmaları sonucu ' klinker' denilen yaklaşık 1cm çapında küresel tanecikler meydana gelir. Klinker soğutulduktan sonra az miktarda alçı taşı ile değirmende öğütülerek Portland çimentosu elde edilmiş olur. Standart tanımlamasına göre 'portland çimentosu' klinkere alçıdan başka madde katılmayan çimentodur. Ancak eski dönemlerden beri demir-çelik sektörünün proses atığı yüksek fırın cürufu, termik santrallerde kullanılan taşkömürlerinin yanması sonucu oluşan uçucu kül veya tras gibi endüstriyel veya doğal mineral katkıları içeren çimentolar kullanılmaktadır. Teknolojik ve ekonomik yararlarına ek olarak çevre ile doğa kaynaklarının korunmasına da yardımcı olan katkılı çimentolar gittikçe yaygınlaşmaktadır. Çimento yapımında hem doğal hem de endüstriyel ürünler kullanılabilir (Aydın, 1993; Tokyay, 1997).

1 ton PÇ üretmek için yaklaşık 1600 kg hammadde kullanılır. Bunun %80'ni kalkerli malzemedir, geriye kalanın çoğu da killi malzemedir. Kalkerli malzemeler döner fırının içerisinde ağırlıklarının %44'nü oluşturan karbondioksiti kaybederler. Kalkerli malzemeler; Kireçtaşı, marn. Killi malzemeler; içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şist, kum gibi malzemelerdir.

$\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (900°C) Killi malzemedeki su da sıcaklıkla kaybolur.

Döner fırının üst ucu düşük sıcaklığa sahiptir, hammaddeler buradan konulur. Yatay fırının eğiminden ve dönmesinden dolayı yavaş yavaş aşağı uca doğru hareket ederler ve giderek daha yüksek sıcaklıkla karşılaşır.

Çimento üretiminde iki çeşit sistem vardır.

3.5.1 Yaş sistem

Malzemeler su ile karıştırılarak çamur gibi bir hammadde karışımı kullanılır. Fırında gerçekleşen reaksiyonlar şöyledir.

100°C 'de fırının üst kısmında serbest su buharlaşır. 500-600°C' de killi maddeler oksitlere ayrışır. 600-700°C' de magnezyum karbonat, magnezyum oksit ve karbondioksit dönüşür. 900°C' de kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit ve karbondioksit dönüşür. 900-1200°C' de kireç, silis, alümin arasında reaksiyon başlar. 1250-1280°C' de oksitler eriyik hale gelir. 1280°C 'den sonra çimento bileşenleri meydana gelir. 1350-1450°C 'de başlı başına değişik bir ürün olan klinker elde edilir.

3.5.2 Kuru sistem

Killi ve kalkerli malzeme öğütülür ve kuru durumda bir hammadde karışımı kullanılır. Hammadde yaklaşık 800-900°C' de ön ısıtıcılarda işlem görür daha sonra döner fırına girer. Yukarıda sözü edilen bazı olaylar hammadde döner fırına girmeden tamamlanmaktadır. Oksitler arası reaksiyonlar ve ana bileşenlerin oluşması yaş sistemde olduğu gibidir. Kuru sistem fırınları daha küçüktür. Çünkü kurutma ve ısıtma bu fırınlarda gerçekleşmez. Yani kuru sistem fırınlar sadece kalsinasyon ve sinterleşme içindir. Öğütme esnasında jips ve kalsiyumtrisülfat havanın direncini arttırmak, suyun geçişini önlemek amacı ile ilave edilir. Elektro filtreler hava kirliliğini önlemek amacı ile kullanılır.

3.5.3 Çimento üretiminde yaş ve kuru sistem karşılaştırılması

1. Kuru hammadde bileşiklerinin dozlarını ayarlamak ıslak ve plastik hammadde bileşiklerinden daha kolaydır.
2. Islak proseste, öğütme masrafı azdır, öte yanda kuru proseste enerji tüketimi %30 daha azdır.
3. Kuru proseste çıkış ısısı hesaplanabilir, bu da önemli bir avantajdır.

4. Islak proses seçilirse, fabrikanın kuru prosese göre daha geniş çamur silosunun olması gerekir (% 20)
5. Isı tüketimi ıslak proseste 1300 kcal/kg klinker, kuru proseste 800 kcal/kg klinker avantaj 500 kcal'dir.
6. Kuru proseste sadece kalsinasyon ve sinterleşme fırın içerisinde görülür böylece bu çeşit fırınlar diğerlerinden daha kısadır.
7. Bugünlerde kuru proses daha ekonomik bu nedenle üreticiler 1953 yılından beri bu metodu tercih etmişlerdir (Çataltaş, 1983; Sevimli ve Çamlı, 2002).

Bağlayıcı maddeler

3.5.3.1 Kireç grubu

- a. Yağlı kireç
- b. Su kireci TSE 30

3.5.3.2 Puzolan grubu

- a. Yapay puzolan: Uçucu kül TSE 639
- b. Doğal puzolan : Tras TSE 25

3.5.3.3 Çimentolar

1. Portland çimentoları TSE 19
2. Puzolanlı çimentolar :
 - a) Uçucu küllü çimentolar TSE 640
 - b) Traslı çimentolar TSE 26
3. Cüruf çimentoları
 - a) Kireç esaslı cüruf çimentosu
 - b) Demir portland çimentosu TSE 20
 - c) Yüksek fırın portland çimentosu
 - d) Sülfatlı cüruf çimentosu TSE 809
4. Alüminli çimento
5. Muhtelif çimentolar
 - a) Beyaz çimento TSE 21

- b) Renkli imentolar
- c) Harç imentosu
- d) Hidrofob imentolar
- e) Rtresiz imentolar (Postaciođlu, 1986).



4. PORTLAND ÇİMENTOSUNUN YAPISI VE KİMYASI

4.1 Portland Çimentosu Klinkerinin Yapısı

İsteğe uygun ham karışımın kısmi ergime derecesine kadar (%20-30 sıvı faz) pişirilmesiyle elde edilen klinker başlıca 4 ana kristal yapıya sahip kalsiyum bileşiği karışımından oluşur. Bunlardan ikisi silika, birisi alümina öteki de demir oksitlerinin birlikte bulunduğu kalsiyum bileşikleridir. Klinkerde başlıca kalsiyum oksit (CaO), silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) ana yapı elemanından başka, alkali metal oksitler (Na_2O , K_2O), magnezyum (MgO) ve kükürtlü bileşikler (başlıca alkali metal ve kalsiyum sülfatları olarak) içeren ve klinkerin % 2-6'sı oranında bir miktarını oluşturan bir çok ikincil bileşiklerde bulunmaktadır. Klinkerin 4 ana elemanı şunlardır;

Trikalsiyum silikat ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), C3S olarak belirtilip, genellikle 'Alite' şeklinde adlandırılır. C3S saf olmayıp katı halde, özellikle MgO ve Al_2O_3 gibi bazı ikincil bileşiklerle modifiye edildiği belirtilmektedir.

Dikalsiyum silikat ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), C2S, 'Belit' adı verilir. C2S 'nin değişik kristal yapıları bulunmaktadır. En çok mevcut olanı β -C2S'dir. Safsızlıklar nedeniyle kararlı hale getirilmiş bir yapıdır. Bir başka şekli de γ -C2S olup hiçbir hidrolik özellik taşımadığından varlığı istenmez.

Trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$), C3A şeklinde gösterilir. Bu bileşik, genellikle %9-12 nadiren de % 15'i aşan miktarlarda bulunmaktaysa da çimento karakteristiği üstünde önemli rolü oynar.

Kalsiyum alümino ferrit, bu bileşik genel olarak tetra kalsiyum alümino ferrit $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ veya C4AF olarak ifade edilir. Ancak dikalsiyum ferrit C2F ve dikalsiyum alüminat C2A kombinasyonları ile temsil edilen geniş bir aralığa yayılmıştır. C4AF veya C2AC2F bu kombinasyon aralığının sadece belli bir bileşimini oluşturmaktadır (Peray, 1979; Aydın, 1993).

4.2 Portland Çimentosunun Kimyasal Bileşimi

Çimentodaki klinkerinin kimyasal yapısı alit veya belitin boyutuyla ve CaO içeren reaksiyonun hızıyla tayin edilmektedir. Ham maddenin tane boyutu dağılımı kuvars, CaCO_3 , kil, cüruf, vs (100 μm üstü) nin çeşitli boyutlardaki taneciklerin mevcudiyeti klinker minerallerinin morfolojisini önemli derecede etkiler (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1985).

Alit ve belitin morfolojisi büyük bir ölçüde sıvı fazın miktarına ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olmaktadır (Postacıoğlu, 1986; Peray, 1979).

Portland çimentosunun kimyasal bileşimi, içinde bulunan komponentlerin miktarına göre değişir. Çimentonun kimyasal yapısı, çimento özelliklerini belirleyen değişik faktörler cinsinden ifade edilmektedir. Bu faktörler; silikat modülü, alümina modülü ve kireç doygunluk faktörüdür.

Standart şartnamelerde (Postacıoğlu, 1986), miktarlarının kısıtladığı bir dizi komponent daha bulunmaktadır;

1. Çözünmez kalıntı (ÇK) : Bu asitle çözünmeyen maddeleri ifade etmekte olup genellikle ilave edilen alçı taşından gelen topraklardan oluşmaktadır. Şartnamede belirtilen metoda göre tayin edildiklerinde % 1.5'u geçmemeleri gerekmektedir.
2. Magnezyum oksit : Çimentodaki oranı % 4'ü geçmemelidir.
3. Kükürt trioksit (SO₃) : Çimentoda izin verilen kükürt miktarı SO₃ cinsinden, C3A % 7'den yüksekse % 3'ü, C3A % 7 ya da daha düşükse % 2.5'i geçmemelidir.
4. Kızdırma kaybı (KK) : Normal iklim koşullarında toplam kızdırma kaybı %3'ü, tropikal iklimlerde ise %4'ü geçmemelidir.

4.3 Silikat Modülü

Silikat modülü, çimentodaki SiO₂ miktarının Al₂O₃ ve Fe₂O₃ toplamına oranı olup 4.1 eşitliği ile ifade edilir .

$$S/R = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} \quad \text{veya} \quad (4.1)$$

Bu modüle göre, silis oranı ne kadar yüksekse, diğer faktörler değişmediği takdirde kalsiyum silikat oranı da o kadar yüksek demektir.

4.4 Alümina-Demir Oksit Oranı (Alümina Modülü)

Alümina-demir oksit oranı çimentodaki alüminyum oksitin demir okside oranı olup, 4.2 eşitliği ile ifade edilir.

$$ALM = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} \quad \text{veya} \quad A/F \quad (4.2)$$

Yüksek alümina modülü, mineral yüzeyi üzerinde çatlamaya ve klinker mineral kristallerinin kısmen ve hatta tamamen çözünmesine sebep olur (Yeprem, 1988; Tokyay, 1997).

4.5 Kireç Doygunluk Faktörü (LSF)

Genelde amaç, mümkün olduğu kadar yüksek C3S içerikli bir klinker üretmektir. Tabii ki bu, mevcut malzemenin toplam bileşimine ve işletme koşullarına bağlı bir konudur (Aydın, 1993).

$$LSF = \frac{\%CaO}{2.80x\%SiO_2 + 1.18x\%Al_2O_3 + 0.65x\%Fe_2O_3} \times 100 \quad (4.3)$$

4.3 deki her sembol (toplam çimento ağırlığı itibariyle) oksit yüzdesine karşılık gelmektedir. LSF=1.0 (veya %100) olduğu zaman mevcut silikanın maksimum miktarı C3S formunda olup SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO sisteminde pişme sıcaklığında serbest kireç bulunmamaktadır. LSF'nin 1.0'den daha düşük değerlerinde SiO₂'nin C3S oranı da giderek azalır ve C2S miktarı yükselir.

İkincil Elementler

Çözünmez kalıntı

Bu komponent klinkere ilave edilen alçı taşından kaynaklanır. Genellikle silisli kil türünde bir malzemedir. Az bir kısmı da klinkerdeki birleşenlerin silisli kalıntılarında veya klinkere geçen fırın astar malzemesinden oluşur (Aydın, 1993).

4.5.1 Manganez

En çok Mn₂O₃ halinde bulunur ve C4AF oluşumunda demire benzer bir reaksiyon gösterir. Normalde etkisi önemsenmemekle beraber fazla miktarda mevcut olursa alümina ve silikat modüllerini düşürür (Aydın, 1993).

4.5.2 Titanyum

Katı silikat çözeltisinde TiO₂ halinde ve diğer fazlarda muhtemelen kalsiyum titanat halinde bulunur (Aydın, 1993).

4.5.3 Fosfor

Bu elementin en fazla, dikalsiyumsilikat fazındaki katı çözeltide bulunduğu sanılmaktadır. Az

miktarlarda mevcut olduğundan (%0.2-0.3 P₂O₅ optimum aralıklarda) çimento üzerinde olumlu bir etkisi vardır.

4.5.4 Magnezyum oksit

MgO belli bir oranda CaO gibi davranır. Böylece çimentonun LSF'ni etkin bir şekilde artırır ve kompozisyonu büyük ölçüde etkiler. Bu bileşiğin, alüminyum oksidin bir kısmı ile birlikte C₃S'nin yapısına katı çözültü olarak girdiği bilinmektedir. Magnezyum ve alüminyum oksit birlikte, mevcut alite'in %5'ini oluşturabilir. Pişirme sıcaklığında sıvı faz C₃A ve C₄AF'den oluşur. Bu faza silika ve kalsiyum oksit fazlası ile %5'e kadar MgO (sıvı bileşen olarak) girebilmektedir. Klinker soğuduğu zaman MgO, C₃A ve C₄AF'nin yapısına girer ve belli bir seviyeye kadar da C₂S'deki CaO'in yerini alabilir. MgO'nun klinkerde % 2'ye kadar bu şekilde bünyede kalabildiğine ve çimento ana bileşikleri arasına girebildiğine inanılmaktadır. MgO fazlası veya düzensiz dağılımından dolayı bünyeye girmemiş olan MgO birleşmemiş MgO olarak periklas şeklinde bulunur. Bu serbest MgO, hidratasyona uğramış çimento harçları ve betonun bozulmasına yol açar. Çünkü hidratasyonun yavaş olması zaten sertleşmiş olan malzemede tahrip edici genişleme kuvvetleri doğuracaktır. İşte sırf bu yüzden portland çimentosundaki MgO varlığı için % 4 kadar bir sınırlama getirilmiştir (Aydın, 1993).

4.5.5 Kükürt trioksit

Çimentodaki SO₃'ün iki kaynağı vardır. Bu oksit ya da birden fazla CaSO₄ türü olarak bünyeye girer veya kullanılan yakıttaki kükürdün yanması ile klinkere karışıp klinker öğütüldüğü zaman çimentoya geçer. Klinker sülfatını genellikle alkali sülfatlar oluşturur. Fakat % 0.5 veya daha fazla SO₃ içeren klinkerlerde CaSO₄ oranı çimentonun SO₄ ve alkali konsantrasyonlarına göre giderek artar. Böyle durumlarda CaSO₄, K₂SO₄ ile bir çift tuz teşkil eder. Bu şekliyle aktif bir çözünür formda bulunur. Klinker sülfatları çok nadiren susuz CaSO₄ şeklinde bulunur. Bu tip CaSO₄ çok yavaş çözüldüğü için donmanın geciktirilmesi açısından oldukça düşük bir aktiviteye sahiptir (Aydın, 1993).

4.5.6 Kızdırma kaybı

Su ve CO₂'den kaynaklanır. Su, ilave edilen alçı taşından gelen CaSO₄'e bağlı olarak bulunur ve serbest kalsiyum oksitin bir kısmına Ca(OH)₂ olarak bağlanmasıyla sisteme girer. CO₂ miktarı az olabilir. Bu da serbest veya bağlı kirecin öğütme sırasındaki kısmı kombinasyonundan ya da % 1'lik bir seviyeye kadar, genelde ilave edilen alçı taşında mevcut

olabilecek CaCO_3 'ten ileri gelebilir. Bu ikinci durumda, bilinen LSF hesaplamaları gerçek rakamdan % 2 daha yüksek çıkabilir. Bunun sebebi de CaCO_3 den oluşan CaO 'in bağı kireç gibi ifade edilmesidir.

Havalandırılmış çimentoda (aerated cement) genellikle suyun içinde eser miktarda kalsiyum alüminat ve silikat hidratlara bağı hidratasyon suyu bulunur ve çimento elemanlarının CO_2 'i bağlaması nedeniyle de CO_2 oranı yükselir.

4.5.7 Alkaliler

Alkaliler, özellikle K_2O , sülfat şeklinde mevcuttur. Ama her zaman klinkerde bunları bağlayacak miktarda sülfat bulunmamaktadır. Sülfat şekline giremeyen alkaliler çimento klinkerinin ana elemanlarına CaO 'ü ikame etmek üzere girerler ve böylece tıpkı MgO 'da olduğu gibi kireç doygunluk faktörünün etkili bir biçimde yükselmesine ve bileşimin C3S miktarı artacak yönde değişmesine yol açarlar. Aslında alkalilerin büyük bir kısmı eğer sülfat şeklinde bağlanmamış ise kalsiyum alüminat ve silikat fazlarında yer almayı tercih etmektedirler (Aydın, 1993).

5. PUZOLANLAR

Yalnız başına kullanıldığında bağılı madde olmayan, kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman su ile yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı madde özelliği kazanan maddelere puzolan denir. Puzolanların içinde fazla miktarda kolloidal halde silis ve alümin bulunmaktadır. Bu maddelerin kireç ile reaksiyonu sonunda puzolan bağlayıcılık özelliği kazanır. Puzolan ile portland çimentosu karıştırıldığı zaman, çimentonun hidrotasyonu sonunda oluşan Ca(OH)_2 , SiO_2 , Al_2O_3 arasında oluşan reaksiyon sonunda puzolan yine bağlayıcılık özelliğine sahip olur (Massazza, 1989; Mehta, 1983, 1986; Biricik, 1995). Reaksiyon sonunda Ca(OH)_2 miktarı tespit edilir. Bir puzolanın reaksiyon sonunda tespit ettiği kireç miktarı ne kadar fazla ise reaktivitesi o kadar büyüktür yada puzolanik özelliği o kadar yüksektir denilir. Costo ve Massazza'nın araştırmaları sonunda bu özelliğin puzolanın özgül alanına bağılı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle maddenin puzolanik özelliğini arttırmak için çok ince tane boyutuna getirmek gerekir. Puzolanik özelliğe etki eden bir diğer faktör ise, puzolanın içerdiği reaktif maddeler amorf veya camsı ve zeolitik fazda bulunan Al_2O_3 ile SiO_2 'dir. Kristal halde alümin ile silisin reaktif özellikleri yoktur. Diğer yandan puzolanik özellik Al_2O_3 ile SiO_2 'in kireç ile yaptığı reaksiyon sonunda meydana geldiği için bir puzolanda (CaO) 'in az miktarda bulunması gerekmektedir. Bu açıklamaya göre puzolan maddelerde SiO_2 , Al_2O_3 fazla miktarda bulunmalı CaO az miktarda yer almalıdır. A.S.T.M.'nin (C618 - 72) nolu standardında bir puzolanda $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 0,70$ olması gerekmektedir. Diğer taraftan CaO miktarı da %4'ü geçmemelidir. Bu özelliklerin sağlanması ile madde puzolanik özelliği tamamen gösteriyor demek değildir. Bunu açıklamak gerekirse, puzolanda silis ve alümin reaktif halde bulunması içerdiği SiO_2 ve Al_2O_3 amorf yapıya sahip değil ise o maddenin puzolanik özelliği göstermesi beklenemez. Bir maddenin kimyasal analiz sonuçları olumlu olsa bile ayrıca mekanik deneylerin yapılması uygundur. Bunun için önerilen kimyasal deneyde puzolanlı çimento (karışımın %20-40 puzolandan ve %80-60 da portland çimentosundan oluşan karışım) belirli koşullar altında 7 gün su içinde bırakılır. Bu süre içinde puzolanın bir kısmı çimentonun hidratasyonu sonunda oluşan Ca(OH)_2 ile birleşir, birleşen puzolanı tespit etmek mümkündür. Tespit edilmeyen puzolan ise puzolanlı çimentonun içindeki bulunduğu suda çözülür. Aynı deney puzolansız çimento için tekrarlanır. Deney sonunda puzolanlı ve puzolansız çimentoların içinde bulunduğu sularda çözülmüş Ca(OH)_2 miktarları saptanır. Puzolanlı çimento için kirecin bir kısmı tespit edildiği için Ca(OH)_2 miktarı daha az bulunacaktır. İki kireç miktarını birbirine oranının (puzolanlı-

çimentodakinin, puzolansız çimentodakine oranı) belirli bir değerden küçük olması halinde maddenin puzolanik özelliğe sahip olduğu kabul edilir (Massazza, 1989).

5.1 Doğal ve Suni Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki büyük gruba ayrılır. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi doğal puzolanlar, piroklastik kayalar, değişik orijinli maddeler, kırıntı taşlardır (Spence, 1974; Neville, 1990; Malinowski ve Garfinkel, 1991). Bu maddeler dünyanın belirli yerlerinde bulunmaktadır. Doğal puzolanın en önemlisi Almanya'da Ren vadisinde çıkarılan Tras adı verilen puzolandır. Bu madde üstün özelliklere sahip olduğu için bir çok ülkede ve bu arada Türkiye'de puzolan sözcüğünün yerini almıştır. İkinci önemli puzolan yatağı İtalya'da Roma ve Napoli arasında yer almaktadır. Yüksek nitelikte puzolanların bulunduğu bir diğer yerde Ege denizinde Yunanistan'a bağlı Santorin adalarıdır. Ülkemizde Çorum civarında Mecitözü'nde geniş puzolan yatakları bulunmaktadır. Doğal puzolanlarda aranılan kimyasal özellikler TS 25'e göre aşağıda verilmiştir.

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	en az	%70
MgO	en çok	%5
SO_3	en çok	%3
Rutubet	en çok	%10

Suni puzolan olarak bilinen maddelerin en önemlilerinden biri pişmiş kildir. Bu sebeple kil bileşimine bağlı olarak 600-900°C arasında pişirilir. Elde olunan madde çimento inceliğinde öğütüldükten sonra çimentoya belirli oranlarda karıştırılarak kullanılır. Tuğla ve kiremit tozunun bir bağlayıcı madde ile karıştırılması da aynı sonucu verir. Ülkemizde eski eserlerin, kışlaların, köprülerin yapımında tuğla tozu ve kireç karışımından ibaret Horasan denilen bu bağlayıcı madde oldukça geniş ölçüde kullanılmıştır .

Yüksek fırın cürufu, yüksek fırında demir cevheri, ergitici (CaCO_3) ve kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonunda ham demir üretilir. Demir- çelik endüstrisinde ham demir üretimi sırasında cüruf atık olarak ortaya çıkar. Fırının altından alınan cüruf çimento fabrikalarında değirmende klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütülerek cüruf çimento halinde kullanılır. Cürufun puzolanik özellikleri soğutma şekline yavaş veya ani soğutmaya ve demir cevherine göre değişir (Khayot ve Aitein, 1992; Biricik, 1995).

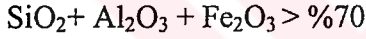
Uçucu kül, kömür yakan güç tesislerinde, baca gazı akışı ile giden ve mekanik ayırıcılar, elektrostatik çöktürücüler veya torba filtreler vasıtasıyla uzaklaştırılan yanma artık

maddeleridir. Uzun zamandan beri, ekonomik ve teknolojik fayda sağlamak için Portland çimentosuna katkı maddesi veya betonda aktif ilave madde kullanılmaktadır (Sersale, 1983; ACI Committee, 1987; Shannag ve Yeğınobalı, 1995; Paya vd., 1996).

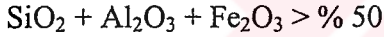
Uçucu küller, toz haline getirilmiş fosil yakıtların (ziftli kömürler, linyit kömürleri veya ikincil bitümlü kömürler) termik santrallerde yakılması ile ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince killer elde edilir. Yanma gazları ile kolay bir şekilde çekilen uçucu kül adı verilen bu küllerin yüzey alanları, 2000'den 5000 cm²/g'a (Blaine permeabilimeter metodu) kadar değişir. Uçucu külün kristal yapısında kuvars, mullit, hematit, magnetit iken esas bileşen %60'dan %90'a kadar değişen oranlarda camdır. Linyit ve ikincil bitümlü kömürlerin yanmasıyla oluşan küller yüksek yüzdelerde kalsiyum oksit içerirler. Kalsiyum oksit miktarı serbest kalsiyum oksidin söndürülmesinden sonra doğrudan, hidrolik bağlayıcılar gibi ek maddeler eklemeyen kullanmayı mümkün kılar.

Kömür tipine ve kimyasal bileşimine göre uçucu küller ikiye ayrılır (ASTM C 618)

a. F sınıfı: Antrasit veya bitümlü kömür külleri.



b. C sınıfı: Linyit veya ikincil bitümlü kömür külleri.



Silikat dumanları, metal silis veya değişik demir- silis alaşımlarının elektrik ark fırınlarında üretimi sırasında ortaya çıkar. Elektrik ark ısısında, havada oksitlenen ve SiO₂ mikroküreleri şeklinde çöken SiO₂ dumanları oluşur. Bu maddenin silikat içeriği çok yüksektir (% 90). Tanecik inceliği çok düşüktür (13- 23 m²/g). Bu özelliklerinden dolayı yüksek bir puzolanik aktiviteye sahiptir (Mehta, 1987; Gibergues vd., 1989; Dewiler ve Mehta, 1989; Khayot ve Aitein, 1992).

Pirinç kabuğu külleri, genelde bitkilerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan atıklardır. Yüksek oranda silikat içerirler. Bir ısı vasıtasıyla, fırınlandıktan sonra şekilsiz silis oluşur. İnce öğütüldükten sonra kalsiyum okside karşı reaktif hale gelir. Puzolanik özelliğe sahip bir maddedir (Mehta ve Pitt, 1976; Mehta, 1977, 1978; James ve Rao, 1986; Hwang ve Wu, 1989; Boateng ve Skeete, 1990).

Şekil 5.1'deki doğal ve suni puzolanlara eklenen yeni bileşimler mevcuttur. Bu çalışmalar her geçen gün artmaktadır.

5.2 Puzolanik Aktivite

Puzolanların en önemli özelliği kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmeleri ve sertleşme kapasitesinin iyi olmasıdır. Puzolanik aktivitede faz ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$), ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) içeriği, BET spesifik yüzey alanı gibi farklı fizikokimyasal faktörlerin etkisi vardır (Bayoğlu, 1997). Aynı zamanda sertleşme kapasitesinin de iyi olması gerekmektedir. Puzolanik aktiviteyi belirleyen diğer faktörler aşağıda açıklanmıştır.

Kimyasal bileşim: Doğal ve suni puzolanların her ikisinde alüminyum oksit, demir oksit ve silikat varlığı ile asidik özelliğe sahiptir.

Termodinamik kararsızlık: Kimyasal sistemdeki kararsızlığın, bu sistemde gerçekleşen reaksiyonların bir sonucu olduğu bilinmektedir. Puzolanik maddelerin camsı yapısının kristal faza göre çok daha reaktif olduğu bulunmuştur.

Özgül yüzey alanı : Puzolanik aktivite de, puzolanların yüksek özgül yüzeyine sahip olmaları istenir. Puzolana ısıtma işlem uygulanması çoğu zaman istenmeyen özelliktir. Bunun sebebi ısının belli değerleri aşmasıyla, camsı faz kristalleşir bu da puzolan için iyi değildir. (Massazza, 1989).

5.3 Kireç- Puzolan Reaksiyonunun Mekanikliği

Kireç- puzolan reaksiyonunun mekanikliği için iki varsayım mevcuttur. Birincisi, doğal puzolanlarda alkali bakımdan zengin zeolit bileşimleri vardır. Bundan yola çıkarak yumuşatma suyu içerisindeki Ca^{++} iyonları ile zeolitte yer alan alkali iyonları değişimini puzolanik özellik olarak kabul etmektir. Ama bu varsayımın açıklayamadığı bazı durumlar mevcuttur. Puzolanda kireç miktarında meydana gelen artış, alkalilerde ise meydana gelen azalma ile sabitleşen kireç miktarı azalan alkalilerin miktarından çok daha fazladır. Ayrıca, zeolitlerde meydana gelen yer değiştirmede kristal kafes aynı kalırken, puzolanda ilk başta var olan faz değişime uğrar. Bunun yanı sıra zeolitik aktivitede alkali miktarı düşük olduğu için puzolanik aktiviteyi açıklamadığı görülür.

İkinci varsayımda ise puzolan, kireç ve su arasında mevcut orijinal bileşimler yok olup, yenileri oluşurken gerçekleşen reaksiyon kimyasal reaksiyon olarak kabul edilir. Bir çok deney sonrası puzolan-kireç reaksiyonunda ortaya çıkan ürünlerde, portland çimentosunun hidratasyonu sonrası açığa çıkanlar ile aynı olması düşüncesi gerçeği yatar.

Yapılan en son çalışmalarda zeolitlere benzer özellikler gösteren maddelerin, kalsiyum hidroksite karşı camsı puzolanlardan daha reaktif olduğunu ortaya çıkarmıştır (Massazza, 1989).

5.4 Puzolanik Aktivitenin Değerlendirilmesi

Maddenin puzolanik olup olmadığını belirlemek için puzolanik aktivitesini belirlemek gerekir. Bu bütün maddelere uygulanabilir ancak maddenin kullanım karakteristiği, hız ve hassasiyet açısından genel bir test metodu mevcut değildir. Bunun en önemli sebebi puzolanik aktivitenin bir çok faktöre bağlı olmasıdır. Bir maddenin puzolanik aktivitesini belirlemek için uygulanan üç metot vardır. Fiziksel, kimyasal ve mekanik tayinler yapılması gerekir.

Kullanılan en eski kimyasal metot Vicat'a kadar uzanır. Burada amaç, hidratlı kireç veya portland çimentosuyla karıştırılan puzolanın sabitleştirdiği kireç miktarını belirlemeye dayanır. Maddenin inceliği, kireç-puzolan oranı, sıcaklık deneyleri etkin birer parametrelerdir.

Puzolanik aktivite fiziksel metotlarla da belirlenir. Kalorimetrik, kimyasal metot da puzolanın nitrat-HF karışım içinde erimesi sırasında ve bir saatlik aşınma sonunda çözünmeyen kalıntının erimesiyle açığa çıkan ısıya bakılır ve puzolan değerlendirilir.

Puzolanik özelliği belirlemenin bir diğer kriteri de, puzolan içeren çimento pastalarında özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleşir. Bunun sebebi, değişik kalsiyum hidroksit emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir.

Puzolanik aktiviteyi değerlendirme metodunun üçüncüsü, puzolan- kireç ve puzolan- çimento harçlarının mekanik sağlamlığını ölçmeye dayanır (Massazza, 1989).

5.5 Puzolanlı Çimentolar

Puzolan ve portland çimento karışımına puzolanik çimentolar denilir. Puzolanlar yağlı kireç ile karıştırıldığında mukavemeti iyi olmayan bir bağlayıcı madde elde edilmektedir. Ama puzolan-portland çimento karışımının mukavemeti yeterince yüksek değer almaktadır. Bu yüzden puzolanlı çimentolar betonarme yapılarda rahatlıkla kullanılabilir.

Portland çimentosunun hidratasyonu sonunda meydana gelen serbest kireç suda çözünür ve bu maddenin mukavemetinin düşük olması çimentonun en zayıf tarafını oluşturur. Çimentoya karıştırılan puzolan serbest kireçle birleşmek suretiyle bu maddenin çözünmesini önler ve

mukavemetini arttırır. Puzolanlı çimentoların portland çimentolarına göre üstünlükleri şöyle sıralanır:

- a. Kimyasal mukavemette iyi bir artış vardır. Bundan dolayı puzolanlı çimentolar her türlü zararlı suların etkisine, karıştırıldığı çimentodan çok daha fazla dayanıklıdır.
- b. Puzolanlı çimentolarda priz esnasında açığa çıkan ısı miktarı, çimentoda meydana gelenden çok daha azdır. Bu nedenle bu çimentolar baraj inşaatında kullanılmaya çok elverişlidir.
- c. Puzolanlı çimentoları kullanmakla, serbest kirecin tespit edilmiş olmasıyla geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek mümkündür.
- d. Bu çimento ile üretilen betonlar geçirimsizliğin daha az olmasından dolayı donmaya karşı daha dayanıklıdır.
- e. Puzolanın çimentoya karıştırılması ile bağlayıcı maddenin maliyetinde önemli bir azalma sağlanır.

Bu üstünlüklere karşı puzolanlı çimentoların kullanılmasının bazı sakıncaları vardır.

- a. Puzolanların çimentoya karıştırılması mekanik mukavemetlerin zamanla artış hızını bir miktar düşürür. Bu durum puzolanlı çimentolarda hidrasyon reaksiyon hızının daha düşük olmasından ileri gelir. Bundan dolayı bu çimentoların ilk günlerdeki mukavemeti, portland çimentosunun aynı günkü mukavemetinden düşük olmaktadır. Mukavemetteki bu azalma zamanla azalarak en sonunda tamamen kaybolur. Hatta puzolanlı çimentoların en son mukavemeti, kirecin tespit edilmiş olmasıyla, çimentonun mukavemetinden daha büyük bir değer alabilir.
- b. Hidrasyon hızının daha az olmasından dolayı puzolanlı çimentolar soğuk havalarda kullanılmaya elverişli değildir.
- c. Puzolanlı çimentolar kullanılarak üretilen betonların daha uzun süre ve daha iyi koşullar altında korunması gerekmektedir.

Puzolanlı çimentoların kullanılması halinde meydana gelen sakıncalı durumlar, sağlanan üstünlükler yanında önemsiz olduğu için bu çimentoların üretimi ve bazı noktalar göz önüne alınarak kullanımı mümkündür.

Ülkemizde puzolanlı çimento olarak bilinen 'traslı çimento' ve 'uçucu küllü çimento' olmak üzere iki tür çimento üretilmektedir. TS 26 Traslı çimento standardına göre traslı çimento

ağırlıkça % 20-40 arasında tras ve % 80-60 arasında portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesinden oluşan hidrolik bir bağlayıcıdır. TS 640 uçucu küllü çimento standardı bu çimentoyu şu şekilde tanımlar: Uçucu küllü çimento ağırlıkça karşılıklı olarak %10-30 oranında uçucu kül ile %90-70 oranında portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı katılmasıyla birlikte öğütülmesinden elde edilmektedir.

Puzolanların özgül ağırlıkları çimentonunkinden daha düşüktür. Bundan dolayı aynı ağırlıktaki portland çimentosununkinden daha büyük olacaktır (Postacıoğlu, 1986).

Puzolan veya uçucu külün kabul edilebilir en yüksek miktarı %20'den %40'a kadardır. Standartların çoğu doğal ve suni puzolanlar arasında farklılık göstermez (Massazza, 1989).

5.6 Puzolan İçeren Çimentoda Gerçekleşen Reaksiyonlar

Bir puzolanik tepkime, puzolanik malzeme ile nemli ortamda Ca(OH)_2 arasında oluşur. Reaksiyon sonucunda portland çimentosu hidrasyon ürünlerine benzeyen hidrolik bağlayıcı nitelikte ürünler veren tepkimedir.

Puzolanik malzemeler ile tepkimeye giren kireç ve portland çimentosu hidrasyonu süresince açığa çıkan Ca(OH)_2 dir.

Puzolanik malzemeler SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği yüksek, kristalin yapıları bozuk amorf silikatlardır (Urhan, 1994).

5.7 Puzolanik Reaksiyon Tepkime Mekanizması

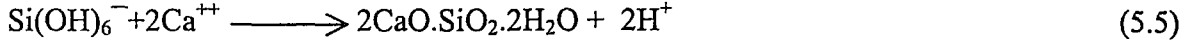
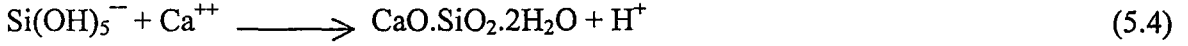
Puzolanik malzeme pH'ı yüksek alkali bir ortamda OH^- iyonlarının etkisi ile çözünme reaksiyonu verir (Urhan, 1991). Kristal yapının düzensizliği oranında çözünürlük de artar.

Portland çimentosu yada kirecin su ile reaksiyonu sonunda ortaya çıkan OH^- iyonları, puzolanik malzemenin yüzeyinde hapsolür. Aşağıdaki reaksiyonlarda görüldüğü gibi silisilik asit oluşur.

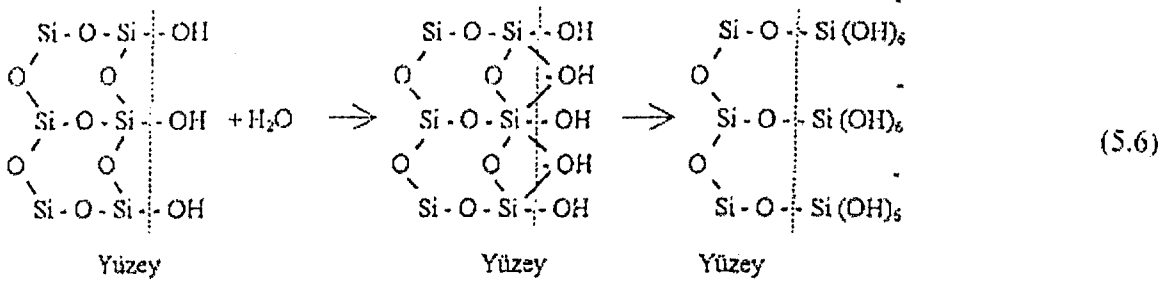


pH'ı 11 den yüksek olan çözeltilerde ortamda daha çok Si(OH)_6^- bulunur. Si(OH)_6^- ların (-) yükleri Ca^{++} , K^+ ve Na^+ iyonları ile nötralize edilebilir. Ca^{++} iyonu diğerlerinden daha büyük

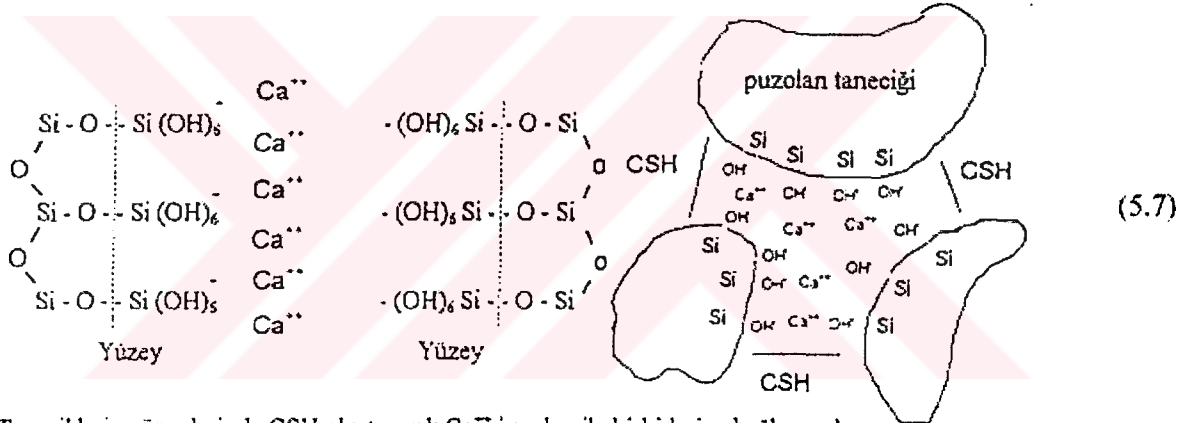
bir kuvvetle yüzeyde tutulduğu için negatif yükler, nötralleştirir. Ca^{++} in bir H^+ ile yer değiştirmesi sonucu kalsiyum silikatlar oluşur (denklem 5.5);



Puzolanik tepkime mekanizması şematik olarak Şekil 5.2 de verilmiştir.



Yüzeysel çözünme



Taneçiklerin yüzeylerinde CSH oluşturarak Ca^{++} iyonları ile birbirlerine bağlanırlar.

Şekil 5.2 Puzolanik tepkime mekanizması

Puzolanik tepkimelerde, silikatlı malzeme çözünerek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyonu sonucu yani ürünlerin oluşmasından çok puzolanik malzeme taneçiklerinin, yüzeysel çözünmeleri ile çözünen kısım $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girmekte ve yüzeyde oluşan CSH ile birbirine bağlanmaktadır.

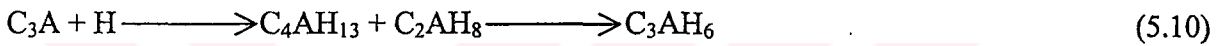
Bazı puzolanik tepkimelerde uçucu kül-portland çimentosu (Diamond vd., 1980; Faray vd., 1989), cam taneleri-portland çimentosu (Barnes vd., 1978) karışımında olduğu gibi puzolanik malzeme yüzeyinde geliştiği ve çözünmenin tam olmadığı görülmüştür.

Kristal haldeki silikatın öğütülmesi sırasında yüzeydeki yapıların bozulduğu ve bu yüzden puzolanik özellik kazanmaları, malzemenin yüzeyinde geliştiğini gösterir (Henderson vd., 1970; Alexander, 1960).

Tepkime boyunca puzolanik malzeme çözünmediği için bünyelerinde taşıdıkları alkalileri çimentonun gözenek çözeltisine geçme olanağı da olmaz.

5.8 Tepkime Ürünleri

Puzolanik tepkime sonunda oluşan silikat hidratlar, portland çimentosu hidratasyon ürünlerine benzer. Portland çimentosu hidratasyon tepkimesi aşağıda görüldüğü gibidir.



Trisülfat

monosülfat



Portland çimentosu-puzolan ve kireç-puzolan karışımlarında oda sıcaklığında saklanarak yapılan incelemelerde

- CSH olarak belirtilen jel yapıdaki tabermoritik silikat
- CSH olarak belirtilen kristalin yapıdaki kalsiyum silikat
- C_4AH_{13} ve C_3AH_6 olarak nitelenen kalsiyum-alüminyum hidratlar saptandı.

Ortam sıcaklığının artması ile alüminatlı hidrat oluşumuna rastlanmaktadır. Çimento hidratasyon ürünleri ile puzolanik tepkime hidratasyon ürünleri arasındaki en önemli fark puzolanik tepkime ürünleri arasında demir içerikli hidratasyon ürünü olmamasıdır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda, Eczacıbaşı Karo Seramik A.Ş. Bozüyük tesislerinden temin edilen atık sır numunesi ve Set Italcementı Grup Anadolu Çimentoları A.Ş.'den alınan Portland çimentosu ve Tras örnekleri kullanıldı. Sırlı atık malzemenin kimyasal analizi Çizelge 6.1 de, portland çimentosunun kimyasal analizi Çizelge 6.2 de, trasın kimyasal analizi Çizelge 6.3 de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Sırlı atık malzemenin kimyasal analizi

SiO ₂	% 56.86
Al ₂ O ₃	% 17.46
Fe ₂ O ₃	% 0.39
CaO	% 5.24
MgO	% 2.17
SO ₃	% 3.83
K ₂ O	% 0.43
Na ₂ O	% 0.92
P ₂ O ₅	% 0.1
TiO ₂	% 0.26
MnO	% 0.04
Cr ₂ O ₃	% 0.07
KK	% 7.90

Çizelge 6.2 Portland çimentosunun (PÇ 42.5) kimyasal analizi

SiO ₂	% 20.07
Al ₂ O ₃	% 4.43
Fe ₂ O ₃	% 3.56
CaO	% 63.91
MgO	% 1.09
SO ₃	% 2.62
K ₂ O	% 0.65
Na ₂ O	-
KK	% 3.69

Çizelge 6.3 Kullanılan Karamürsel trasının kimyasal analizi

SiO ₂	% 65.33
Al ₂ O ₃	% 15.23
Fe ₂ O ₃	% 3.35
CaO	% 5.07
MgO	% 0.70
SO ₃	% 0.65
K ₂ O	% 1.74
Na ₂ O	% 3.21
KK	% 6.14

6.2 Kullanılan Cihazlar

Çimento ve sırlı yer ve duvar karosu atıklarının hazırlanmasında bilyalı Linatex marka değirmen kullanıldı. Numunelerin kimyasal analizleri OXFORD LABX3000 X-ışınları Spektrofotometresinde yapıldı. Numunelerin JSM-5410LV (Low Vacum) taramalı elektron mikroskobu ile SEM fotoğrafları çekildi. Partikül büyüklüğü Ankersimid CIS-100, tanecik dağılım Ankersimid DSA-10 cihazı ile yapıldı. Sırlı atık malzemenin, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğinde Philips PW 3040 XRD cihazı ile difraktogramı alındı. Sırlı atık malzemenin, Varian Spectra A-20 atomik absorpsiyon cihazı ile bor esaslı olmayıp Pb esaslı olduğu belirlendi. Çimento numunesinin fiziki ve mekanik deney metodları TSE 24 'de belirtilen cihaz ve malzemeler kullanılarak yapıldı.

6.3 Numune Hazırlama

Sırlı yer ve duvar karosu atıkları çıkarıldığı fabrikada değişik birimlerden alınıp fiziksel ve kimyasal analizlerin yapılması amacıyla etüvde kurutulup, tane boyutları 40 µ ve 90 µ elek altına getirildi. Kurutulan numuneler, LİNATEX marka değirmende öğütüldü. Bu işlem sonunda elde edilen sırlı yer ve duvar karosu atığına aktivite testi, fiziksel ve kimyasal analizler yapıldı. TS 24'de belirtilen şekilde numuneler hazırlandı.

6.3.1 Puzolanik aktivite deney numunesinin hazırlanması

Aktivite deneyi için kullanılan numune miktarları Çizelge 6.4 de görülmektedir.

Çizelge 6.4 Puzolanik aktivite deneyi için karışım miktarı

Kullanılan Numune	Kullanılan Miktar (g)
Sönmüş Kireç [Ca(OH) ₂]	150
Tras	$2 \times 150 \times \frac{\text{Katkı mad. özg. ağırlığı}}{\text{Sönmüş kireç özg. ağırlığı}}$
Standart Kum (TS 819)	1350
Su	0.5(150+T)

6.3.2 Mukavemet deney numunelerinin hazırlanması

Burada önemli olan harcın bileşimidir. Ağırlıkça 1 kısım çimento, 3 kısım TS 819'da verilen kum ve 1/2 kısım suyun karıştırılması ile hazırlanır. Harcın hazırlanmasında, dökülecek 3 kalıp numune için 450 g çimento, 1350 g kum ve 225 g su tartılır. Tartımlar hassas terazide yapıldı. Harcın sıcaklığı için $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ olan bir oda hazırlandı. Çimento, kum, su, kalıplar ve karıştırıcının da aynı sıcaklıkta olması için bu oda içinde en az 12 saat bekletildi. Deney yapılan odanın neminin % 50 - % 60 arasında olması sağlandı. Harcın karıştırılması için TS 24'de belirtilen doldurma şekli uygulandı. Sonra, kalıplara numara verilip nem odasına kaldırılır. Kalıplar $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve en az % 90 nemli bir oda içinde 20-24 saat bekletildikten sonra kalıplardan söküldü. Kırılmalar 2, 7, 28 gün sonra yapıldı.

6.4 Yapılan Deneyler

6.4.1 Puzolanik Aktivite deneyi

Puzolanik aktivite deneyi TS 24'de belirtilen Rilem Cembureau metoduna göre hazırlandı. Her deney için en az üç numune hazırlandı. Numuneler 24 saat oda sıcaklığında ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) bekletildi. Bu süre sonunda kalıplar sökülmeden $55 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir etüv içinde 6 gün bekletildi. Kırılma işleminden 4 saat önce etüvden çıkarıldı ve oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Basınç mukavemet değerleri kontrol edildi (TSE 25, 1975).

6.4.2 Normal Kıvam Tayini

Deney $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve % 50 - % 60 nemli bir odada yapıldı. 0.1 g hassasiyete sahip terazide tartılan 300 g çimento (25-30 cm çapında, 8-10 cm derinliğinde) bir metal kaba konuldu. Çimentonun içine kütlesinin % 25- 30'u kadar musluk suyu ilave edildi. Karışım

iyice yoğrularak bu işleme 3 dakika devam edildi. Bu işlemde sonra hamur vikat halkası içine yerleştirildi. Vikat aleti hazır hale getirilip hamur yerleştirildi. Deney boyunca aletin sarsıntıya maruz kalmaması sağlandı. İşlem birkaç kez tekrar edildi ve çimento için gereken su miktarı tayin edildi (TSE 24, 1985).

6.4.3 Priz başlama ve sona erme süreleri

Deney, $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve nisbi nemi % 50 - % 60 olan bir oda içinde yapıldı. Normal kıvam tayini için hazırlanan hamur vikat halkası içine yerleştirildi. Priz başlama süresi için iğne her 5 dakikada bir hamura batırıldı. Dikkat edilmesi gereken iğnenin bir defa girmiş olduğu yere bir daha girmemesini sağlamaktır. Çimento hamuruna batan iğne, cam levhaya 3 - 5 mm uzaklıkta kaldığı an, priz başlamış sayılır. Çimento ile suyun karıştığı andan priz başlangıç anına kadar geçen zaman, priz başlama süresini verir. Vikat iğnesi, hamura en çok 1 mm batıncaya kadar batırılışlara devam edilerek priz bitme süresi tayin edildi (TSE 24, 1985).

6.4.4 Hacim genleşme deneyi

Normal kıvam tayininde hazırlanan hamur kullanıldı. Deney düzeneğine hamur yerleştirildi. Düzenekteki ipler veya pullar çözüldükten sonra çubuk uçlarının açıklığı 0.1 mm hassasiyetle ölçülür (a) kalıplar, çubuğun durumunu bozmadan sıcaklığı $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ olan su içine dikkatle daldırıldı. Hamur kalıba yerleştirildikten 24 saat sonra çubuk uçlarının açıklığı ölçüldü (b). Kalıp uçları yukarıya gelecek şekilde bir beher içindeki suya daldırıldı. Bu beher 35-40 dakika yavaşça ısıtıldı. İşleme 4 saat devam edildi. Bunun sonunda, numuneler laboratuvar sıcaklığına kadar soğutuldu ve çubukların uçları tekrar ölçüldü (c).

(b-a), (c-b),(c-a) mm cinsinden ayrı ayrı hesap edildi. (c-a) mm cinsinden toplam hacim genleşmesi verildi (TSE 24, 1985).

6.4.5 Tane büyüklüğü tayini

Deney, elek sarsma makinesinde $90 \mu\text{m}$ - $200 \mu\text{m}$ elek aralığında yapıldı. $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip etüvde numuneler kurutuldu. Hassas terazide tartılan numune 100 g olarak alındı. Tartılan numune $200 \mu\text{m}$ göz açıklığı olan elek üstte, $90 \mu\text{m}$ göz açıklığı olan elek onun altında ve toplama tavası en altta olmak üzere sıralı bulunan eleklerle konuldu. Numune 15 dakika elek sarsma makinesinde elendi. Bu süre sonunda $200 \mu\text{m}$ göz açıklığı olan elek üstü kalıntı tartıldı (m_2) ve kayıt edildi. $90 \mu\text{m}$ göz açıklığı olan elek üstü ağırlığı belli bir kaba alındı ve tartıldı. Numune tekrar $90 \mu\text{m}$ göz açıklığı olan eleğe konuldu. 5 dakika daha el ile

eleme yapıldı ve tartıldı. İki tartım arasındaki fark 0.1 g dan az oluncaya kadar el ile elemeye devam edildi. 90 µm göz açıklığı olan elek üstü kalıntı tartıldı ve gram olarak kaydedildi (m_1). 90 µm göz açıklığı olan elek üstü toplam kalıntı (m), ($m = m_1 + m_2$) olarak bulundu. Kalıntılar, (m_1 ve m_2) sıra ile çimentonun 90 µm ve 200 µm göz açıklığındaki elekler üzerinde kalan yüzdeleri verdi (TSE 24, 1985).

6.4.6 Yoğunluk tayini

Le Chatelier şişesi, içinde su bulunmayan gaz yağı ve nefit ile 0 ile 1 mm arasındaki bir noktaya kadar dolduruldu. Balon, oda sıcaklığında ve deney süresince sıcaklığı değişmeyen 20 ± 2 °C su banyosu içine daldırıldı. Balon ve içindekiler banyo sıcaklığına gelene kadar beklendi ve hacim okundu (V_1). Hassas terazide tartılan 64 g (m) çimento, kuru cam huniden yavaş yavaş balon içerisine aktarıldı. Bu işlem bittikten sonra balonun kapağı kapatıldı. Oluşan hava kabarcıkları giderildi. Balon sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirildi. Su banyosu sıcaklığına kadar 1 saat beklendi. Sıvı hacmi tekrar okundu (V_2). İlk ve son okumalar arasındaki hacim farkı, deneyde kullanılan çimento ile yer değiştiren sıvının hacmini gösterdi. Çimentonun yoğunluğu aşağıdaki gibi hesaplandı

$$d = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (6.1)$$

Burada;

d : Çimentonun yoğunluğu (g/cm^3)

m : Çimentonun kütlesi (g)

V_1 : ilk okunan hacim (cm^3)

V_2 : Son okunan hacim (cm^3) 'dir (43).

6.4.7 Özgül yüzey tayini

Hava geçirgenliği prensibine dayanarak, özgül yüzey tespit edilir. Blaine cihazının hücresi üzerine delikli disk yerleştirildi. Üzerine süzgeç kağıdı konuldu. Bunun üzerine tartılmış m (g) numune ilave edildi. Süzgeç kağıdı ve kapama başlığı konulup üzeri kapatılarak, hücre alet üzerine yerleştirildi. Alet çalıştırıldı. Sıcaklık ve zaman okumaları yapıldı. Özgül yüzey aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$\text{özgül yüzey} = \frac{K e t}{d(1 - e)m} \quad (6.2)$$

Burada;

K : alet sabiti

e : gözeneklilik

t : ölçülen süre

d : çimento yoğunluğu

m : deney sırasında hava viskozitesi dir

6.4.8 Mukavemet deneyleri

Burada kullanılacak su en az 24 saat önce, odaya alınarak dinlendirilmiş ve içilebilir su olması gereklidir. 225 ml su numune kabına kondu. 450 g numune tartılarak üzerine eklendi. Alet otomatik programında çalıştırıldı. Bir dakika sonra 1350 g kum harcın üzerine toplam bir dakikayı geçmeyecek şekilde ilave edildi. Alet otomatik programını tamamladıktan sonra harcın yarısı kalıba döküldü, kalıp şok tablasına yerleştirildi. Cihaz bir dakika süreyle çalıştırıldı. Harcın fazlası master ile sıyrıldı, kalıp üzeri cam plaka ile örtüldü, rutubet dolabına yerleştirildi. 2, 7 ve 28 gün sonra, kalıplar basınç dayanım testlerine tabi tutuldu (TSE 24, 1985).

6.5 Deney Sonuçları

6.5.1 Puzolanik aktivite deney sonuçları

Kullanılan Karamürsel trasının puzolanik aktivite sonucu 68 kgf/cm^2 olarak bulundu. Sırlı atık malzemenin puzolanik aktivitesine bakılamadı. Bunun nedeni ise tek başına mukavemet vermemesidir.

6.5.2 Priz başlama ve sona erme sürelerinin tayin sonuçları

Sırlı atık malzeme ile çimento harcına katılacak uygun miktardaki suyun tespit edilmesi amacıyla yapılan normal kıvam tayin deney sonuçları Çizelge 6.6 da verildi. Priz başlama ve sona erme süreleri tayin sonuçları Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.6 da verildi.

6.5.3 Hacim genleşme tayin sonuçları

Hacim genleşme tayin sonuçları Çizelge 6.6 da verilmiştir.

6.5.4 Tane büyüklüğü tayini deney sonuçları

Sırlı atık malzeme ve çimentonun tane büyüklüğü deney sonuçları Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.7 da verildi.

6.5.5 Yoğunluk tayin sonuçları

Sırlı atık malzeme ve çimentonun yoğunluk tayini deney sonuçları Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.7 da verildi.

6.5.6 Özgül yüzey tayin sonuçları

Sırlı atık malzeme ve çimentonun özgül yüzey tayin sonuçları Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.7 da verildi.

6.5.7 Mukavemet deney sonuçları

Kullanılan malzemelerin basınç mukavemet deney sonuçları Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.7, Çizelge 6.9, Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11 da verildi.

Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının ilk olarak alçıya alternatif olarak kullanımını araştırıldı. Çizelge 6.5 de görüldüğü gibi bu çalışmada mukavemet deneyleri iyi sonuç vermedi. Çizelge 6.5 de görüldüğü gibi klinker ve alçının, portland çimentosu ile 2, 7, 28 mukavemet sonuçları kıyaslandığında her üç gün içinde klinker ve alçı karışımı iyi sonuç verdi. Bu arada klinker + SAM karışımının mukavemet değerleri PÇ42.5 in mukavemet değerleri ile kıyaslandığında 2 ve 7 günlük değerlerin sonuçları iyi değildi. Sadece 28 günlük mukavemet değerinin klinker % 95 + SAM % 5 iken iyi sonuç verdiği görüldü. PÇ 42.5 + SAM karışımının mukavemet değerleri karışım oranı % 75 PÇ 42.5 + % 25 SAM olduğunda, 2 ve 7 günlük mukavemet değerlerinin çok düşük, 28 günlük mukavemet değerinin standart PÇ 42.5 çimentosunun 28 günlük değerine göre biraz daha iyi olabileceği fikri doğdu. Bu sonuçlardan yola çıkılarak bizim sırlı atık malzemenin konsantrasyonunu % 5'e indirerek daha sonraki artımların yapılması kararlaştırıldı.

Bunun yanı sıra Klinker + SAM + Alçı karışımının mukavemet değerlerinin her 2, 7 ve 28 gün için düşük olduğu görüldü.

Çizelge 6.5 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının klinker ve alçı ile yapılan fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Numune Adı	% KLN	% Alçı	% SAM	40 µ	90µ	% H ₂ O	% d	Blaine	Donma Başı	Donma Sonu	Genleşme	2 Gün	7 Gün	28 Gün
Trakya Klinkeri	100	-	-											
PÇ 42.5				17.0	0.4	27.3	3.06	3226	02:55	04:00	2	226	398	495
Klinker + Alçı	96	4.5	-	14	0.7			3451	02:00	02:50	2	227	401	496
SAM (Aktivite)	-	-	100	15	1.80	32.9	2.81	9467				Mukavemet Vermedi		
PÇ 42.5 + SAM	%75 PÇ	42.5	25	16.8	1.80		2.99	4957	> 09:30		0	23	313	443
Klinker + SAM	95.0	-	5.0	13.4	0.5	33.8			07:50	09:30		144	328	498
Klinker + SAM + Alçı	96.0	1.0	3.0	13.6	0.5	33.5			06:00	07:35	2	144	264	306

Çizelge 6.6 Sırlı yer ve duvar kerosu atıklarının klinker ve alçı ile yapılan kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	% KLN	% Alçı	% SAM	KK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Trakya Klinkeri	100	-	-	0.30	22.11	5.54	3.34	65.89	1.53	0.90	0.91	1.00
PÇ 42.5												
Klinker + Alçı	96	4.5	-	3.85	20.42	4.74	3.34	62.75	1.26	2.62	0.74	0.55
SAM	-	-	100	2.37	20.79	4.67	3.28	64.04	1.54	3.16	0.98	0.69
(Aktivite)				7.68	45.61	17.23	0.38	4.63	2.33	3.67	0.37	1.02
PÇ 42.5 + SAM	% 75 PÇ	42.5	25									
Klinker + SAM	95.0	-	5.0	1.03	23.19	6.15	3.18	62.65	1.34	0.57	0.86	0.79
Klinker + SAM + Alçı	96.0	1.0	3.0	1.21	22.79	5.91	3.17	62.28	1.63	1.10	0.85	0.77

Çizelge 6.7 Sırlı yer ve duvar karosu atıklarının PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Numune Adı	% PÇ42.5	% SAM	40 µ	90 µ	% H ₂ O	% d	Blaine cm ² /g	Donma Başı	Donma Sonu	Genleşme	Mukavemet vermedi		
											2 gün	7 gün	28 gün
PÇ 42.5	100	-	17.0	0.4	27.3	3.06	3226	02:55	04:00	2	226	398	495
SAM (Aktivite)	-	100	10	2.8	28.8	2.84	7264						
Karamürsel Trası	-	-	28	2.5	25.5	2.5	6223	-	-	-	-	89	-
PÇ 42.5 + SAM	95	5	16	0.5	28.5	3.11	3704	03:15	04:10	2	239	410	509
PÇ 42.5 + SAM	90	10	16.0	0.60	29.5	3.02	3970	03:05	04:20	1	236	400	491
PÇ 42.5 + SAM	85	15	16.5	0.4	30.0	3.08	4360	03:10	04:30	2	214	363	467
PÇ 42.5 + SAM	80	20	15.0	0.7	30.8	3.05	4676	03:15	04:45	2	185	341	398
PÇ 42.5 + SAM	70	30	14.8	0.8	32.8	2.98	4902	04:55	07:00	2	149	274	372
PÇ 42.5 + SAM	60	40	13.5	0.9	35.3	2.96	5415	07:40	> 10:00	1	105	208	307

Çizelge 6.8 Sırlı yer ve duvar kerosu atıklarının PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	% PÇ 42.5	% SAM	KK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
PÇ 42.5 SAM	100	-	3.85	20.42	4.74	3.34	62.75	1.26	2.62	0.74	0.55
(Aktivite)	-	100	6.68	56.86	17.46	0.39	5.24	2.17	3.83	0.43	0.96
PÇ 42.5 + SAM	95	5	4.01	22.05	5.25	3.22	59.74	1.40	2.49	0.76	0.07
PÇ 42.5 + SAM	90	10	4.21	23.43	5.75	3.09	56.57	1.46	2.30	0.76	0.11
PÇ 42.5 + SAM	85	15	4.30	24.85	6.27	2.95	53.33	1.48	2.11	0.77	0.32
PÇ 42.5 + SAM	80	20	4.48	26.43	6.88	2.81	50.28	1.57	1.99	0.78	1.54
PÇ 42.5 + SAM	70	30	4.83	29.26	7.88	2.54	43.86	1.65	1.70	0.81	0.78
PÇ 42.5 + SAM	6	40	5.15	32.06	8.92	2.36	38.13	1.78	1.41	0.83	1.13

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7 de görüldüğü gibi numunenin PÇ42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mukavemet sonuçları verilmiştir. Düşük konsantrasyondaki ilaveler ile 2, 7 ve 28 günlük mukavemet sonuçlarının iyi olduğu gözlemlendi.

Konsantrasyon yükseldikçe her üç gün için de mukavemet sonuçlarında düşme görüldü. Bu yüzden düşük konsantrasyonlardaki çalışmaların iyi sonuç verdiği kararına varıldı. PÇ 42.5'a ilave edilen miktar %20 - 30 - 40 olduğu zaman mukavemetin iyice düştüğü gözlemlendi. % 5 -10 -15 düşük konsantrasyonlarındaki çalışmalar bize ışık tuttu.

Çalışmaların asıl amacı doğal puzolan trasa alternatif olarak SAM kullanımının araştırılması olduğu için bununla ilgili deneyler yapıldı.

Çizelge 6.8 de SAM'in PÇ ile oluşan karışımının kimyasal analiz sonuçları görülmektedir. Tek başına PÇ'nin kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında, SAM ilavesi SiO_2 ve Al_2O_3 miktarlarında artış görülmektedir. Diğer analiz sonuçlarında Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , Na_2O düşme görülmüştür.

Çizelge 6.3 de görüleceği gibi doğal puzolan trasanın ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) içerikleri % 83,91 dir. Çizelge 6.8 de ise SAM in ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) içeriğinin % 74.71 ile TS 25' e göre, minimum % 70 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$), maksimum % 5 MgO ve maksimum % 3 SO_3 içeriği sağladığı görüldü.

SET Itakementi Group Anadolu ve Marmara Çimentolar Birliğinden temin edilen Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10 da belirtildiği gibi yeni ilave edilen çimento tipleri ve standart değerleri ve yeni ilave edilen standartlara göre bizim SAM katkısının minör ilave bileşene girdiği görülmektedir. Çizelge 6.9 da minör katkının tarifi yapılmakta ve bizim kullandığımız % 5 SAM ile PÇ karışımının her çalışmada iyi sonuç verdiği gözlemlendi.

Çizelge 6.10 Mevcut standartlar ve yeni ilave edilen standartlar

MEVCUT STANDARTLAR (TS 19, TS 20, TS 21, TS 22, TS 25, TS 26, TS 10156, TS 10157, TS 639, TS 640, TS 3646, TS 809)	YENİ İLAVE EDİLEN STANDARTLAR (EN 197-1 GÖRE) (TS 12139, TS 12140, TS 12141, TS 12142, TS 12143, TS 12144)
<p>PİSMİŞ SİST:</p> <p>Tanımı yapılmadığından çimentolarda majör katkı olarak kullanılmamaktadır.</p>	<p>PİSMİŞ SİST:</p> <p>Tanım: Yağlı şistin 800°C fırında üretimi ile elde edilir. Dikalsiyum silikat ve monokalsiyum alüminat olmak üzere klinker fazlarını içerir.</p> <p>Fiziksel Özellik: Basınç Mukavemeti: 28 Günlük ≥ 25 N/mm² Hacim Genleşmesi: < 10 mm.</p>
<p>KİRECTASI: (KALKER)</p> <p>Tanımı yapılmadığından çimentolarda majör katkı olarak kullanılmamaktadır.</p>	<p>KİRECTASI: (KALKER)</p> <p>Inert bir çimento katkı malzemesidir.</p> <p>Kimyasal Özellik: $\text{CaCO}_3 \geq \%75$ $\text{KII} \leq 1.2$ gr./100 gr. (Methylene mavisi testi) Organik Madde: $< \%0.2$ (TOC Oranı)</p>
<p>SİLİKA FÜME: (SİLİS DUMANI)</p> <p>Tanımı yapılmadığından çimentolarda majör katkı olarak kullanılmamaktadır.</p>	<p>SİLİKA FÜME: (SİLİS DUMANI)</p> <p>Tanım: Silisyum ve ferrosilikon alaşımları üretimi sırasında yüksek sıcaklıktaki kuvarsın kömür ile birlikte elektrik ark fırınlarında indirgenmesinden oluşur. Silika fütme, yüksek miktarda amorf silisyumdioksit içeren çok ince küresel partiküllerden ibarettir.</p> <p>Kimyasal Özellik: Amorf $\text{SiO}_2 \geq \%85$ Kızdırma Kaybı ≤ 4</p> <p>Fiziksel Özellik: Özgül Yüzey: ≥ 15 m²/gr. (BET Yöntemine göre)</p>
<p>MINÖR İLAVE BİLEŞEN:</p> <p>Tanımı yapılmadığından çimentolarda kullanılmaz</p>	<p>MINÖR İLAVE BİLEŞEN: (Yeni Standartlarda % 0-5 Olarak Kullanılır)</p> <p>*Inorganik mineral maddelerdir. *En fazla %5 olarak kullanılır. Tek başına kullanılamaz. Majör katkıları ile birlikte kullanılır *İnert olabilir. *Zayıf hidrolik olabilir. *Gizli hidrolik olabilir. *Puzzolanik özelliklere sahip olabilir. *Ancak yukarıda açıklanan tüm minör ilave bileşenler çimentonun su ihtiyacını arttırmamalı, betonun ve harcın bozulmasına karşı direncini kaybetmemelidir.</p>

Çizelge 6.11 Trasin PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları

Numune Adı	% PÇ 42.5	% TRAS	% SAM	2 Gün	7 Gün	28 Gün
PÇ 42.5	100	-	-	280	437	561
SAM	-	-	100	Mukavemet vermedi		
TRAS	-	100	-	-	89	-
PÇ 42.5 + TRAS	95	5	0	253	399	514
PÇ 42.5 + TRAS	90	10	0	247	406	541
PÇ 42.5 + TRAS	80	20	-	212	364	537
PÇ 42.5 + TRAS	70	30	0	168	293	457

Çizelge 6.11'de de görüldüğü gibi trasin PÇ 42.5 ile % 5 -10 - 20 ve 30 konsantrasyonlarındaki mukavemet çalışmaları yapıldı. Önce düşük konsantrasyonlarda yapılan çalışmalarda mukavemetin daha iyi olduğu gözlemlendi. Konsantrasyon yükseldikçe 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerlerinde düşme görüldü.

Çizelge 6.12 SAM'in PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları

Numune Adı	% PÇ 42.5	% TRAS	% SAM	2 Gün	7 Gün	28 Gün
PÇ 42.5	100	-	-	280	437	561
SAM	-	-	100	Mukavemet vermedi		
TRAS	-	100	-	-	89	-
PÇ 42.5 + SAM	95	0	5	263	423	542
PÇ 42.5 + SAM	90	0	10	258	421	531
PÇ 42.5 + SAM	80	-	20	204	374	491
PÇ 42.5 + SAM	70	-	30	2 gün sonra suya konulduğunda çözüldü		

Çizelge 6.12 de de görüldüğü gibi PÇ 42.5 içerisine ilave edilen SAM'in konsantrasyonu arttıkça 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri düştü.

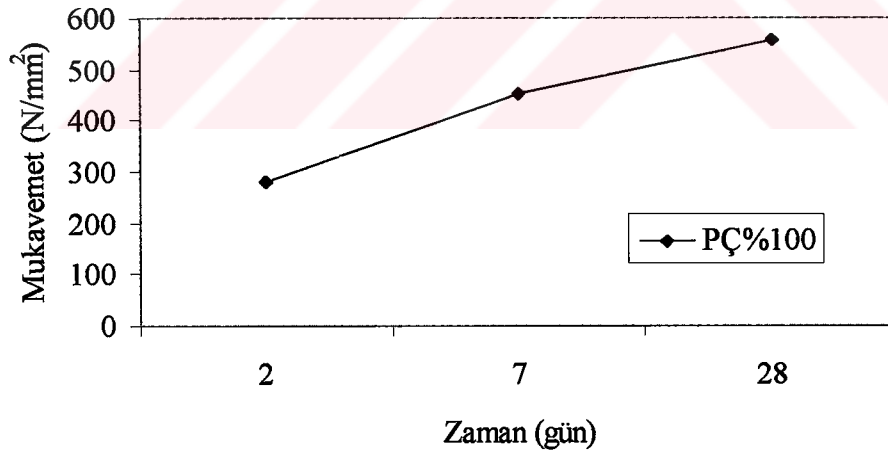
SAM ile trası karşılaştırdığımızda PÇ 42.5 ile meydana gelen karışımın mukavemet çalışmaları SAM'de daha iyi sonuç verdi. Bunun yanısıra PÇ 42.5 içine hem tras hem de SAM ilave edilerek mukavemet çalışmalarına bakıldı.

Çizelge 6.13 SAM' in ve trasın PÇ 42.5 ile değişik konsantrasyonlardaki karışımının mekanik deney sonuçları

Numune Adı	% PÇ 42.5	% TRAS	% SAM	2 Gün	7 Gün	28 Gün
PÇ 42.5	100	-	-	280	437	561
SAM	-	-	100	Mukavemet vermedi		
TRAS	-	100	-	-	89	-
PÇ 42.5 + Tras + SAM	95	2.5	2.5	260	421	563
PÇ 42.5 + Tras + SAM	90	5	5	248	401	519
PÇ 42.5 + Tras + SAM	80	10	10	219	364	474
PÇ 42.5 + Tras + SAM	70	15	15	171	307	446

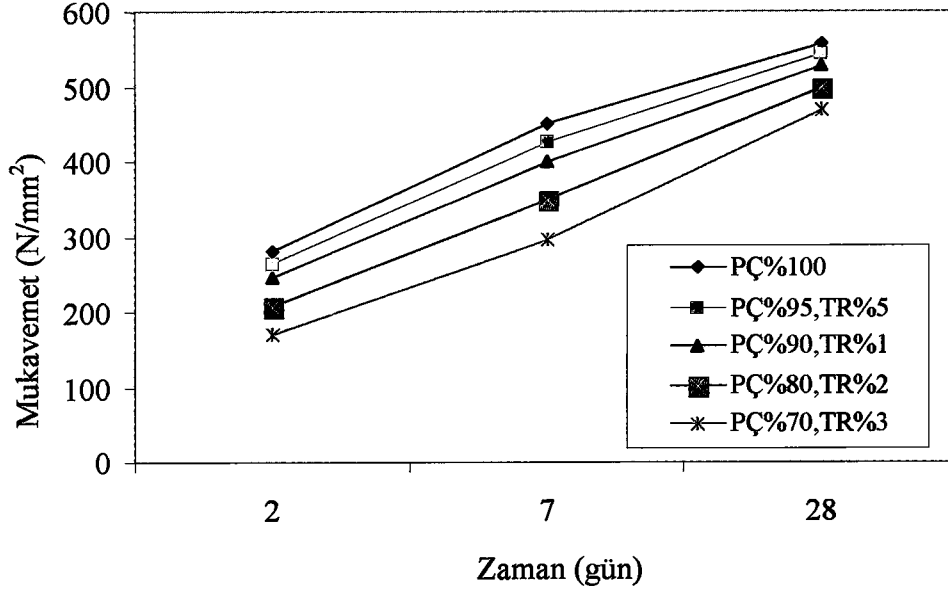
Çizelge 6.13 de de görüldüğü gibi PÇ 42.5 ile tras ve SAM in her ikisinin bulunduğu karışımın mukavemet sonuçları konsantrasyon artışı ile düşme gösterdi.

2, 7 ve 28 günlük mukavemet sonuçları en iyi olan PÇ 42.5 ile SAM'nin birlikte olduğu karışım oldu. Hem PÇ 42.5 + Tras hem PÇ 42.5 + SAM + Tras sonuçlarından daha iyi mukavemet verdi.



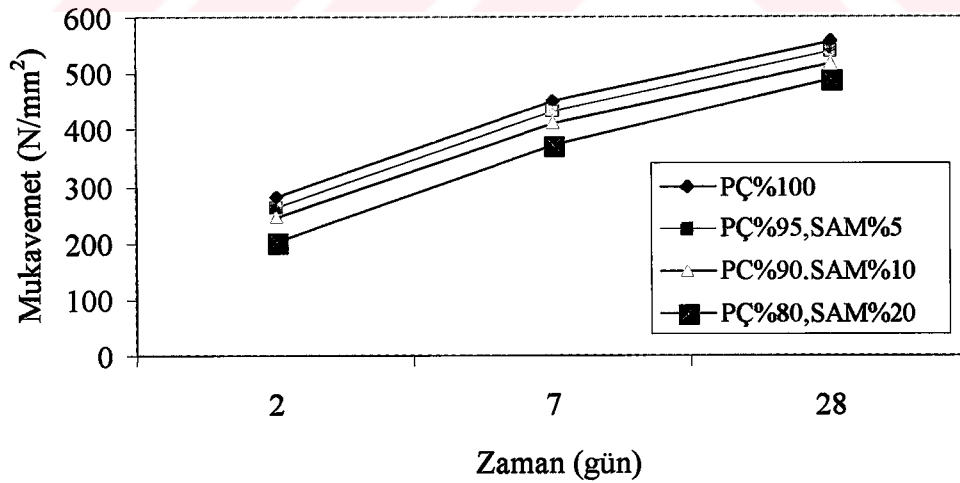
Şekil 6.1 PÇ 42.5 çimentosunun 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri

Şekil 6.1 de % 100 PÇ nin 2, 7, 28 günlük değerlerinin artmakta olduğu görülmektedir.



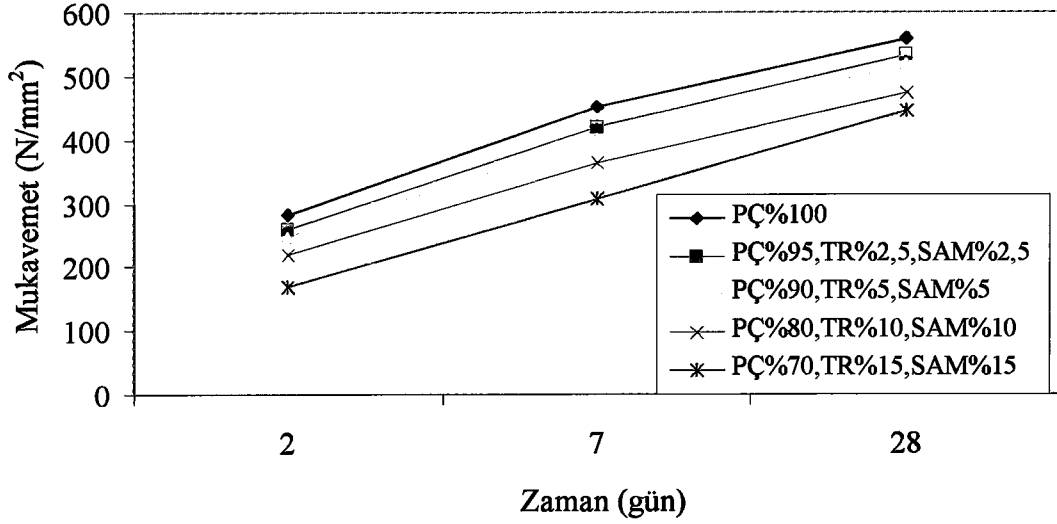
Şekil 6.2 Değişik konsantrasyonlarda PÇ ve TR karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi PÇ + TR karışımının artan tras konsantrasyonu ile 2, 7 ve 28 günlük mukavemet çalışmalarında düşme görüldü. En iyi mukavemeti PÇ %95, TR % 5 karışımı verdi.



Şekil 6.3 Değişik konsantrasyonlarda PÇ ve SAM karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri

Şekil 6.3 de görüldüğü gibi PÇ + SAM karışımının artan sırlı atık malzeme konsantrasyonu ile 2, 7 ve 28 günlük mukavemet çalışmalarında düşme görüldü. En iyi mukavemeti PÇ % 95, % 5 SAM karışımı verdi.

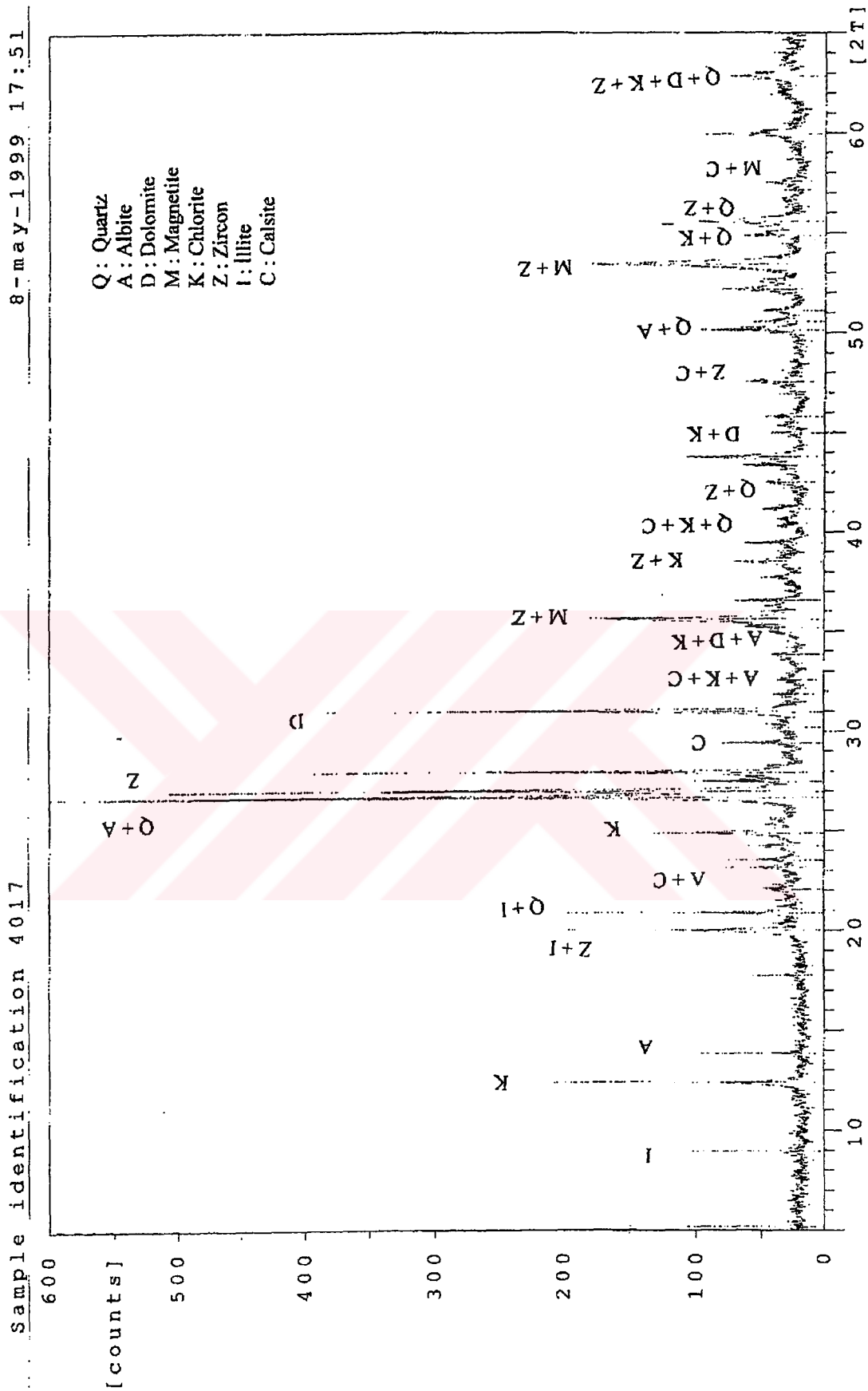


Şekil 6.4 Değişik konsantrasyonlarda PÇ, TR ve SAM karışımının 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerleri

Şekil 6.4 de görüldüğü gibi PÇ, Tras, SAM karışımının artan Tras+SAM konsantrasyonu ile 2, 7 ve 28 günlük mukavemet çalışmalarında düşme görüldü. En iyi mukavemeti PÇ %95, % 2.5 TR, %2.5 SAM karışımı verdi.

PÇ+TR, PÇ+SAM karışımı ile yapılan mukavemet çalışmalarında 2, 7, 28 günlük değerlerin yapılan diğer PÇ+TR, PÇ+SAM değerlerinden düşük olduğu görüldü. Özellikle PÇ +SAM karışımının diğer PÇ+TR karışımı ile yapılan çalışmadan daha iyi sonuç verdiği görüldü.

SAM'in, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğinde X-ışınları biriminde difraktogramı sonuçlarına göre numunenin quartz (SiO_2), zircon (ZrSi_4), dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], Albite, [$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$], chlorite [$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$], Calsite (CaCO_3) ve illite [$\text{KNaMgFeAlSiO.H}_2\text{O}$] ve magnetite (Fe_2O_3) minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir. Difraktogram Şekil 6.5 de verilmiştir. Buna göre SAM bileşiğin quartz, albite, illite, clinopillolite ve calsite olduğu görülmektedir.

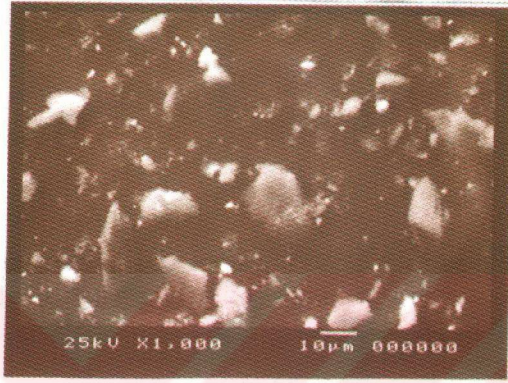


Şekil 6.5 SAM difraktogramı

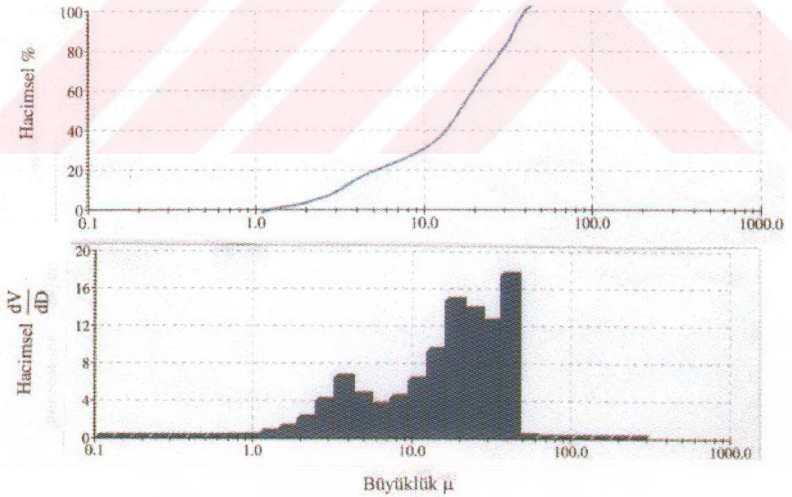
4017.D1

1017.SD

Sırlı atık malzemenin, portland çimentosunun ve trassın taramalı elektron mikroskopunda fotoğrafları çekilmiş ve tanecik dağılım analiz sonuçları Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Çizelge 6.14 verilmiştir.



Şekil 6.6 Sırlı atık malzemenin SEM fotoğrafı



Şekil 6.7 Sırlı atık malzemenin tanecik dağılım analiz sonucu

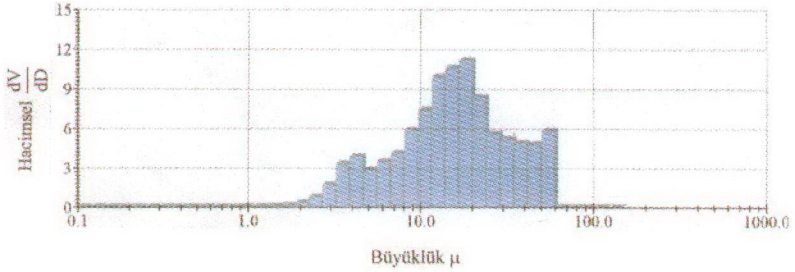
Çizelge 6.14 Sırlı atık malzemenin tanecik dağılım yüzdesi (hacmen)

Alt Büyüklük	% Büyüklük	Üst Büyüklük	%
5	2.74	μm	95
10	3.62		90
15	4.49		85
20	6.54		80
25	9.26		75
30	11.65		70
35	13.40		65
40	15.48		60
45	17.53		55
50	18.78		50
55	20.52		45
60	22.88		40
65	25.25		35
70	27.35		30
75	30.02		25
80	34.44		20
85	37.12		15
90	38.11		10
95	42.55		5
97	44.02		3
99	45.50		1
100	46.50		0

Sırlı atık malzemenin SEM fotoğraflarından (Şekil 6.6) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.7 ve Çizelge 6.14) %50' si 18.78 μm ' nin altında, %90'nı 38.11 μm ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u 3.62 μm ' nin altındadır. Buna göre sırlı atık malzemenin ortalama partikül büyüklüğü 29.36 μm yaklaşık olarak 30 μm olarak düşünebiliriz.



Şekil 6.8 Portland çimentosunun SEM fotoğrafı

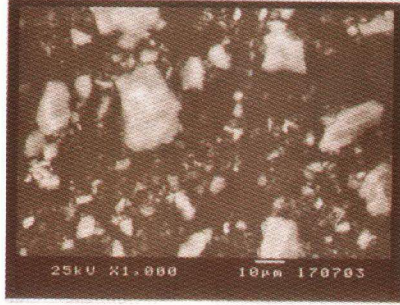


Şekil 6.9 Portland çimentosunun tanecik dağılım analiz sonuçları

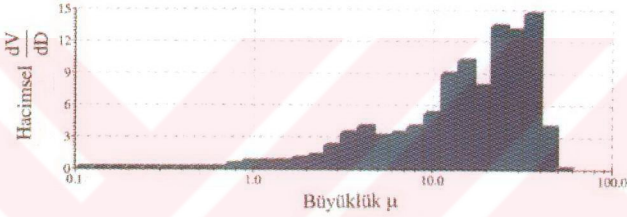
Çizelge 6.15 Portland çimentosunun tanecik dağılım yüzdesi (hacmen)

Büyüklik μm	Alt Büyüklik	%	Üst Büyüklik	%
0.0 - 2.0	0.30	0.30	99.70	
2.0 - 4.0	6.86	7.16	92.84	
4.0 - 6.0	6.82	13.98	86.02	
6.0 - 8.0	5.92	19.90	80.10	
8.0 - 10.0	7.32	27.21	72.79	
10.0 - 15.0	20.31	47.52	52.48	
15.0 - 20.0	17.33	64.85	35.15	
20.0 - 25.0	9.83	74.68	25.32	
25.0 - 30.0	5.50	80.18	19.82	
30.0 - 35.0	4.37	84.55	15.45	
35.0 - 40.0	3.74	88.29	11.71	
40.0 - 45.0	3.16	91.44	8.56	
45.0 - 50.0	2.63	94.07	5.93	
50.0 - 55.0	3.01	97.08	2.92	
55.0 - 60.0	2.92	100.00	0.00	

Portland çimentosunun SEM fotoğrafından (Şekil 6.8) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.9 ve Çizelge 6.15) %50 'si 15.77 μm ' nin altında, %90'nı 43.03 μm ' nin altındadır. En küçük tanecik boyutu %10'nu 4.69 μm ' nin altındadır. Buna göre portland çimentosunun ortalama partikül büyüklüğü 31.38 μm yaklaşık olarak 32 μm olarak düşünebiliriz.



Şekil 6.10 Trasin SEM fotoğrafı

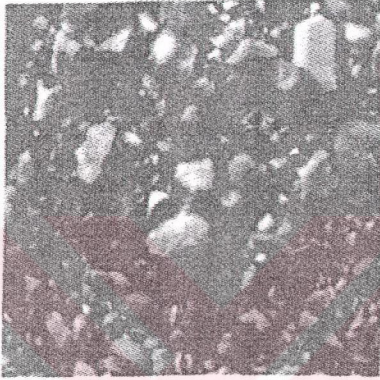


Şekil 6.11 Trasin taneçik dağılım analiz sonuçları

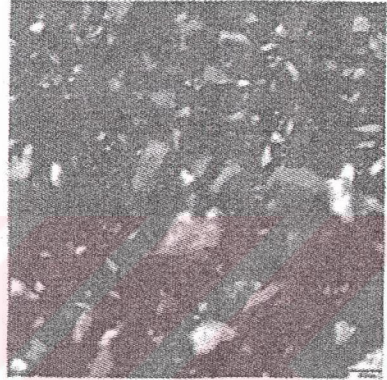
Çizelge 6.16 Trasin dağılım yüzdesi (hacmen)

Alt Büyüklük %	Büyüklik µm	Ust Büyüklük %
5	2.81	95
10	3.95	90
15	5.56	85
20	7.76	80
25	9.93	75
30	11.48	70
35	12.86	65
40	14.77	60
45	16.19	55
50	18.18	50
55	20.97	45
60	22.71	40
65	24.41	35
70	26.52	30
75	28.65	25
80	31.26	20
85	33.10	15
90	35.39	10
95	38.64	5
97	39.63	3
99	40.18	1
100	42.80	0

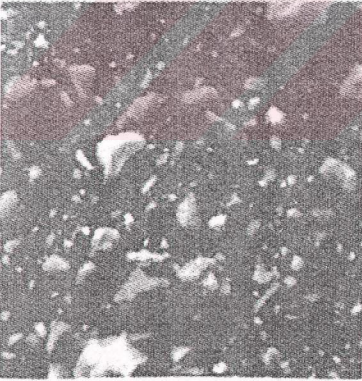
Trasın SEM fotoğraflarından ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11) ve dağılım yüzdesinden (Çizelge 6.16) %90'nı $35.39 \mu\text{m}'$ nin altında, %50'si $18.18 \mu\text{m}'$ nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu ise ($10 \mu\text{m}$) hacimsel olarak % 39.95 in altındadır. Buna göre ortalama partikül tanecik dağılımı % 50 si $18.18 \mu\text{m}$ nin altındadır.



a. % 5 SAM + % 95 PÇ



b. % 10 SAM + % 90 PÇ

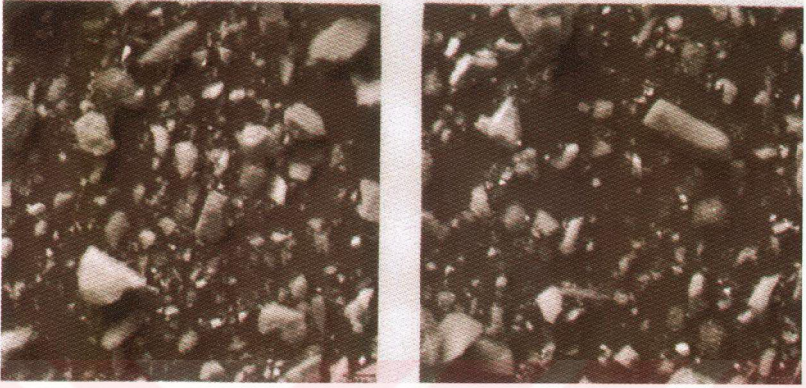


c. % 15 SAM + % 85 PÇ



d. % 20 SAM + % 80 PÇ

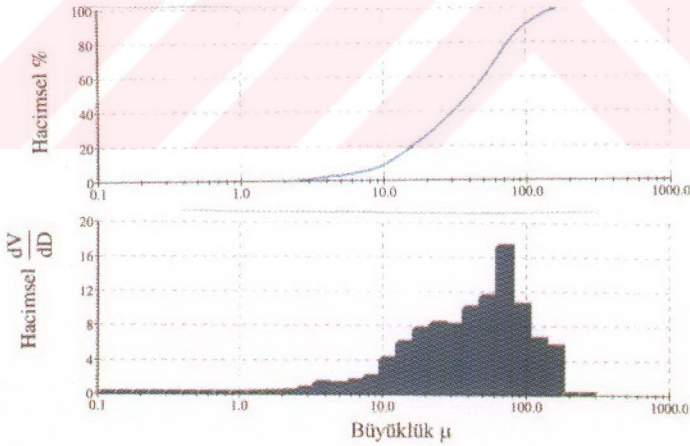
Şekil 6.12 Değişik konsantrasyonlarda SAM ve PÇ' nin SEM fotoğrafları



e. % 30 SAM + % 70 PÇ

f. % 40 SAM + % 60 PÇ

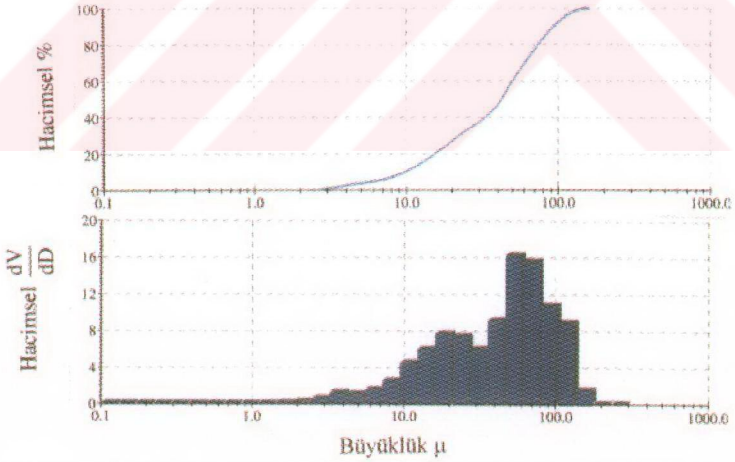
Şekil 6.12 Değişik konsantrasyonlarda SAM ve PÇ'nin SEM fotoğrafları



Şekil 6.13 % 5 SAM + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.17 % 5 SAM + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

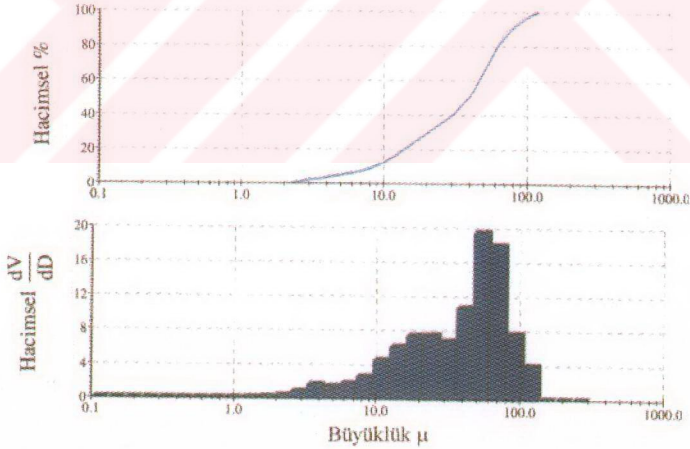
Alt Büyüklük	% Büyüklük μ m	Üst Büyüklük	%
5	8.16	95	
10	12.15	90	
15	15.41	85	
20	18.42	80	
25	21.80	75	
30	26.10	70	
35	31.16	65	
40	36.31	60	
45	41.93	55	
50	47.42	50	
55	53.69	45	
60	59.75	40	
65	64.00	35	
70	68.39	30	
75	75.42	25	
80	84.26	20	
85	95.07	15	
90	108.09	10	
95	134.81	5	
97	144.03	3	
99	165.69	1	
100	166.00	0	



Şekil 6.14 % 10 SAM + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.18 % 10 SAM + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

Alt Büyüklük %	Büyüklük μm	Üst Büyüklük %
5	7,77	95
10	11,46	90
15	14,60	85
20	17,86	80
25	21,11	75
30	25,61	70
35	31,73	65
40	38,22	60
45	44,78	55
50	48,52	50
55	51,76	45
60	57,76	40
65	63,57	35
70	68,47	30
75	75,19	25
80	83,13	20
85	91,78	15
90	103,31	10
95	113,78	5
97	116,40	3
99	143,66	1
100	144,00	0



Şekil 6.15 % 20 SAM + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

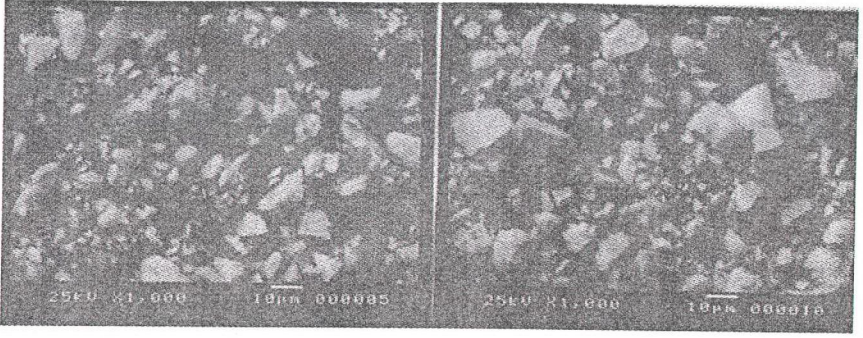
Çizelge 6.19 % 20 SAM + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

Alt Büyüklük %	Büyüklük μm	Üst Büyüklük %
5	6.46	95
10	10.54	90
15	13.56	85
20	16.74	80
25	19.88	75
30	24.15	70
35	28.98	65
40	35.26	60
45	41.55	55
50	45.90	50
55	49.70	45
60	53.39	40
65	56.11	35
70	60.07	30
75	64.66	25
80	69.41	20
85	73.39	15
90	81.51	10
95	97.40	5
97	105.50	3
100	116.00	0
100	116.00	0

% 5 SAM + % 95 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.12 a) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.13 ve Çizelge 6.17) %50'si 47.42 μm ' nin altında (hacimsel olarak), %90'ını 108.09 μm ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'nu 12.15 μm ' nin altındadır. Buna göre % 5 SAM+ %95 PÇ malzemesinin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si 47.42 μm 'nin altındadır.

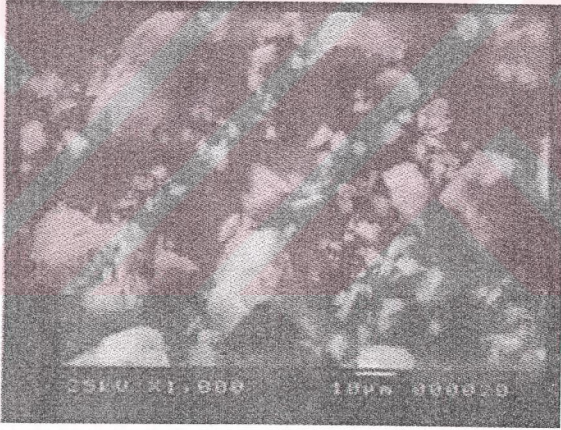
% 10 SAM + % 90 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.12 b) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.14, Çizelge 6.18) %50'si 48.52 μm ' nin altında, %90'ını 103.31 μm ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu (hacmen) %10'u 11.46 μm ' nin altındadır. Buna göre % 10 SAM+ %90 PÇ içeren malzemenin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 sinin 48.52 μm 'nin altında olduğu görülmektedir.

% 20 SAM + % 80 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.12 d) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.15, Çizelge 6. 19) %50'si 75.02 μm ' nin altında, %90'ını 152.08 μm ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu (hacmen) %10'u 17.73 μm ' nin altındadır. Buna göre % 20 SAM+ % 80 PÇ içeren malzemenin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 sinin 45.90 μm 'nin altında olduğu görülmektedir.



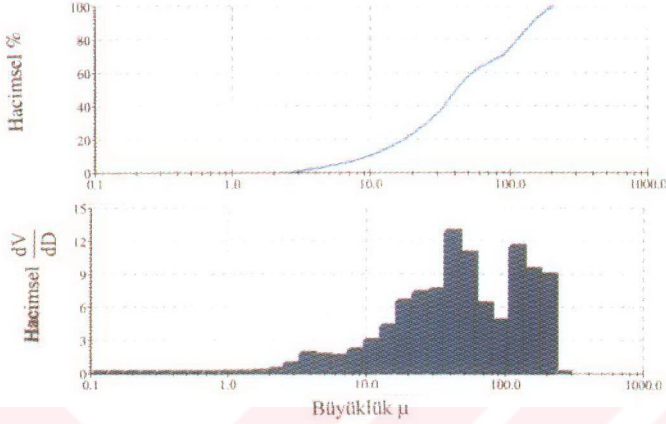
a. % 5 Trass + % 95 Portland çimentosu

b. % 10 Trass + 90 Portland çimentosu



c. % 20 Trass + 80 Portland çimentosu

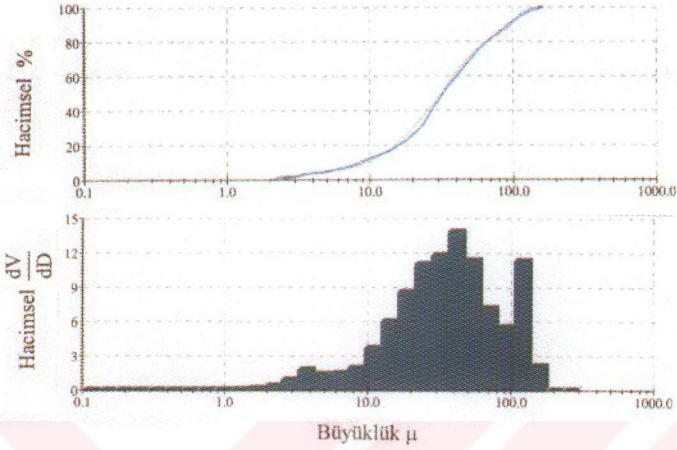
Şekil 6.16. Değişik konsantrasyonlarda TR + PÇ'nin SEM fotoğrafları



Şekil 6.17 % 5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.20 % 5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

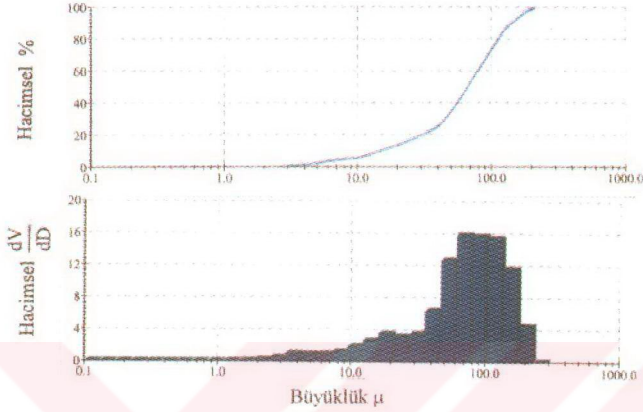
Alt Büyüklük %	Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	6.48	95
10	11.85	90
15	16.26	85
20	20.17	80
25	24.34	75
30	29.21	70
35	34.94	65
40	39.03	60
45	43.98	55
50	47.44	50
55	52.56	45
60	61.14	40
65	78.51	35
70	100.47	30
75	111.03	25
80	130.91	20
85	142.98	15
90	173.76	10
95	192.37	5
97	196.81	3
99	210.26	1
100	210.50	0



Şekil 6.18 % 10 TR + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.21 % 10 TR + % 90 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

Alt Büyüklük	% Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	6.26	95
10	11.32	90
15	14.60	85
20	17.52	80
25	20.36	75
30	23.35	70
35	26.16	65
40	29.24	60
45	33.15	55
50	36.48	50
55	39.75	45
60	43.99	40
65	48.74	35
70	56.23	30
75	61.22	25
80	75.31	20
85	92.66	15
90	121.18	10
95	127.22	5
97	130.77	3
99	143.77	1
100	144.50	0



Şekil 6.19 % 20 TR + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

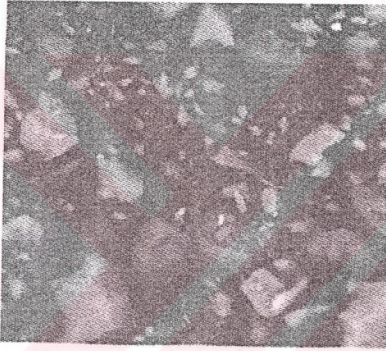
Çizelge 6.22 % 20 TR + % 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

Alt Büyüklük %	Büyüklük μm	Üst Büyüklük %
5	10.61	95
10	17.73	90
15	27.79	85
20	38.27	80
25	47.00	75
30	54.48	70
35	58.48	65
40	64.03	60
45	69.40	55
50	75.02	50
55	81.14	45
60	90.21	40
65	96.87	35
70	109.52	30
75	114.07	25
80	119.90	20
85	141.71	15
90	152.08	10
95	173.30	5
97	177.97	3
100	212.00	0
100	212.00	0

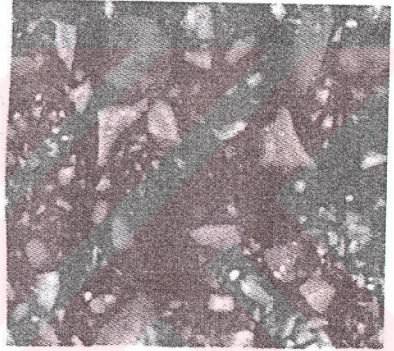
% 5 Tras + % 95 PÇ SEM fotoğrafından (Şekil 6.16 a) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.17 ve Çizelge 6.20) %50 'si 47.44 μm ' nin altında, %90'ı 173,76 μm ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u 11,85 μm ' nin altındadır. Buna göre % 5 Tras + % 95 PÇ nin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si 47,44 μm 'nin altındadır.

% 10 Tras + % 90 PÇ SEM fotoğrafından (Şekil 6.16 b) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.18 ve Çizelge 6.21) %50'si $36.48 \mu\text{m}$ ' nin altında, %90'ı $121.18 \mu\text{m}$ ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $11.32 \mu\text{m}$ ' nin altındadır. Buna göre % 10 Tras + % 90 PÇ nin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $36.48 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.

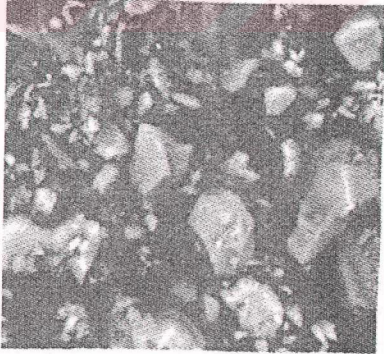
% 20 Tras + % 80 PÇ SEM fotoğrafından (Şekil 6.16 c) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.19 ve Çizelge 6.22) %50'si $75.02 \mu\text{m}$ ' nin altında, %90'ı $152.08 \mu\text{m}$ ' nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $17.73 \mu\text{m}$ ' nin altındadır. Buna göre % 20 Tras + % 80 PÇ nin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $75.02 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.



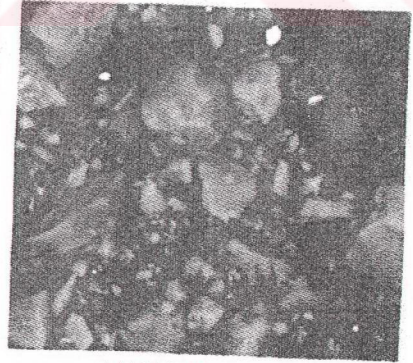
a. % 2.5 SAM + % 2.5 TR + 95 PÇ



b. % 5 SAM + % 5 TR + 90 PÇ

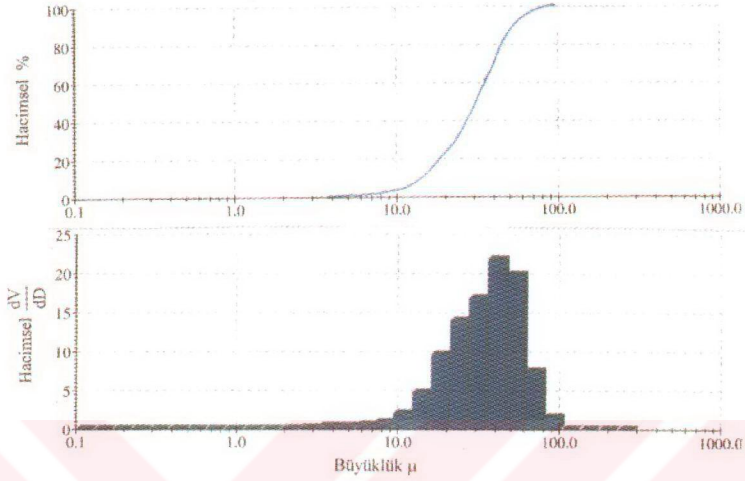


c. % 10 SAM + % 10 TR + 80 PÇ



d. % 15 SAM + % 15 TR + 70 PÇ

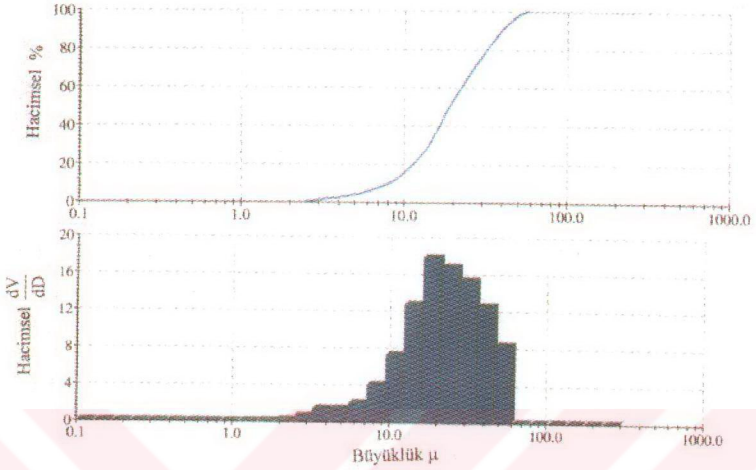
Şekil 6.20 Değişik konsantrasyonlarda SAM + PÇ + TR'nin SEM fotoğrafları



Şekil 6.21 % 2.5 SAM + % 2.5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.23 % 2.5 SAM + % 2.5 TR + % 95 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

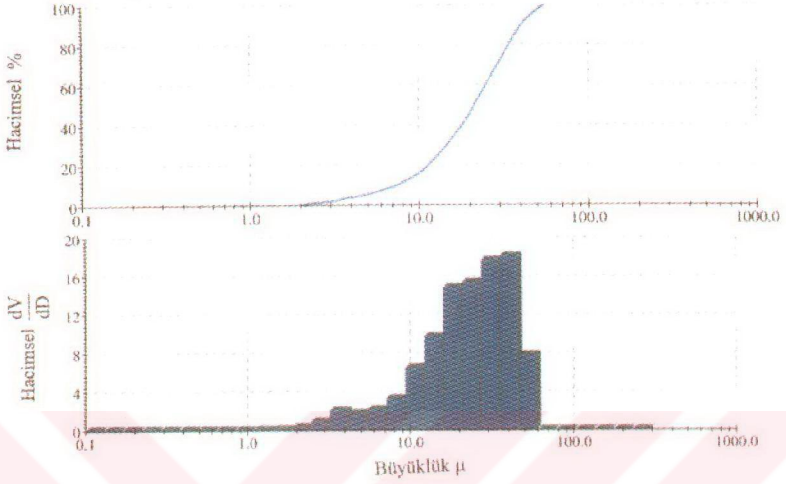
Alt Büyüklük %	Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	12.88	95
10	16.61	90
15	19.16	85
20	21.56	80
25	23.79	75
30	26.08	70
35	28.47	65
40	30.94	60
45	33.63	55
50	35.79	50
55	38.43	45
60	40.93	40
65	43.15	35
70	45.76	30
75	48.57	25
80	51.54	20
85	54.51	15
90	59.42	10
95	65.43	5
97	69.79	3
99	80.01	1
100	83.50	0



Şekil 6.22 % 5 SAM + % 5 TR +% 90 PC'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.24 % 5 SAM + % 5 TR +% 90 PC'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

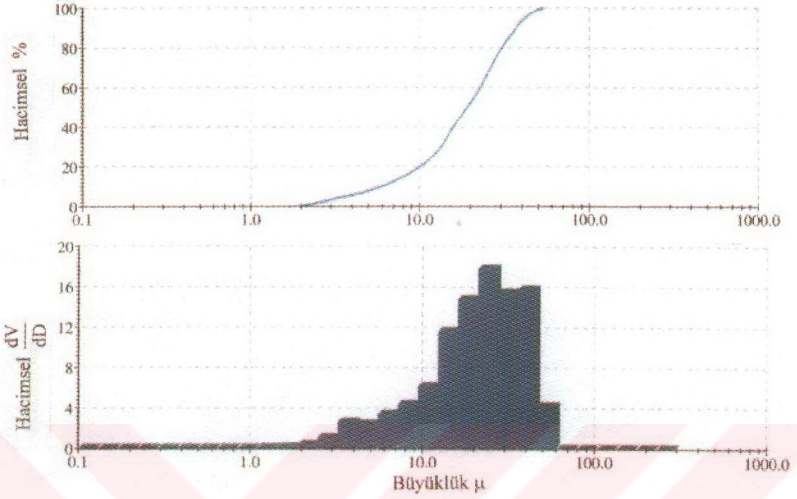
Alt Büyüklük %	Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	6.88	95
10	9.73	90
15	11.59	85
20	13.35	80
25	14.69	75
30	16.10	70
35	17.26	65
40	18.80	60
45	20.11	55
50	21.85	50
55	23.61	45
60	25.73	40
65	27.56	35
70	30.08	30
75	33.18	25
80	35.89	20
85	40.48	15
90	43.92	10
95	51.14	5
97	52.54	3
99	56.57	1
100	57.50	0



Şekil 6.23 % 10 SAM + % 10 TR +% 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.25 % 10 SAM + % 10 TR +% 80 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

Alt Büyüklük %	Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	5.60	95
10	9.26	90
15	11.56	85
20	13.56	80
25	15.53	75
30	17.07	70
35	18.79	65
40	20.42	60
45	22.60	55
50	24.58	50
55	26.67	45
60	28.96	40
65	31.49	35
70	33.63	30
75	36.06	25
80	39.02	20
85	41.17	15
90	43.95	10
95	49.06	5
97	51.39	3
99	53.42	1
100	56.00	0



Şekil 6.24 % 15 SAM + % 15 TR +% 70 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları

Çizelge 6.26 % 15 SAM + % 15 TR +% 70 PÇ'nin partikül dağılım analiz sonuçları (hacmen)

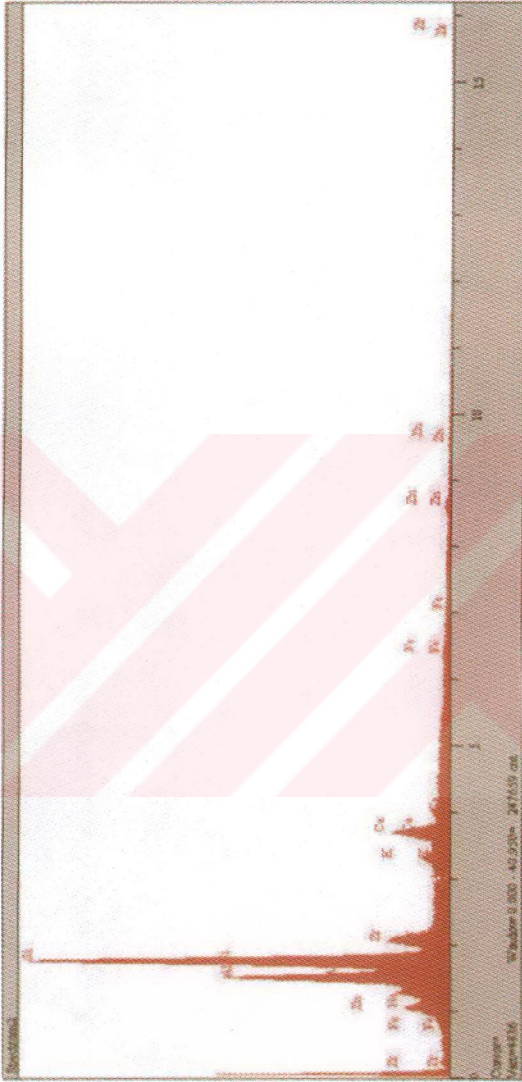
Alt Büyüklük %	Büyüklük μ	Üst Büyüklük %
5	4.61	95
10	7.32	90
15	9.83	85
20	12.12	80
25	13.85	75
30	15.41	70
35	17.09	65
40	18.67	60
45	20.31	55
50	22.00	50
55	23.52	45
60	25.29	40
65	27.65	35
70	30.18	30
75	32.82	25
80	35.50	20
85	37.71	15
90	40.95	10
95	44.21	5
97	48.47	3
99	51.03	1
100	54.50	0

% 2.5 SAM + % 2.5 TR +% 95 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.20 a) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.21 ve Çizelge 6.23) %50'si $35.79 \mu\text{m}^3$ nin altında, %90'ı $59.42 \mu\text{m}^3$ nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $16.61 \mu\text{m}^3$ nin altındadır. Buna göre SAM+TR+PÇ malzemesinin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $35.79 \mu\text{m}^3$ nin yani $36 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.

% 5 SAM + % 5 TR +% 90 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.21 b) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.22, Çizelge 6.24) %50'si $21.85 \mu\text{m}^3$ nin altında, %90'ı $43,92 \mu\text{m}^3$ nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $9.73 \mu\text{m}^3$ nin altındadır. Buna göre SAM+TR+PÇ malzemesinin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $21.85 \mu\text{m}^3$ nin yani $22 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.

% 10 SAM + % 10 TR +% 80 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.21 c) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.23 ve Çizelge 6.25) %50'si $24.58 \mu\text{m}^3$ nin altında, %90'ı $43,95 \mu\text{m}^3$ nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $9,26 \mu\text{m}^3$ nin altındadır. Buna göre SAM+TR+PÇ malzemesinin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $24.58 \mu\text{m}^3$ nin yani $25 \mu\text{m}$ 'nin altındadır. % 15 SAM + % 15 TR +% 70 PÇ'nin SEM fotoğrafından (Şekil 6.21 d) ve partikül dağılım analizinden (Şekil 6.24, Çizelge 6.26) %50'si $22 \mu\text{m}^3$ nin altında, %90 'ı $40,95 \mu\text{m}^3$ nin altında olduğu görülmektedir. En küçük tanecik boyutu %10'u $7.32 \mu\text{m}^3$ nin altındadır. Buna göre SAM+TR+PÇ malzemesinin ortalama partikül büyüklüğünün % 50 si $22 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.

Sırlı atık malzemenin SEM spektrumu Şekil 6.25 ve analiz sonuçları Şekil 6.26 de görüldüğü gibi malzemenin elementel analizinde temel komponentin ağırlıkça Si, Al, Zr ve Ca 'dır. Bu komponentlerin X-ışınları difraktogramı incelendiğinde Si, SiO_2 (kuvars), zircon (ZrSi_4), Albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]_7$, klorit $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_6\text{O}_{10}(\text{OH})_8]_7$ ve illit $[\text{KNaMgFeAlSiO}_2\text{H}_2\text{O}]$ kristalinde yer aldığını görmekteyiz. Al ise albit, klorit ve illit kristal yapısında bulunmakta zirkonyum ise sadece zircon bileşiğinin kristal yapısında yer almaktadır. Az miktarda kristal yapıda Fe, magnetit halinde bulunmaktadır.



Şekil 6.25 Sırlı atık malzemenin SEM spektrumu

7. MATEMATİKSEL MODELLEME

2, 7, 28 günlük priz süreleri için portland çimentosuna %5, 10, 20, 30 tras, % 5, 10,20 sırlı atık malzeme katıldığında ve son olarak ta % 2.5, 5, 10, 15, tras % 2.5, 5, 10, 15 sırlı atık malzeme katıldığında mukavemet sonuçları en küçük kareler yöntemi ile bir model denklemi oluşturuldu. Bu model denklemlerle ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{c}
 (280) \\
 253 \\
 247 \\
 212 \\
 168 \\
 263 \\
 258 \\
 204 \\
 260 \\
 248 \\
 219 \\
 (171)
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{PÇ} := \\
 \begin{array}{c}
 (100) \\
 95 \\
 90 \\
 80 \\
 70 \\
 95 \\
 90 \\
 80 \\
 95 \\
 90 \\
 80 \\
 (70)
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{TR} := \\
 \begin{array}{c}
 (0) \\
 5 \\
 10 \\
 20 \\
 30 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 2.5 \\
 5 \\
 10 \\
 (15)
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{SAM} := \\
 \begin{array}{c}
 (0) \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 5 \\
 10 \\
 20 \\
 2.5 \\
 5 \\
 10 \\
 (15)
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 2.783 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot \text{PÇ}_i = 2.44 \times 10^5 \quad \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot \text{TR}_i = 1.966 \times 10^4 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot \text{SAM}_i = 1.462 \times 10^4 \quad \sum_{i=0}^{11} \text{PÇ}_i = 1.035 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} \text{TR}_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} \text{SAM}_i = 67.5 \quad \sum_{i=0}^{11} (\text{PÇ}_i)^2 = 9.037 \times 10^4 \quad \sum_{i=0}^{11} (\text{TR}_i)^2 = 1.781 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} (\text{SAM}_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} \text{PÇ}_i \cdot \text{TR}_i = 7.612 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} \text{TR}_i \cdot \text{SAM}_i = 356.25 \quad \sum_{i=0}^{11} \text{SAM}_i \cdot \text{PÇ}_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 10$$

$$a1 := 10$$

$$a2 := 10$$

$$a3 := 10$$

Given

$$2.783 \times 10^3 = 12 \cdot a_0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a_1 + 97.5 a_2 + 67.5 a_3$$

$$2.44 \times 10^5 = 1.035 \times 10^3 \cdot a_0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a_1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a_2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a_3$$

$$1.966 \times 10^4 = 97.5 a_0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a_1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a_2 + 356.25 a_3$$

$$1.462 \times 10^4 = 67.5 a_0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a_1 + 356.25 a_2 + 881.25 a_3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} -119.036 \\ 4.002 \\ 0.345 \\ 0.534 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 2 gün üzerinden model denklemi

$$Y := -119.036 + 4.002PÇ + 0.345TR + 0.534SAM$$

Y =

	0
0	281.164
1	262.879
2	244.594
3	208.024
4	171.454
5	263.824
6	246.484
7	211.804
8	263.351
9	245.539
10	209.914
11	174.289

$$\begin{array}{l}
 y := \begin{pmatrix} 473 \\ 399 \\ 406 \\ 364 \\ 293 \\ 423 \\ 421 \\ 374 \\ 421 \\ 401 \\ 364 \\ 307 \end{pmatrix} \\
 PC := \begin{pmatrix} 100 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \end{pmatrix} \\
 TR := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix} \\
 SAM := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 4.646 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot PC_i = 4.061 \times 10^5 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot TR_i = 3.343 \times 10^4 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot SAM_i = 2.511 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} PC_i = 1.035 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM_i = 67.5 & \sum_{i=0}^{11} (PC_i)^2 = 9.037 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} (TR_i)^2 = 1.781 \times 10^3 \\
 & & \sum_{i=0}^{11} (SAM_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i \cdot TR_i = 7.612 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i \cdot SAM_i = 356.25 & \sum_{i=0}^{11} SAM_i \cdot PC_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 10$$

$$a1 := 10$$

$$a2 := 10$$

$$a3 := 10$$

Given

$$4.646 \times 10^3 = 12 \cdot a0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a1 + 97.5 a2 + 67.5 a3$$

$$4.061 \times 10^5 = 1.035 \times 10^3 \cdot a0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a3$$

$$3.343 \times 10^4 = 97.5 a0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a2 + 356.25 a3$$

$$2.511 \times 10^4 = 67.5 a0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a1 + 356.25 a2 + 881.25 a3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} 1.178 \times 10^3 \\ -7.265 \\ -12.417 \\ -11.273 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 7 gün üzerinden model denklemini

$$Y := 1.178 \cdot 10^3 - 7.265PÇ - 12.417TR - 11.273SAM$$

Y =

	0
0	451.5
1	425.74
2	399.98
3	348.46
4	296.94
5	431.46
6	411.42
7	371.34
8	428.6
9	405.7
10	359.9
11	314.1

$$\begin{array}{l}
 y := \begin{pmatrix} 561 \\ 514 \\ 541 \\ 537 \\ 457 \\ 542 \\ 531 \\ 491 \\ 535 \\ 519 \\ 474 \\ 446 \end{pmatrix} \\
 PC := \begin{pmatrix} 100 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \end{pmatrix} \\
 TR := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix} \\
 SAM := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 6.148 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot PC_i = 5.338 \times 10^5 \quad \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot TR_i = 4.779 \times 10^4 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot SAM_i = 3.32 \times 10^4 \quad \sum_{i=0}^{11} PC_i = 1.035 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} TR_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM_i = 67.5 \quad \sum_{i=0}^{11} (PC_i)^2 = 9.037 \times 10^4 \quad \sum_{i=0}^{11} (TR_i)^2 = 1.781 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} (SAM_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i \cdot TR_i = 7.612 \times 10^3 \quad \sum_{i=0}^{11} TR_i \cdot SAM_i = 356.25 \quad \sum_{i=0}^{11} SAM_i \cdot PC_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 10$$

$$a1 := 10$$

$$a2 := 10$$

$$a3 := 10$$

Given

$$6.148 \times 10^3 = 12 \cdot a0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a1 + 97.5 \cdot a2 + 67.5 \cdot a3$$

$$5.338 \times 10^5 = 1.035 \times 10^3 \cdot a0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a3$$

$$4.779 \times 10^4 = 97.5 \cdot a0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a2 + 356.25 \cdot a3$$

$$3.32 \times 10^4 = 67.5 \cdot a0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a1 + 356.25 \cdot a2 + 881.25 \cdot a3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} 362.596 \\ 1.955 \\ -0.986 \\ -1.93 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 28 gün üzerinden model denklemi

$$Y := 362.596 + 1.955PC - 0.986TR - 1.93SAM$$

Y =

	0
0	558.096
1	543.391
2	528.686
3	499.276
4	469.866
5	538.671
6	519.246
7	480.396
8	541.031
9	523.966
10	489.836
11	455.706

$$\begin{array}{l}
 y := \begin{pmatrix} 0 \\ 27 \\ 33 \\ 68 \\ 112 \\ 17 \\ 22 \\ 76 \\ 20 \\ 32 \\ 61 \\ 109 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 PC := \begin{pmatrix} 100 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 TR := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 SAM := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 577 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot PC_i = 4.578 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot TR_i = 7.64 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot SAM_i = 4.28 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} PC_i = 1.035 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM \sum_{i=0}^{11} (PC_i)^2 = 9.037 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} (TR_i)^2 = 1.781 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} (SAM_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i \cdot TR_i = 7.612 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i \cdot SAM_i = 356.25 & \sum_{i=0}^{11} SAM_i \cdot PC_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 1$$

$$a1 := 1$$

$$a2 := 1$$

$$a3 := 1$$

Given

$$577 = 12 \cdot a0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a1 + 97.5 \cdot a2 + 67.5 \cdot a3$$

$$4.578 \times 10^4 = 1.035 \times 10^3 \cdot a0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a3$$

$$7.64 \times 10^3 = 97.5 \cdot a0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a2 + 356.25 \cdot a3$$

$$4.28 \times 10^3 = 67.5 \cdot a0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a1 + 356.25 \cdot a2 + 881.25 \cdot a3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} 18.141 \\ -0.193 \\ 3.466 \\ 3.272 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 2 gün üzerinden sapmaya ait model denklemi

$$Y := 18.141 - 0.193PÇ + 3.466TR + 3.272SAM$$

	0
0	-1.159
1	17.136
2	35.431
3	72.021
4	108.611
5	16.166
6	33.491
7	68.141
8	16.651
9	34.461
10	70.081
11	105.701

Y =

$$\begin{array}{l}
 y := \begin{pmatrix} 0 \\ 38 \\ 31 \\ 73 \\ 144 \\ 14 \\ 16 \\ 63 \\ 16 \\ 36 \\ 73 \\ 130 \end{pmatrix} \\
 PC_i := \begin{pmatrix} 100 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \end{pmatrix} \\
 TR := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix} \\
 SAM := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 634 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot PC_i = 4.983 \times 10^4 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot TR_i = 9.18 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot SAM_i = 4.39 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i = 1.035 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} TR_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM_i = 67.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} (PC_i)^2 = 9.037 \times 10^4 \\
 \sum_{i=0}^{11} (TR_i)^2 = 1.781 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} (SAM_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i \cdot TR_i = 7.612 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} TR_i \cdot SAM_i = 356.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM_i \cdot PC_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 1$$

$$a1 := 1$$

$$a2 := 1$$

$$a3 := 1$$

Given

$$634 = 12 \cdot a0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a1 + 97.5 a2 + 67.5 a3$$

$$4.983 \times 10^4 = 1.035 \times 10^3 \cdot a0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a3$$

$$9.18 \times 10^3 = 97.5 a0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a2 + 356.25 a3$$

$$4.39 \times 10^3 = 67.5 a0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a1 + 356.25 a2 + 881.25 a3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} 29.638 \\ -0.348 \\ 4.398 \\ 3.113 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 7 gün üzerinden sapmaya ait model denklemi

$$Y := 29.638 - 0.348PÇ + 4.398TR + 3.113SAM$$

	0
0	-5.162
1	18.568
2	42.298
3	89.758
4	137.218
5	12.143
6	29.448
7	64.058
8	15.356
9	35.873
10	76.908
11	117.943

Y =

$$\begin{array}{l}
 y := \begin{pmatrix} 0 \\ 47 \\ 20 \\ 24 \\ 104 \\ 19 \\ 30 \\ 70 \\ 26 \\ 42 \\ 87 \\ 115 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 PC := \begin{pmatrix} 100 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 95 \\ 90 \\ 80 \\ 70 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 TR := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 SAM := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 2.5 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 \sum_{i=0}^{11} y_i = 584 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot PC_i = 4.683 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot TR_i = 6.905 \times 10^3 \\
 \sum_{i=0}^{11} y_i \cdot SAM_i = 4.665 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} PC_i = 1.035 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i = 97.5 \\
 \sum_{i=0}^{11} SAM_i = 67.5 & \sum_{i=0}^{11} (PC_i)^2 = 9.037 \times 10^4 & \sum_{i=0}^{11} (TR_i)^2 = 1.781 \times 10^3 \\
 & & \sum_{i=0}^{11} (SAM_i)^2 = 881.25 \\
 \sum_{i=0}^{11} PC_i \cdot TR_i = 7.612 \times 10^3 & \sum_{i=0}^{11} TR_i \cdot SAM_i = 356.25 & \sum_{i=0}^{11} SAM_i \cdot PC_i = 5.513 \times 10^3
 \end{array}$$

$$a0 := 1$$

$$a1 := 1$$

$$a2 := 1$$

$$a3 := 1$$

Given

$$584 = 12 \cdot a0 + 1.035 \times 10^3 \cdot a1 + 97.5 a2 + 67.5 a3$$

$$4.683 \times 10^4 = 1.035 \times 10^3 \cdot a0 + 9.037 \times 10^4 \cdot a1 + 7.612 \times 10^3 \cdot a2 + 5.513 \times 10^3 \cdot a3$$

$$6.905 \times 10^3 = 97.5 a0 + 7.612 \times 10^3 \cdot a1 + 1.781 \times 10^3 \cdot a2 + 356.25 a3$$

$$4.665 \times 10^3 = 67.5 a0 + 5.513 \times 10^3 \cdot a1 + 356.25 a2 + 881.25 a3$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} 8.031 \\ -0.05 \\ 2.888 \\ 3.827 \end{pmatrix}$$

En küçük kareler yöntemine göre 28 gün üzerinden sapmaya ait model denklemi

$$Y := 8.031 - 0.05PÇ + 2.888TR + 3.827SAM$$

	0
0	3.031
1	17.721
2	32.411
3	61.791
4	91.171
5	22.416
6	41.801
7	80.571
8	20.069
9	37.106
10	71.181
11	105.256

Y =

2, 7, 28 günlük mukavemet sapmalarına göre aşağıdaki matematiksel model denklemi oluşturuldu.

2 günlük için;

$$Y = 18.141 - 0.193 PÇ + 3.466 TR + 3.272 SAM$$

7 günlük için;

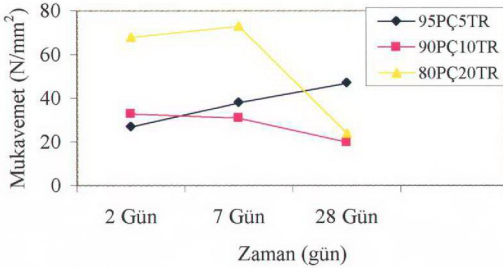
$$Y = 29.638 - 0.348 PÇ + 4.398 TR + 3.113 SAM$$

28 günlük için;

$$Y = 8.031 - 0.05 PÇ + 2.888 TR + 3.827 SAM$$

Bu denklemlere göre 2 günlük sapma değeri -1.159 , 7 günlük sapma değeri -5 , 28 günlük sapma değeri 3 dür. Bu değerler göz önüne alınarak değişik konsantrasyona sahip karışımlardan 2, 7, 28 günlük mukavemet değerleri ile elde edilen doğruların ortalama eğimleri hesaplandı. En düşük eğim $\% 5$ ve 10 SAM katılımı ile elde edildi. Bu SAM'in PÇ'na $\% 5-10$ oranında katıldığında puzolanik etkisinin TR'a göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Portland çimentosuna $\% 5, 10$ kadar SAM katıldığında puzolanik etki trasa göre daha fazladır. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de görüldüğü gibi ortalama eğimler de PÇ mukavemetin eğimine eşittir.



Şekil 7.1 Portland çimentosuna $\% 5, 10, 20$ TR ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar

$$\% 100 \text{ PÇ} \quad \text{tg}\alpha = \frac{558 - 281}{26} = 10.65 \quad \text{eğim} = 0.188$$

$$\% 95 \text{ PÇ} + \% 5 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{538 - 263}{26} = 10.56 \quad \text{eğim} = 0.186$$

$$\% 90 \text{ PÇ} + \% 10 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{519 - 246.4}{26} = 10.49 \quad \text{eğim} = 0.185$$

$$\% 80 \text{ PÇ} + \% 20 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{491 - 204}{26} = 11.03 \quad \text{eğim} = 0.195$$

$$\text{Ortalama eğim} = \frac{0.188 + 0.186 + 0.185 + 0.195}{4} = 0.188$$



Şekil 7.2 Portland çimentosuna % 5, 10, 20 SAM ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar

Portland çimentosunun mukavemet eğiminin (0.188), Şekil 7.2'de görüldüğü gibi %5,10,20 SAM katılımı ile elde edilen ortalama mukavemetin eğimine eşit olduğu bulundu.

$$\%100 \text{ PÇ} \quad \text{tg}\alpha = \frac{558 - 281}{26} = 10.65 \quad \text{eğim} = 0.188$$

$$\% 95 \text{ PÇ} + \% 2.5 \text{ TR} + \% 2.5 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{535 - 260}{26} = 10.57 \quad \text{eğim} = 0.186$$

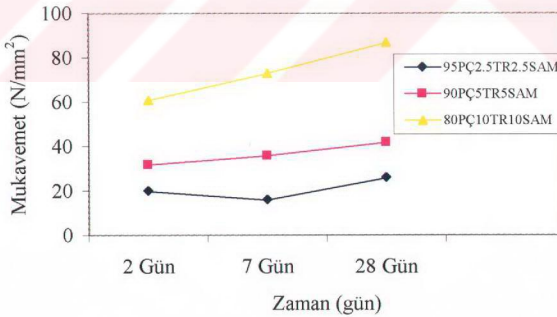
$$\% 90 \text{ PÇ} + \% 5 \text{ TR} + \% 5 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{519 - 248}{26} = 10.42 \quad \text{eğim} = 0.184$$

$$\% 80 \text{ PÇ} + \% 10 \text{ TR} + \% 10 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{474 - 219}{26} = 9.8 \quad \text{eğim} = 0.173$$

$$\% 70 \text{ PÇ} + \% 15 \text{ TR} + \% 15 \text{ SAM} \quad \text{tg}\alpha = \frac{446 - 171}{26} = 10.57 \quad \text{eğim} = 0.186$$

$$\text{Ortalama eğim} = \frac{0.186 + 0.184 + 0.173 + 0.186}{4} = 0.186$$

Portland çimentosuna TR, SAM katılımı ile 28 günlük mukavemet değerlerinde artış gözlenmiştir. Şekil 7.3'de görüldüğü gibi bu, eğimin artışı göstermesi ile ispatlanmıştır.



Şekil 7.3 Portland çimentosuna % 5, 10, 20 TR ve SAM ilavesi ile mukavemette meydana gelen sapmalar

$$\%100 \text{ PÇ} \quad \text{tg}\alpha = \frac{558 - 281}{26} = 10.65 \quad \text{eğim} = 0.188$$

$$\%100 \text{ PÇ} \quad \text{tg}\alpha = \frac{558 - 281}{26} = 10.65 \quad \text{eğim} = 0.188$$

$$\% 95 \text{ PÇ} + \% 5 \text{ TR} \quad \text{tg}\alpha = \frac{543 - 262}{26} = 10.79 \quad \text{eğim} = 0.190$$

$$\% 90 \text{ PÇ} + \% 10 \text{ TR} \quad \text{tg}\alpha = \frac{428 - 244}{26} = 10.92 \quad \text{eğim} = 0.192$$

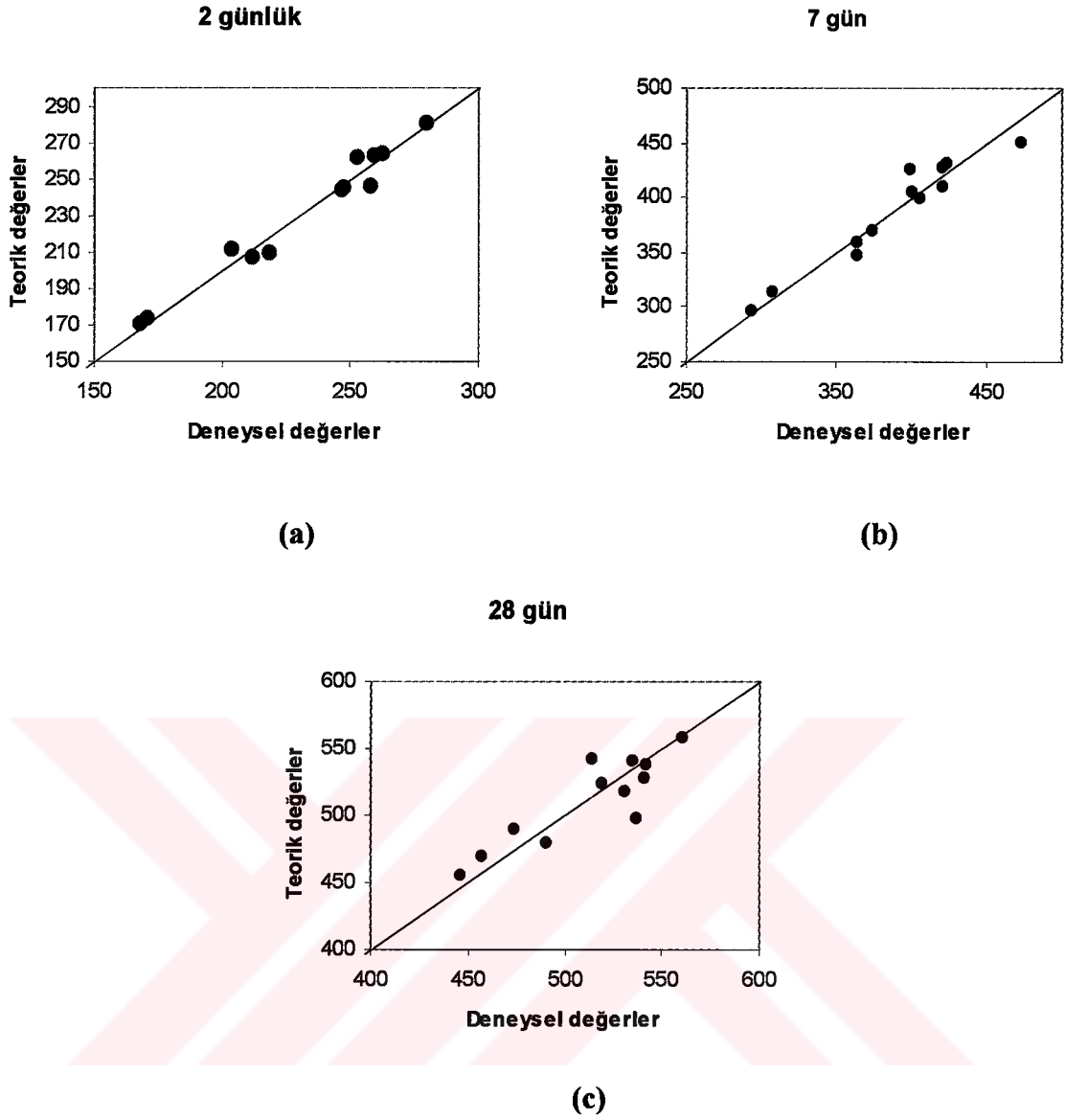
$$\% 80 \text{ PÇ} + \% 20 \text{ TR} \quad \text{tg}\alpha = \frac{449 - 208}{26} = 11.19 \quad \text{eğim} = 0.197$$

$$\% 70 \text{ PÇ} + \% 30 \text{ TR} \quad \text{tg}\alpha = \frac{469 - 171.45}{26} = 11.47 \quad \text{eğim} = 0.203$$

$$\text{Ortalama eğim} = \frac{0.186 + 0.184 + 0.173 + 0.186 + 0.171.45}{4} = 0.194$$

Portland çimentosuna % 5 - 10 - 20 ve 30 TR katıldığında ortalama eğim portland çimentosunun eğiminden daha azdır. Buna göre yukarıdaki eğim cetvelinden görüldüğü gibi portland çimentosuna % 5 - 10 - 20 - 30 TR katıldığında puzolonik etkinin varlığı tespit edilmiştir.

2, 7, 28 günlük teorik ve deneysel veriler Şekil 7.4 (a, b, c) de gösterilmiştir. Bu grafikler matcad programı ile elde edilen teorik ve 2, 7 günlük deneysel verilerle örtüşmektedir. 28 günlük mukavemet değerlerinden sapmalar ise 2 ve 7 günlük teorik/deneysel mukavemet sapmalarından daha fazladır. Bu nedenle de matcad programı ile elde edilen matematiksel denklem 2 ve 7 günlük deneysel mukavemet değerleri ile uyumludur. 2 ve 7 günlük deneysel ve teorik mukavemet değerlerinde görülen bazı küçük sapmaların nedeni sırlı atık malzemenin bileşiminin sabit olmayışı ve her alınan numunede değişiklik göstermesidir. Bu da sırlı atık malzemeyi oluşturan yer ve duvar karosu atıklarının parti parti üretilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.4 2,7,28 günlük teorik ve deneysel mukavemet değerleri arasındaki sapmalar

2, 7, 28 günlük deneysel ve matematiksel model denklemi ile bulunan mukavemet değerleri karşılaştırıldığında 2 günlük deneysel mukavemet değeri 280 N/mm^2 dir (matematiksel model denkleminde elde edilen mukavemet değeri $281,164 \text{ N/mm}^2$). Buna göre mukavemet değerleri birbirine çok yakın olduğu için matematiksel model denklemi 2 günlük mukavemet değerleri için geçerlidir.

Buna karşın 7 günlük deneysel ve matematiksel mukavemet değerleri ile (437 N/mm^2 , 451.5 N/mm^2). 28 günlük deneysel ve matematiksel mukavemet değerleri (561 N/mm^2 , 558 N/mm^2) karşılaştırıldığında matematiksel model denklemini ile elde edilen mukavemet değeri ile deneysel mukavemet değeri arasında az da olsa sapma vardır. Bu sapma 28 günlük mukavemet değerlerinde 3 N/mm^2 lik, 7 günlük mukavemet değerlerinde 14 N/mm^2 'dir.

Bu sonuçlara göre 2 günlük matematiksel model denklemini, 2 günlük mukavemet değerleri için kullanılması uygun bir denklemdir.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sırlı yer ve duvar karosu atıkları ilk önce alçıya alternatif olarak çimentoya katılıp katılmayacağı araştırıldı. 2, 7 ve 28 günlük klinker + SAM + alçı karışımında önce % 25 SAM kullanıldı mukavemet değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlendi. SAM konsantrasyonu % 5 'e düşürüldü. Mukavemet değerleri artmasına karşın yine de çimento değerinden düşük olduğu görüldü. Bu nedenle alçıya alternatif olamayacağı kararına varıldı.

Çimentoya majör katkıların dışında, SAM minör katkı maddesi olarak kullanımı araştırıldı ve %5-10 SAM +PÇ konsantrasyonlarında aynı orandaki PÇ+TR konsantrasyonundan daha iyi mukavemet sonuçları verdiği gözlemlendi. SAM minör katkı maddesi olarak seçilebileceği sonucuna varıldı.

Mukavemet değerlerinin artmasında SAM'ın çok küçük tanecik boyutuna sahip olmasının pozitif etki yaptığı saptandı.

Matematiksel modelleme sonuçlarına göre, 2, 7 ve 28 günlük mukavemet değerlerinden elde edilen matematiksel denklemden teorik ve pratik değere en uygun olanının 2 günlük mukavemet değerlerinden elde edilen matematiksel denklem olduğu görüldü. 7 ve 28 günlük mukavemet değerlerinde görülen düşme, matematiksel model denkleminde ki sapmalarla da kanıtlandı.

Yıllık çimento üretimi 2003 yılında yaklaşık 55 milyon ton olduğu göz önüne alındığında % 5 lik SAM'ın minör katkı maddesi olarak katılması için 2 750 milyon /ton SAM'ın kullanılması gerekmektedir. SAM'ın hem değerlendirilmesi hem de çevre kirliliği bakımından önem taşımaktadır.

DİE'nin 1996 verilerine göre devlet ve özel sektörün toplam üretimin % 18 'i atık malzemedir. Bu malzemenin % 5'i kendi bünyesinde değerlendirilmektedir. Geri kalan % 13 SAM (yer ve duvar karosu atıkları) aynı bölgede çimento fabrikalarında değerlendirilmesi hem ekonomiye hemde çevre kirliliğini azaltması yönünde etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdul, S., M., and Odler, 1., "Hydration Reaction in Fly Ash Portland Cements" Ibid, 92-101.
- ACI Committee 226, (1987), "Use of Fly Ash in Concrete" ACI Matter J., 84, 381.
- Akçansa Web Sayfası, (2003), "Türkiye'de Çimento Sektörü", <http://www.akcansa.com>
- Alexander, K., M., (1960), "reactivity of ultra Fine Powders Produced From Silicious Rocks", Journal of American Concrete Institute, 57, 5, 557-569.
- Arcasoy, A., (1983), 1-3, Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları NO:2, 1-3; Beşiktaş.
- ASTM C 125, (1994), Standart Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts.
- Aydın, A., (1993), Portland Çimentosu Üretiminde Farin Hazırlanması, Bitirme Ödevi, YTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü.
- Barnes, B., D., Diamond, S., Dolch, W., L., "The Contact Zone Between Portland Cement Paste and Glass Aggregate Surfaces", Cement and Concrete Research, 8, 2, 233-244.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1985), Yapı Malzemesi, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bayoğlu, A., S., (1997), "Evaluation of the Reactivity of the Pozzolans", 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, 6-9 November, Istanbul,
- Biricik, H., (1995), Pozzolonik Properties of Wheat Straw Ash and Effects on Durability of Mortar, PhD Thesis, The Institute for Graduate Dudies in Science and Technology of Yildiz Technical University.
- Bloor, E., (1956), "Trans. Brit. Ceramic Society", Ceramic Glaze Technology, 55, 631-660.
- Boateng, A., A., and Skeete, D., A., (1990), "Incineration of Rice Hull for Use as a Cementitious Material : The Guyana Experience", Cement and Concrete Research, 20, 795-802.
- Bogue, R., H., (1955), The Chemistry of Portland Cement, Reinhold Publication Corp., New York.
- Cembureau İstatistik, (1993-1996), The Global Cement Report, Second. Edition.
- Çataltaş, A.İhsan, (1983), Kimyasal Proses Endüstrileri 1, İnkılap ve Aka Kitapevleri, İstanbul.
- Çelenk A., Peker, S., (2000), Çimentonun Tarihçesi ve Türkiye Çimento Sektörü, H.Ö.Sabancı Holding Çimento Grubu Yayını.
- Detwilwe, R., Mehta, P., K., (1989), Chemical and Physical Effects of Silica fume on the Mechanical Behavior of Concrete, ACI, 86, 6, 609.
- Diamond, S., Ravina, D., Lovell, J., (1980), "The Occurance of duplex ilm on Fly Ash Surfaces", Cement and Concrete Research, 10, 2, 297-300
- Dietzel, A., H., (1983), Physics and Chemistry of Glass, 24, 172-180.

- Fraay, A., L., Bijen, J., M., De Haan, Y., M., (1989), "The Reaction of Fly Ash in Concrete A Critical Examination" i Cement and Concrete Research, 19, 235-246.
- Gibergues, C., A., Oliver, J., P., Hanna, B., (1989), "Ultrafine Admixtures in High Strength Pastes and Mortars", International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 1001.
- Gray, T., J., Bull., T., (1979), Ceramic Glaze Technology, Ceramic Society, 58, 768-770.
- Hazra, P., C., (1987), "Natural Pozzolans in India, Their Utility Distribution and Petrography", Records of the Geological Survey of Indian, V 87, 675-706.
- Henderson, J., H., Syers, J., R., Jackson, M., L., (1970), "Quartz Dissolution as Influenced by pH and the Presence of Disturbed Layer", Israel Journal of Chemistry, 357-372.
- Hwang, C., L., and Wu, D., S., (1989), "Properties of Cement Paste Containing RHA", Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete Proceedings of the Third International Conference, 733-762..
- James, J., and Rao, S., (1986), "Characterization of Silica in RHA", Ceramic Bulletin, 65, 8, 1177-1180.
- Johnson, R., (1956), Ceramic Glaze Technology, Trans. Brit. Ceramic Society, 55, 267-285.
- Khayot, K., H., Aintein, P., C., (1992), "Study of Pozzolonic Properties of Wheat Straw Ash", Silica Fume Concrete, an Overview. Proceedings, 4. International Conference on Fly ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, V2, 835-872
- Lehnhauser, W., (1973), Glasuren und Ihre Farben, W. Knapp, Düsseldorf.
- Malinowski, R., Garfinkel, Y., (1991), Prehistory of Concrete, Concrete International, 13, 3, 62-68.
- Massazza, F., (1989), Puzolanik Çimento Semineri, Ankara.
- Marquis, J., E., Eppler, R., A., Bull, (1974), Ceramic Glaze Technology, American Ceramic Society, 53, 443-446.
- Mehta, P., K., and Pitt, N., (1976), "Energy and Industrial Materials Fro Crop. Residues", Resource Recovery and Conservation, 2, 23-38.
- Mehta, P., K., and Pitt, N., (1977), "Properties of Blended Cements Made From RHA", ACI Journal, Proceeding, 74, 440-442.
- Mehta, P., K., (1978), "Siliceous Ashes and Hydraulic Cements Prepared Therefrom", Belgium Patent, Joly 1973, US Patent 4105459.
- Mehta, P., K., (1983), "Puzzolanic and Cementitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete", Fly ash, Silica Fume, Slag and other Mineral by-Product in Concrete, V 1,1-46.
- Mehta, P., K., (1986), Concrete Structure, Properties and Materials, Prentice Hall, London.

- Mehta, P., K., (1987), Studies on the Mechanisms by Which Condensed Silica Fume Improves the Properties of Concrete; Durability Aspects, In International Workshop on Condensed Silica Fume in Concrete, Ottawa, Proceedings, 1-17.
- Menek, M., (1990), Seramik Üretim Teknolojisi, Bitirme Ödevi, YTÜ Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü.
- Moore, H., (1956), "Trans. Brit. Ceramic Society", Ceramic Glaze Technology, 55, 589-600.
- Morris, A.,W., (1956), "Trans. Brit. Ceramic Society", Ceramic Glaze Technology, 55, 674-688.
- Neville, a., M., (1990) Properties of Concrete, Pitman Publishing, Great Britain, 77-81.
- Paya, J., M., Borrachero, E., P., Mora, G.,L., (1996), "Mechanical Treatment of Fly Ashes, Part II Particle Morphologies in Ground Fly Ash (GFA) and Workability of GEA-Cement Mortars", Cement Concrete Research, 26, 225-235.
- Peray, K., E., (1979), Cement Manufacturer's Handbook, Chemical Publishing co., 263, New York.
- Postacıoğlu, B., (1986), Beton Bağlayıcı Maddeler, Beton, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Rawson, H., (1956), Proceedings IV. International Congress on Glass, 62-69, Paris.
- Sersale, R., (1983), Advances in cement Technology, Pergamon Press, 573, New York.
- Sevimli, M., Çamlı, B., (2002), Çimento Üretimi, Bitirme Ödevi, YTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü.
- Shannag, M., J., Yeğınobalı, A., (1995), "Properties of Pastes, Mortars and Concretes Containing Natural Pozzolan", Cement Concrete Research, 25, 647-657.
- Spence, R., J., S., (1974), Lime and Surki Manufacture in Indian, in : RJS Spence (F.d.), Lime and Alternative Cements, Proceedings of One day Seminar on Small-Scale Manufacturing of Cementitious Materials. Intermediate Technology Development Group, London, 18-21.
- Taylor, H., F., W., (1964), The Chemistry of Cements, Academic Press, London and New York.
- Taylor, J.R., Bull, A.C., (1980), Ceramics Glaze Technology, Published on behalf of The Institute of Ceramics, New York.
- TÇMB, (1982), Çimento Bülteni, 19, 179.
- Thurnaver, H., (1937), Journal American Ceramic Society, 20, 368-372.
- Tokyay, M., (1997), Türk Çimento Standartları, TÇMB, Ankara.
- TSE, (1974), Portland Çimentoları Kimyasal Analiz Metodları, TS 687, Ankara.
- TSE, (1975) Tras, TS 25, Ankara
- TSE, (1985), Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları, TS 24, Ankara.

- Tür, Ş., (1981), Seramik Üretim Teknolojisi, Bitirme Ödevi, YTÜ Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü.
- Urhan, S., (1991), "Silisin Alkali Ortamda Çözünmesine Etki Eden Faktörler", çimento Bülteni, 28, 286, 15-21.
- Urhan, S., (1994), TÇMB, 31,326, 10.
- Whitmore, M., (1974), "Trans. Brit. Ceramic Society", Ceramic Glaze Technology, 73, 125-129.
- Worrall, W., E., (1982), Ceramic Raw Materials, 2. Edition, 56-58. Pergamon New York
- Yamaguchi, G., Takemota, K., Uchikawa, H., (1960), Proc. 4. Inter. Symp. Chemistry of Cements, Washington.
- Yeprem, A., (1988), Portland Çimentosunun Sülfatlı Sulara Karşı Kimyasal Dayanıklılığının Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	11.01.1967	
Doğum yeri	Milas	
Lise	1981-1984	Bakırköy Lisesi
Lisans	1984-1988	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1990-1993	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Programı
Doktora	1993-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1989-Devam ediyor YTÜ Kimya Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi

