

57527

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FINDIK DIŞ KABUĞU KÜLÜNÜN
PUZZOLANİK ÖZELLİKLERİ**

İnş.Müh.Ali Nezihi TULGAR

**F.B.E.İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr.Fevziye AKÖZ

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Dış Kapak	
İç Kapak	
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
TEŞEKKÜR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.0. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı	3
1.2. Konu ile ilgili genel bilgiler	4
1.2.1. Kireç	4
1.2.2. Çimento - Portland Çimentosu	5
1.2.3. Puzzolanlar	5
1.2.3.1. Doğal puzzolanlar	7
Killer ve tortul şistler	7
1.2.3.2. Yapay puzzolanlar	9
Yüksek fırın curufu	9
Uçucu küller	10
Silis dumanı	10
Pirinç kabuğu külü	11
Buğday sapı külü	12
1.2.4. Puzzolanik aktivite	12
1.2.5. Silis (SiO ₂)	15
1.2.6. Dayanıklılık (Durabilite)	17
1.2.6.1. İç etkiler	18

1.2.6.2.	Dış etkiler	18
1.2.6.3.	Puzzolanların betonun dayanıklılığına etkisi	19
1.2.7.	Fındık, fındık kabuğu	21
1.2.7.1.	Botanik özellikleri	21
2.0.	DENEYSEL ÇALIŞMA	24
2.1.	Çalışmada kullanılan aletler ve düzenekler	24
2.2.	Çalışmada kullanılan malzemeler	24
	Kireç	25
	Çimento	25
	Fındık dış kabuğu	25
2.3.	Fındık kabuğu külünün elde edişi	29
2.3.1.	Ön deney	29
2.3.2.	Kül üretimi	30
2.3.3.	Öğütme	31
2.4.	Fındık kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri	31
2.5.	Fındık kabuğu külünde puzzolanik aktivitenin araştırılması	33
2.5.1.	Puzzolanik aktivitenin mekanik deneylerle belirlenmesi	33
2.5.2.	Puzzolanik aktivitenin kimyasal deneylerle araştırılması	34
2.5.3.	İç yapı analizleri	35
3.0.	DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	52
3.1.	Mekanik deney sonuçları	52
3.2.	Kimyasal deney sonuçları	52
3.3.	İç yapı araştırması sonuçları	52
4.0.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
	KAYNAKLAR	55
	ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ:

δ_p : Tras Özgöl Ağırlığı (gr/cm³)

δ_k : Kireç Özgöl Ağırlığı (gr/cm³)

δ_{kol} : Külün Özgöl Ağırlığı (gr/cm³)

Σ_{kol} : Külün Özgöl Yüzeyi (cm²/gr)

f_c : Eğilme Dayanımı (N/mm²)

f_b : Basınç Dayanımı (N/mm²)



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1-1 Pirinç kabuklarının X-Işını Difraktogramı	13
Şekil 1-2 Pirinç kabuklarının SEM’de çekilmiş resmi	13
Şekil 1-3 Buğday sapının X-Işını Difraktogramı	14
Şekil 1-4 Buğday sapının SEM’de çekilmiş resmi	14
Şekil 1-5 Silis cevherinin denge bağıntıları	16
Şekil 1-6 Kuvars’ın kristal yapısı	17
Şekil 1-7 Fındık ve fındığın dış kabuğu	23
Şekil 2-1 Fındık dış kabuğunun X-Işını Difraktogramı	27
Şekil 2-2 Fındık dış kabuğunun SEM resmi	28
Şekil 2-3 Fındık dış kabuğunun SEM’de yapılmış kalitatif analiz grafiği	28
Şekil 2-4 Ön yakma düzeneği	30
Şekil 2-5 TS 26’ya göre fındık dış kabuğundan 570°C’da elde edilen küllerin CaO-OH ⁻ çözünürlük eğrisi	36
Şekil 2-6 570°C’da elde edilen külün SEM’de yapılmış kalitatif analiz grafiği	37
Şekil 2-7 570°C’da elde edilen külün x500 SEM resmi	37
Şekil 2-8 570°C’da (hızla soğutularak)elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	38
Şekil 2-9 570°C’da (yavaş soğutularak)elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	39
Şekil 2-10 670°C’da elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	40
Şekil 2-11 770°C’da elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	41
Şekil 2-12 870°C’da elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	42

Şekil 2-13	970°C’da elde edilmiş fındık dış kabuğu külünün X-Işını Difraktogramı	43
Şekil 2-14	%0 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde X-Işını Difraktogramı	44
Şekil 2-15	%0 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x500 SEM resmi	45
Şekil 2-16	%0 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x3500 SEM resmi	45
Şekil 2-17	%8 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde X-Işını Difraktogramı	46
Şekil 2-18	%8 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x500 SEM resmi	47
Şekil 2-19	%8 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x3500 SEM resmi	47
Şekil 2-20	%16 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde X-Işını Difraktogramı	48
Şekil 2-21	%16 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x500 SEM resmi	49
Şekil 2-22	%16 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x3500 SEM resmi	49
Şekil 2-23	%24 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde X-Işını Difraktogramı	50
Şekil 2-24	%24 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x500 SEM resmi	51
Şekil 2-25	%24 Kül katkılı çimento pastasının 28. günde x3500 SEM resmi	51

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1-1	Ülkemizde 1980-1990 yıllarına ait fındık ağaç sayısı ve meyve üretimi	23
Tablo 2-1	Kullanılan kirecin kimyasal özellikleri	25
Tablo 2-2	Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	26
Tablo 2-3	Çimentonun kimyasal analizi, modüller ve minerolojik bileşenleri	26
Tablo 2-4	Fındık dış kabuğu külünün fiziksel özellikleri	32
Tablo 2-5	Fındık dış kabuğu külünün kimyasal analizi	32
Tablo 2-6	TS 25'e göre puzzolanik aktivite harçları için malzeme miktarları	33
Tablo 2-7	TS 25'e göre fındık kabuğu külünün puzzolanik aktivite deney sonuçları ve standart deneyleri	34
Tablo 2-8	TS 26'ya göre kimyasal aktivite deneyi için malzeme miktarları	34

TEŞEKKÜR

Tezimi yürüten, araştırma süresince yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Hocam Sayın Y.Doç.Dr.Fevziye AKÖZ'e,

Araştırmada bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Hocam Sayın Prof.Dr.Erman TULGAR'a, Sayın Prof.Dr.Müzeyyen MARŐOĞLU'na, Sayın Prof.M.Ali SARAYLI'ya, Sayın Dr. Hasan BİRİCİK'e teşekkür ederim.



ÖZET

İnsanoğlu yaşamı boyunca sürdürürken büyük miktarda malzeme tüketmekte ve büyük miktarlarda da atık malzeme üretmektedir. Tükettiği malzemeler ağırlıkları açısından incelenirse sudan sonraki sırayı inşaat malzemelerinin aldığı görülür. İnşaat malzemelerinin en genel kimyasal elementleri oksijen, silisyum, kalsiyum, demir, alüminyum, karbon ve hidrojen dir. Bu elementler doğada buldukları gibi, birçok atık malzeme içinde de önemli oranda bulunmaktadır. Bu nedenle atık malzemeleri, yapı malzemesi olarak kullanmak çevre kirliliği ve atıkların değerlendirme problemlerine iyi bir çözüml olacaktır.

Puzzolan malzeme, kendi başına bağlayıcı olmayan ancak kireç veya imento ile birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği kazanan inorganik bünyeli malzemelerdir. Doğal puzzolanlar ve pişmiş topraktan elde edilen yapay puzzolanlar binlerce yıldır kullanılmaktadır.

Yapay puzzolanların üretiminde tarımsal atık ürünlerinden de faydalanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda Hindistan, Pakistan, Malezya, Irak, Mısır, Arabistan, Amerika, Türkiye vb. ülkelerde tarımsal ürün artığı olan prinç kabuğu ve buğday sapı külünün, puzzolan malzeme olarak değerlendirilmesi konusunda deneysel çalışmalara rastlanmıştır.

Bu çalışmada, ülkemizde tarım ürünleri arasında önemli bir payı olan fındık ağacı meyvasının dış kabuk külünün puzzolanik özellikte olup, olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla, fındık dış kabuğu 570°C'da sabit ısıda 5 saat süre ile yakılarak kül elde edilmiştir. Amorf yapı elde etmek amacıyla küller yakıldıktan sonra laboratuvar sıcaklığında ani bir şekilde soğutulmuştur. Elde edilen kül öğütölerek imento boyutunda inceltilmıştir. Külün puzzolanik karakterde olup olmadığını araştırmak için standartlara uygun kimyasal ve mekanik deneyler yapılmıştır. Bunun yanında külün katkı oranlarının etkisini iç yapı olarak incelemek için %0, %8, %16 ve %24 kül katkılı imento pastaları üretilmiştir. Fındık dış kabuğunda, külde ve 28. günde 4 grup imento pastasında X-Işını Difraktometresi ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile iç yapı incelemesi yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, fındık dış kabuğu külü yaklaşık %45.30 oranında SiO₂ içermektedir. Uygun yakma sıcaklığı 570±25°C ve yakma süresi 5 saat olarak belirlenmiştir. Mekanik ve kimyasal deney sonuçlarına göre kül puzzolanik özelliktedir. Kül oranı arttıkça, bağladığı serbest kire oranı artmaktadır. Fındık dış kabuğu külü puzzolanik özelliği nedeniyle üretildiği bölgelerde kire ve çimentoya katılarak, bağlayıcı malzeme olarak değerlendirilebilir.

ABSTRACT

Man and his activities produce a lot of wastes. At the same time man consumes many things. Amongst the various things man consumes building materials happen to be the largest in terms of weight next only perhaps to water. The most common chemical elements in these building materials are oxygen, silicon, calcium, iron, aluminium, carbon and hydrogen. Most interestingly, these very chemical elements are the ones which are to be found in abundance in nature as well as in most of the wastes. Utilization of wastes by converting them into building materials, therefore, appears prima facie the most logical answer and should create the least difficulties from the point of view of the overall dimensions of waste disposal and utilization problem.

Natural and artificial pozzolanas have been used to obtain hydraulic binders for over a thousand years. Hardening of pozzolanic cement pastes can result from the reaction between pozzolan and the lime or is produced following hydration of portland cement silicates. The pozzolanic reaction does not alter cement clinker hydration; it complements and integrates the hydration process because it results in a lower portlandite content and an increase in calcium silicate hydrates.

In this study, the pozzolanic ash is aimed to be obtained from filbert husk. The filbert husks are burned in the electrical ash furnace by which the burning temperature of 570°C is achieved and kept constant for 5 hours. After burning, the filbert husk ashes are cooled quickly at room temperatures. The obtained ash is fined by grinding. Being in pozzolanic character of the ash is proven through chemical, mechanical experiments. 0%, 8%, 16 and 24 ash added cement pastes have been made. At the 28. day, the four groups of cement pastes are investigated with X-ray Diffractogram and with Scanning Electron Microscope (SEM).

According to test results, filbert husk ash contains 45.30% SiO₂. The suitable burning temperature is 570±25°C and the suitable burning time is 5 hours. According to the mechanical and chemical test results, the ash is in pozzolanic character. As ash content increases, CaO content decreases. Filbert husk ash could be used as a binder by adding it to cement or lime.

1.0. GİRİŞ

İnsanoğlu dünya üzerinde yaşamını sürdürürken büyük miktarda malzeme tüketmekte ve bunun yanında büyük miktarlarda da atık malzeme üretmektedir. Tükettiği malzemeleri ağırlıkları açısından incelersek sudan sonraki sırayı inşaat malzemelerinin aldığını görürüz. Bu inşaat malzemelerinin en genel kimyasal elementleri ise oksijen, silisyum, kalsiyum, demir, alüminyum, karbon ve hidrojen dir. Bu elementlerin doğada bulunmaları dışında, en enteresanı birçok atık malzeme içinde de büyük miktarda bulunmalarıdır. Bu yüzden atık malzemeleri, yapı malzemeleri olarak kullanmak çevre kirliliği ve atık malzeme değerlendirme problemlerine en mantıklı çözüm olacaktır. (Visvesvaraya,1986)

Çevremizdeki atıkları üç başlıkta toplayabiliriz;

- a) Tarımsal atıklar
- b) Endüstriyel atıklar
- c) Şehir ve kırsal alan atıkları (hayvan atıkları dahil)

Son yıllardaki araştırma ve geliştirme çalışmalarını tarımsal atıkları da enerji, lif, kimyasal madde ve mineral içerik kaynağı olarak tanımlamışlardır.

Mineral atık kaynağı olarak bitki artıklarını gösterebiliriz. Bütün bitkiler mineral madde içermektedir. Mineral maddelerin miktar ve içerikleri bitkiden bitkiye, üretim şartlarına ve cinsine bağlı olarak değişmektedir. Ancak çok açıktır ki bitkilerin mineral içeriğinde ana bileşen olarak silis bulunmaktadır. (Visvesvaraya,1986)

Bitkiler büyümeleri sırasında silisi topraktan bünyelerine almaktadırlar. (Smith,Kamwanja,1986) Bitkilerden elde edilen külün de ana bileşenini silis oluşturmaktadır. Silis muhtevası bakımından en zengin olan prinç kabuğu külünde bu oran %95'lere varmaktadır. (Visvesvaraya,1986)

Betonun dayanıklı (durabil) olabilmesi için, basınç dayanımı yüksek olmalı, boşluksuz olmalı, dayanımı sürekli olmalıdır. Basınç dayanımı betonun tüm nitelikleri ile paralellik gösterir.(Biricik,1995)

Dayanımı yüksek olan beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanıklıdır, aşınmaz (Akman,1987).

Beton, inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir. Betonun önceden şekil verebildiğimiz bir yapay taş olarak tanımlayabiliriz. Beton agrega adını verdiğimiz kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelir. Çimento sanayi bugünkü düzeyine varmasaydı, beton da günümüzdeki önemli yerine gelemezdi. Betonun bileşenleri içinde çimento gerek ekonomik, gerek teknolojik özellikleri açısından farklı bir yere sahiptir. Betonlardan beklenen üç ana nitelik vardır. Beton hangi amaç için üretilirse üretilsin muhakkak surette bu üç ana niteliğe sahip olmalıdır :

- 1) İşlenebilir olmalıdır
- 2) Mukavemetli olmalıdır
- 3) Dış etkilere dayanıklı olmalıdır (Akman 1987)

Bir yapının muhtelif kısımları bilindiği gibi atmosferde, su içinde ve zeminde olmak üzere üç değişik ortamda bulunabilir. Burada korozif etki yönünden en tehlikeli ortamın muhtelif tür sular olduğu söylenebilir. Sular; sülfat, klörür, nitrat şeklinde anorganik asitlerin tuzlarını içeren çözeltiler, asetik asit, laktik asit gibi organik asitli çözeltiler olarak betonu değişik şekillerde etkiler.

Gelişen kimya endüstrisinin bir sonucu olarak da kimyasal ortamla temas eden beton yapılar artmaktadır. Bu gibi beton yapılarda çevre problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu şartlardan etkilenen beton yapılarda zamanın bir fonksiyonu olarak korozyondan söz edilmektedir. Beton korozif ortam etkilerine maruz kaldığında, ortamdaki çözeltilerle çimento hidrasyon ürünleri $-Ca(OH)_2$, $3CaOAl_2O_3-$ arasındaki reaksiyonlar sonucu yeni bileşikler oluşur. Bu reaksiyon ürünleri hacim genişmesi, yumuşama ve beton yapısının çözülmesine neden olur. Bunun sonucu olarak beton özelliklerinde çözeltilinin türüne, konsantrasyonuna, sıcaklığına ve etki süresine bağlı olarak olumsuz değişimler meydana gelir. Bu tip korozif problemleri önlemek için çeşitli yöntem ve öneriler vardır. Bu yöntem ve öneriler, özel tip çimentolar ile beton üretmek, özel katkı maddeleri kullanmak veya her ikisi birlikte kullanılarak beton üretmek şeklinde özetlenebilir. Puzzolanlı çimentolar da, betonla ilgili bu tip sorunlara belirli oranda cevap vermektedir.

Puzzolanlar, kimyasal olarak çok miktarda aktif SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO gibi oksitler içeren maddelerdir. Puzzolan malzeme içindeki camlaşmış aktif silis kireçle karıştırıldığında, nemli ortamda bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Bu olay çimentonun hidratasyon ürünü olan ve suda eriyen Ca(OH)_2 ile de gerçekleşir. Yani aktif silis ile serbest kireç birleşerek suda erimeyen silikat tuzu oluşturur. Bu özelliği nedeni ile puzzolanlar, çimentonun suya karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. (Biricik 1995)

Dünya ekonomisi üzerinde orman ürünleri ve orman yan ürünleri büyük bir rol oynamaktadır. Orman ürünlerinden rasyonel olarak faydalanma, ana ürünlerinin yanında, yan ürünleri de değerlendirmekle mümkün olmaktadır.

Orman yan ürünlerinden olan fındık üretimi, ülkemiz ihracatının büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ülkemiz dünya fındık üretiminin dörtte üçünü gerçekleştirmektedir. Yıllık fındık üretimi 500000 tonu bulmaktadır. Fındıkta kabuk/iç oranı %50'dir. Böylece her yıl 250000 ton kabuk elde edilmektedir. (Yılmaz,1990)

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kupula'da denilen bu fındık dış kabuğunun ekonomiye hiçbir katkısı yoktur. Üreticiler tarafından yakacak olarak kullanılmakta veya yığınlar halinde yakılarak yok edilmektedir.

Çalışmanın amacı fındık üretiminde atık malzeme olarak ortaya çıkan fındık dış kabuğundan kül elde etmek, külün puzzolanik özelliklerini araştırmak ve bu külün puzzolan malzeme olarak kullanılmasını sağlayarak ekonomiye kazandırmaktır.

Yapılan literatür araştırmasında Hindistan, Pakistan, Malezya, Irak, Mısır, Arabistan, Amerika, Türkiye vb. ülkelerde tarımsal ürün atığı olan prinç kabuğu ve buğday sapı külünün, puzzolan malzeme olarak değerlendirilmesi konusunda deneysel çalışmalara rastlanmıştır. Ancak fındık kabuğu külünün puzzolan malzeme olarak kullanılması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu amaç doğrultusunda fındık kabuğu külü elde edilerek, bu külün puzzolanik olup, olmadığı araştırılmıştır.

Deneyde kullanılacak külü elde etmek için, Sakarya bölgesi Kocaali yöresinden sağlanan 1994 yılı ürünü fındık dış kabukları kullanılmıştır. Bu kabuklar, özel hazırlanmış tel kafeslerde kontrolsüz olarak kendi halinde yaklaşık 10 saat kadar bir süre ile ön yakmaya tabi tutulmuştur. Ön yakmadaki amaç, hacmi küçültmek ve yakma esnasında çıkacak duman ve isten kurtulmaktır. Ön yakma ile elde edilen malzeme, daha sonra kül fırınlarında tel ızgaralı tepsilerde, sıcaklık ve zaman bakımından kontrollü olarak yakılmış ve oda sıcaklığına kadar ani bir şekilde soğutulularak kül elde edilmiştir. Elde edilen kül, fındık kabuklarının ağırlıkça yaklaşık %10.30'unu oluşturmuştur. Kül fırınlarında yakılarak elde edilen kül, daha sonra bilyalı değirmende yaklaşık çimento inceliğinde öğütülmüştür.

Fındık kabuğu külünün puzolanik özellikleri mekanik, fiziksel ve kimyasal deneylerle araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, fındık kabuğu külünün aktif puzolan özellikte olduğu görülmüştür.

1.2. Konu ile İlgili Genel Bilgiler

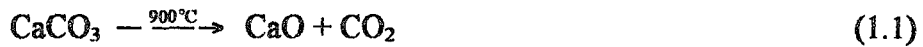
Bu bölümde, puzolan, puzolanik aktivite, durabilite ve fındıkla ilgili çalışmalar incelenecektir.

1.2.1. Kireç

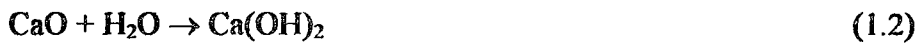
İnsanoğlu uzun yıllar kireci bağlayıcı olarak kullanmak zorunda kalmıştır. Bu durum inşaat teknolojisinin uzun yıllar emekleyerek gelişmesine neden olmuştur. Zira kireç sadece havada dayanım kazanır, suya dayanıksızdır, düşük mukavemetlidir.

Kirecin üretiminde iki aşama vardır :

1- Yakılma İşlemi : Kireç yaklaşık 900°C'da yakılarak sönmemiş kireç elde edilir.



2- Söndürme işlemi : Toz veya topak halindeki sönmemiş kireç su ile söndürülerek bağlayıcı özellikteki hamur elde edilir.



Kirecin sertleşmesi, kuruma, kristalleşme, karbonatlaşma olmak üzere üç aşamada olur : Kuruma, Ca(OH)_2 formülünde kristalleşme, havanın CO_2 'i ile birleşerek karbonatlaşma. Kuruma ve kristalleşme geçicidir. Suyla karıştırılınca kireç tekrar yumuşar. Asıl sertleşme karbonatlaşma sonucudur.



Bu reaksiyon çok yavaş olur, havanın ve özellikle CO_2 'nin varlığı zorunludur. Bu nedenle kireç bir havada sertleşen bağlayıcıdır. (Akman,1987)

1.2.2. Çimento - Portland Çimentosu

Kalker, kil karışımının 1400°C 'ye kadar ısıtılması, içine ergimeyi kolaylaştırmak için demir filizi içeren toprak katılması, meydana gelen ceviz büyüklüğündeki granüle malzemeye (buna klinker denir) %3 oranında alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ilave edildikten sonra çok ince olarak öğütülmesi çimentonun üretimi ve üretim aşamalarıdır.

Kalker sıcaklık etkisiyle ayrışarak kirece (CaO), kil ayrışarak silis ve alümine (SiO_2 ve Al_2O_3) dönüşür, bu arada kilde ve ilave edilen ergitici toprakta bulunan demirde de demir oksit (Fe_2O_3) şeklinde ortaya çıkar. Asit ve bazik öğeler birbirleri ile birleşerek Portland Çimentolarının ana bileşenini (karma oksitler) oluştururlar.

- Bikalsiyum silikat (C_2S) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- Trikalsiyum silikat (C_3S) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- Trikalsiyum alüminat (C_3A) : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Tetrakalsiyum alümino-ferrit (C_4AF) : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Bunlar dışında birleşmemiş CaO , SiO_2 , MgO vb. maddeler az miktarda gayri saflık olarak kalırlar. (Akman, 1987)

1.2.3. Puzzolanlar

TS 19'a göre puzzolanik maddeler, kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olmadıkları halde, ince olarak öğütüldüklerinde, rutubetli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum

hidroksit ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal veya yapay maddelerdir.

İnsanların su içinde de priz yapabilen, su etkisiyle erimeyen bağlayıcı üretme çabaları çok eski çağlara kadar uzanır.

Aktif, camlaşmış silis (SiO_2) içeren toprakların kireçle karıştırılmaları durumunda bu özelliğin kısmen sağlandığı gözlenmiştir. Eski Mısır'da ve Önasya'da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Böylece elde edilen harca "horasan" denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa'da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Bu toprak camlaşmış volkan toprağı idi ve puzzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklandı. Doğal puzzolanların en önemlisi Almanya'da Ren vadisinden çıkarılan ve Tras adı verilen puzzolandır. Bu puzzolan gayet üstün özelliklere sahip olduğundan birçok ülkelerde ve bu arada bizim ülkemizde de puzzolan sözcüğünün yerini almış bulunmaktadır.

İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgeleri'nde puzzolanik reaktivitesi değişik traslar vardır.

Puzzolanlar kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'den oluşan maddelerdir. Su ile karıştırıldıklarında çamur haline gelir, kuruduktan sonra tekrar eski hallerine dönerler. Ancak bunlar kireçle karışırlarsa bağlayıcılık kazanır ve suda erimeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler.

SiO_2 içeren her toprağın puzzolanik olmayacağı açıktır. Hangi toprağın bu özelliğe sahip olduğu, aktivite testleri yapılarak belirlenir.(Akman, 1987)(Postacıoğlu, 1986)(Mazlum, 1989)

Puzzolan-kireç birleşiminin daha başarılı olması için bazı koşullar vardır :

- Ortam sulu olmalıdır
- Gerekli uzun zaman geçmelidir
- Puzzolan özgül yüzeyi mümkün olduğunca büyük olmalıdır, yani çok ince öğütülmelidir. (Akman,1987)(Slanicka,1991)

Puzzolanların kireci tespit etmeleri, çimento yönünden önemlidir. Böylece çimentolarda su etkisiyle eriyen kireç, erimez duruma geçer ve çimento kimyasal etkilere daha dayanıklı olur.

Puzzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. (Mazlum,1989)(Biricik,1995)(Postacıoğlu,1986)(Massazza, 1993)(Mehta, 1983)

1.2.3.1 Doğal Puzzolanlar

Doğal puzzolan olarak bilinen maddeler volkanik küller, killi şist, diatome toprağı, ponza taşı v.b.'dir. Bunlar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Puzzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi bulunduğu bölgeye göre değişiklik gösterir. Özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m³ arasındadır. Doğal puzzolanlar kalsinasyon işlemine tabi tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonucu varsa yapıdaki karbonatlar bozularak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzzolanlar, killer ve tortul şistler, opaller ve ve volkanik tüfler,sünger taşları olarak üç gruba ayrılır (Erguvanlı, 1983), (Neville, 1987), Postacıoğlu, 1986).

Killer ve Tortul Şistler

Kil bir kayaç adıdır,belli bir tane boyutun'da (1/16 mm'den küçük) ve plastik şekil değiştiren özelliğe sahip bir malzemedir. X-ışınlarıyla yapılan analizlerin sonucunda değişik özellik gösteren kil mineralleri ortaya çıkmıştır. Bu mineraller sulu alüminyum silikat'lerdir. Magnezyum ve demir zaman zaman alüminyumun yerini alır. Kil grubu kayalardan kalsinasyon işlemi ile aktif puzzolan elde etmek mümkündür. Bu gruba giren killeri, Montmorillonit, kaolinit, illit olarak sayılabilir.

Montmorillonit, Montmorillonitin esas mineralini oluşturan bentonit, ayrışmaya uğramış volkan küllerinden meydana gelmiştir. Kimyasal bileşimi $(Al_2O_3(Ca,Mg)0.5SiO_2.nH_2O)$ şeklindedir (Biricik,1995).

Kaolinit, kaolinitin minerali, feldispatların ayrışması sonucu meydana gelir.kimyasal bileşimli, $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ dir. Kristal yapısı, ortorombik ve heksagonal

şekilli levhacıklar halinde bulunurlar. Asitlerden etkilenmezler. Plastik davranış gösterirler.

İllit, illit şeyl adını alan oluşumların esas minerali olarak görülür. Kimyasal bileşimi $Al_{4a+b}MaFecK_2Si_{8-y}Al_yO_{20}(OH)_4$ mika'ya benzer kil mineralidir. Bünyesinde fazlaca su bulundurur.

Opaller, opal silikat ve silikatlı taşların, serpantin ve volkanik kayaların sıcak suların etkisi ile bozulmasından meydana gelir. Opal (SiO_2+nH_2O , $n = \%3-13$); sulu silis bileşiminde amorf yapıli bir mineraldir. Bu tip puzzolanlarda aktiflik, kalsinasyonla sağlanabilir. Opaller; opalli şeyller, diatomeli topraklar, çörtler olmak üzere üçe ayrılırlar.

Opalli Şeyller, çapları 0.02 mm'den ufak olan silt ve kil parçacıklarının sıkışması ile "Silttaş" opalli şeyller oluşur. Bu kütleler daha önce varolan kütlelerin ayrışması ile oluşmuş kil minerallerinden kristalize olmuş kolloidal maddelerden ibarettir.

Diatomeler, mikroskobik alg'lerin diatome türlerinin silisli kalıntılarının birikmesi ile oluşurlar. Yumuşak hafif ve boşluklu'dur. görünüş bakımından tebeşire ve kaoline benzer. Neojen devri göllerinin içinde diatomitler çoğunlukla silisli eriyiklerin bol olduğu ortamlarda oluşurlar. Bileşiminde %65.2 silis (SiO_2) vardır.

Çörtler, organik ve kimyasal kökenli çok küçük kristalli silikatlardır. Organik tipli çörtler, silisli, kavkılı mikroorganizmaların birikimi ile, kimyasal çörtler ise göl ve denizlerdeki buharlaşma sonucu kolloidal silisin çökmesi ile oluşur.

Volkanik Kayaçlar, bu tip puzzolanlarda kalsinasyona gerek yoktur. Riyolit, Andezit, Fonolit bu gruba girer.

Riyolit, İnce taneli ve sert olan riyolitler, granitlerin yüzey taşlarıdır. Asıl olarak kuvars ve alkali feldispatları içerirler. İçerdikleri silis oranı %60-75 civarındadır.

Andezitler, bileşim yönünden dazitlere benzer. İçinde kuvars bulunmayan feldispatlarla birlikte koyu renkli minerallerden oluşan kayaçlardır. Silis (SiO_2) oranı %46-60 arasındadır. Kısmen hamur kısmen camsı olur. Tümü camsı malzemedan oluşmuş andezitler'de vardır.

Fonolit, nefelinli siyenitlerin yüzey taşıdır. Silisce trahitlere göre fakirdir, %46-60 oranında silis bulunduran volkanik kayaçtır.

Bazalt, gabroların yüzey taşlarıdır, bünyelerinde çokça gaz boşlukları bulunduğu için gözeneklidirler. Bazik bileşimlidirler. Bunlarda %46-60 oranında silis içerirler (Biricik,1995).

1.2.3.2. Yapay Puzzolanlar

Yapay puzzolanlar, kalsinasyon işlemi ile elde edilen puzzolanlardır. Bunlar, kil veya şist gibi doğal maddelerin ısıtılması ile elde edilirler. Endüstri atığı puzzolanlar diğer maddelerin üretim artıklarından, çok yaygın olmamakla birlikte tarım artığı maddelerin yakılması ile elde edilirler. Örneğin: Metal silis ve silis alaşımlarının üretiminden silis dumanı, termal elektrik güç santrallerindeki öğütülmüş ocak kömürünün yanmasından uçucu kül, demir çelik endüstrisindeki font üretiminden artık olarak curuf, termal güç santrallerinde fosil yakıtların yakılmasından uçucu kül, pirinç kabuğunun yakılmasından pirinç kapçığı külü v.b. elde edilir. Üstün özelliklere sahip puzzolanlar %40'dan %90'a kadar silis içerebilirler. Massaza'ya göre üretim artığı bu maddelerin içinde de doğal puzzolanlarda olduğu gibi (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO v.b.) oksit bileşenleri bulunmaktadır, ancak bunlar üretimdeki reaksiyonlar sonucunda oluştuğundan, yapay puzzolan denilmektedir. Atıktaki silisin oranı ve aktifliği, puzzolanın aktifliğini belirler. Endüstri artığı yapay puzzolanlar üç gruba ayrılırlar (Massazza, 1989), (Mehta, 1983). Tarım artığından elde edilen külleri henüz böyle sınıflandırmak mümkün değildir.

Yüksek Fırın Cürufu (Blast Furnace Slag)

Yüksek fırında, demir filizi, ergitici (CaCO_3) kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonucu font üretilir. Demir-çelik endüstrisinde font üretimi sırasında cüruf atık olarak ortaya çıkar. Fırının altından alınan cüruf ani olarak su veya soğuk hava ile soğutulur. Bu madde granüle halde curuftur. Elde edilen cüruf çimento fabrikalarında, değirmende klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütülerek cüruf çimento elde edilir. Cürufun puzzolanik özellikleri soğutma şekline (ani veya yavaş soğutmaya) ve demir filizinin özelliğine göre değişir.

Uçucu Kül (Fly Ash)

Termal güç santrallerinde toz haline getirilmiş fosil yakıtlarında, ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Kimyasal bileşimleri elverirse yakmayı izleyen soğutma işlemi bu erimiş maddenin ince parçacıklarını, yaklaşık olarak küresel şekilde camsı parçacıklara dönüştürür.

Yanma gazlarıyla birlikte bacadan yukarıya doğru kolayca çekildiklerinden bu maddelere uçucu kül denir. Bu küllerin yüzey alanları, 2000'den 5000 cm²/gr'a (Blaine'in permeabilimeter metodu) kadar değişir. Kömür ya da linyitin artıklarının doğasıyla sıkı sıkıya ilişkili olduğundan, uçucu küllerin kimyasal bileşimi önemli ölçüde değişir, bu arada özellikleri yanma işleminde bağlıdır. CaO miktarının yüksek veya düşük olmasına göre de puzzolanik özellik değişir (Massazza, 1989).

ASTM C618'e göre uçucu küller, kaynaklandıkları kömürün tipine ve kimyasal bileşimine bağlı olarak ikiye ayrılır.

a) F sınıfı antrasit veya bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \% 70 \quad (1.4)$$

b) C sınıfı linyit veya ikincil bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \% 50 \quad (1.5)$$

olmalıdır.

Silis Dumanı (=Silica Fume)

Metal silislerinin veya değişik demir silis alaşımlarının elektrik ark fırınlarında üretimi sırasında ortaya çıkarlar. Elektrik ark ısısında, havada oksitlenen ve SiO₂ mikroküreleri şeklinde çökelen SiO₂ dumanları oluşur. Silis içeriği çok yüksektir. %90'ı aşabilir. Özgül yüzeyleri 13-23 m²/gr olan silis duman'ı yüksek bir puzzolanik aktiviteye sahiptir (Massazza, 1989).

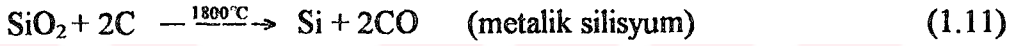
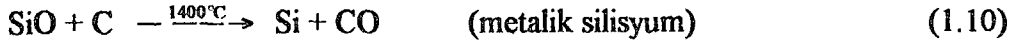
Ark fırınlarında yaklaşık 1100 C°'de kararsız bir ara ürün olan SiO (silisyum mono oksit) oluşur.



Fırında sırasıyla şu reaksiyonlar görülür.



Silisyumoksit veya silisyumdioksit belirli sıcaklıklarda karbon ile birleşerek aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi silisyum karbür ve/veya metalik silisyumu oluşturur, bu arada karbon monooksit açığa çıkar.



Diğer yandan oluşan SiO ani olarak soğuk bölgeye geldiğinde SiO₂'e dönüşür ve kondanse silica fume denen silis dumanı meydana gelir. Ark fırınından çıkışı sırasında gaz filtrelerinde toplanan ve yoğuşan silis dumanı, amorf yapıda ve çok küçük küresel parçacıklar halindedir. Spesifik yüzeyi 20-23 m²/gr. olan silis dumanının puzolanik aktivitesi çok yüksektir (Mehta, 1983).

Silis dumanı yüksek mukavemetli ve kimyasal ortama dayanıklı harç ve beton üretiminde geniş ölçüde kullanılmaktadır (Akman, 1985), (Biricik, 1995).

Pirinç kabuğu külü (Rice husk ash)

Pirinç gibi bazı bitkiler işlendikten sonra kalan kabuk ve artıkları, yüksek oranda silisyumdioksit içerirler. Kabukların, belli şartlarda yakılması sonucu elde edilen külün ani olarak soğutulması ile amorf yapıda SiO₂ elde edilir. Amorf silisin küldeki oranı %85-97 arasında özgül yüzeyi 50-60 m²/gr gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzolanik aktivitesi yüksektir (Mehta, 1983). Kabuktaki silis SiO₂.nH₂O şeklinde ve kabuğun iskeletini oluşturur. Amorf silis, mono silisli asit veya silikat olarak bulunur. Kabuktaki silis'in opal camsı şekilde olduğu X-Ray Difraktometresi (XRD) ve Scanning electron

Scanning electron microscope (SEM) ile yapılan incelemelerle kanıtlanmıştır (Visvesvaraya, 1986), (Barth, Huppertz, 1974). Pirinç kabuğunun Şekil 1.1’de X-Işını difraktogramı, Şekil 1.2’de ise SEM ile elde edilen fotoğrafı görülmektedir (Visvesvaraya,1986).

Buğday sapı külü (Wheat Stalk Ash)

Buğday sapı yıllık bitkilerden buğday üretimi sonunda elde edilen tarımsal ürün artığıdır. Sellülöz sanayiinde tüketilen silikatçe zengin epiderm hücreli tarımsal atıkların kullanılmasında silikat ve pentozanın ayrıştırılması önemli sorun yaratmaktadır. Silikatçe zengin yıllık bitkilerdeki silis, başlıca kutikula tabakası ile korunan epiderm hücrelerinde yerleşmektedir. Yaprakların ve nodların epiderm hücreler ve dolayısı ile silikat bakımından daha zengin olduğu bilinmektedir. Buğday sapının yapısında epiderm hücreler arasında iskeleti teşkil eden silis, saplar yandıktan sonra elde edilen külün ani olarak soğuması sonucu amorf silis (SiO_2) şeklinde, yavaş soğuması sonucu kısmen kristal α (SiO_2), β (SiO_2), tridimite silis şeklinde oluşur (Cengiz, 1987),(Biricik,1995)

Buğday sapının Şekil 1.3’de X-Işını difraktogramı, Şekil 1.4’de ise SEM ile elde edilen fotoğrafı görülmektedir (Biricik,1995)

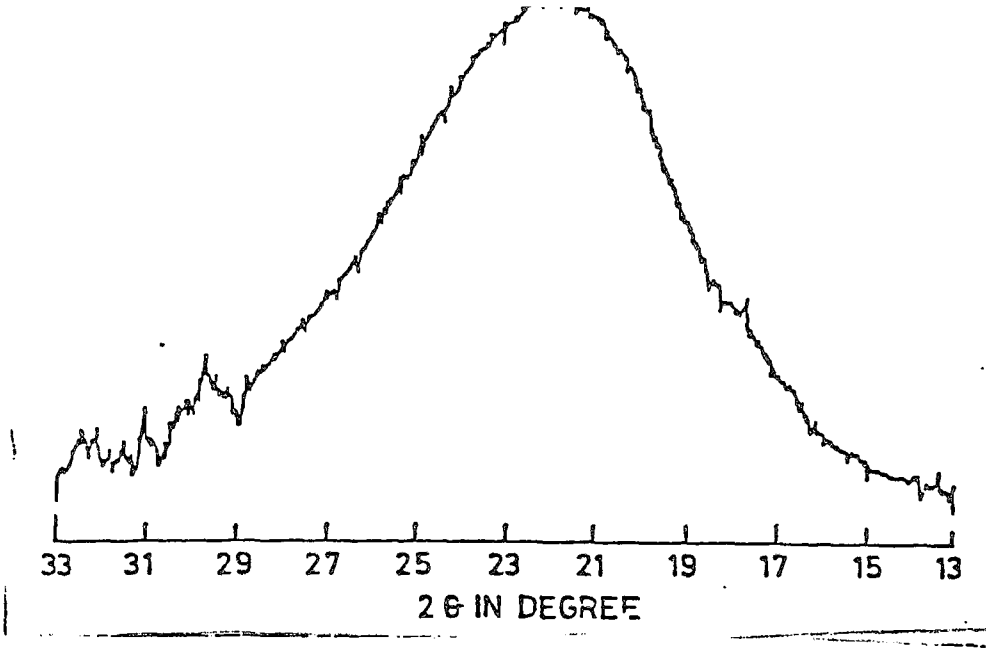
1.2.4. Puzzolanik Aktivite

Puzzolanik aktiviteyi “puzzolanların kireci bağlama özelliğidir” şeklinde tanımlayabiliriz. Ancak “puzzolanik aktivite” terimi aktif bileşenler olan puzzolan, kireç ve su arasında oluşan tüm reaksiyonları kapsamaktadır.

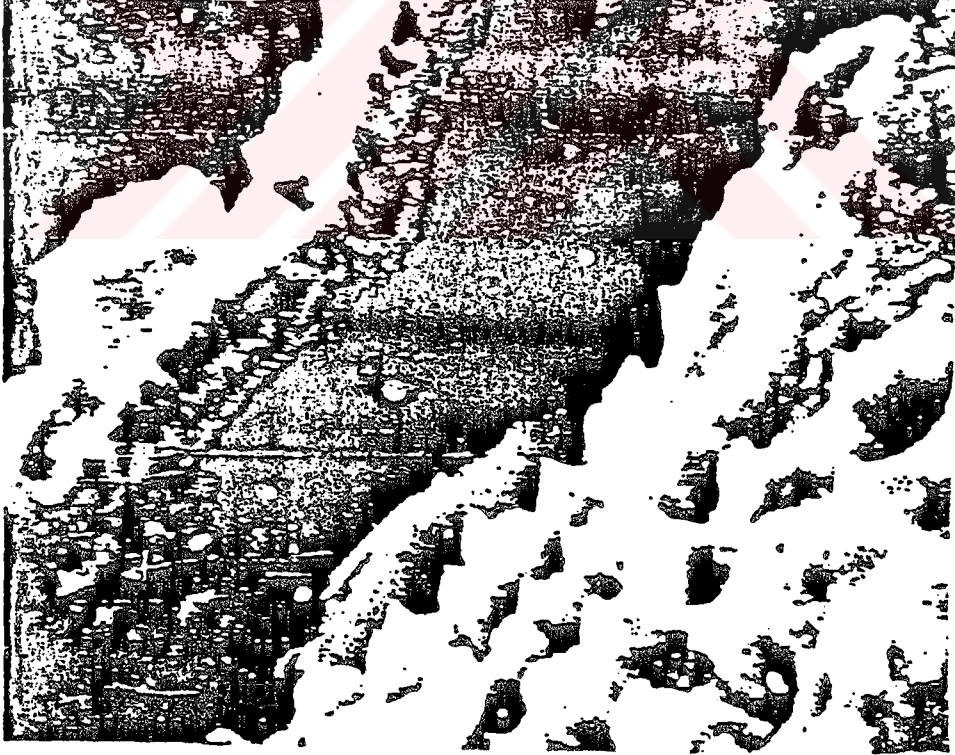
“Puzzolanik aktivite” terimi iki parametre içermektedir:

- 1- Puzzolanın bağlayabileceği maksimum kireç miktarı
- 2- Böyle bir bileşimin hangi oranda olacağıdır.

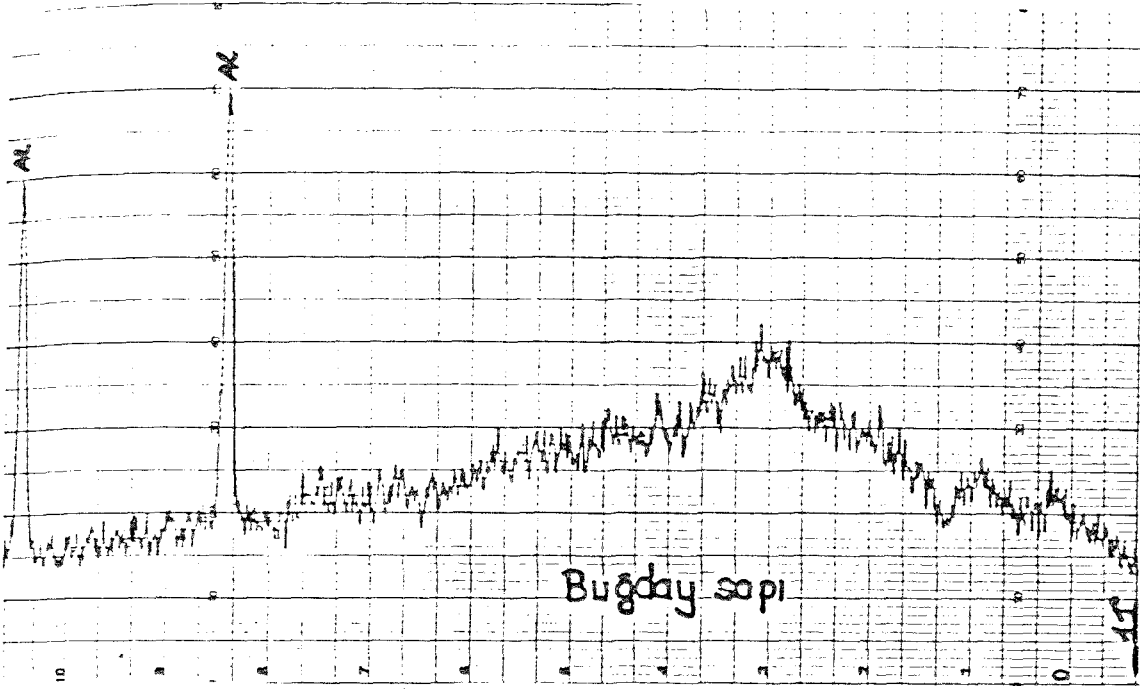
Bu iki faktör de puzzolanın yapısına, daha da önemlisi aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır. Puzzolan ailesinin heterojenliği ve hidrasyon sırasında oluşan karmaşık olaylar “puzzolanik aktivite”yi modellemeyi imkansız kılmaktadır.



Şekil 1.1 Prinç Kabuklarının X-Işını Difraktogramı (Visvesvaraya,1986)



Şekil 1.2 Prinç Kabuklarının SEM'de çekilmiş Resmi (Visvesvaraya,1986)



Şekil 1.3 Buğday Sapının X-Işını Difraktogramı (Biricik, 1995)



Şekil 1.4 Buğday Sapının SEM'de Çekilmiş Resmi (Biricik, 1995)

Bağlanan kirecin miktarını etkileyen etkenler şunlardır :

- a) Aktif fazların yapısı
- b) Aktif fazların puzzolan içindeki miktarı
- c) Aktif fazların SiO₂ içeriği
- d) Karışımın kireç-puzzolan oranı
- e) Puzzolanın özgül yüzey alanı
- f) Sıcaklık

(Massazza,1993)

Bir malzemenin puzzolan olduğunu kanıtlaması için puzzolanik aktivite deneylerinde olumlu sonuç vermesi gerekir. Bu deneyler, doğal ve yapay puzzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. (Mazlum,1989)

Mekanik deneyler, TS 25 Tras Standardında belirtildiği şekilde hazırlanan numuneler üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir.

Kimyasal deneyleri ise TS 26 Traslı Çimento Standardında belirtildiği şekilde hazırlanan numunenin hidratasyonu sonunda çözültide oluşan Ca(OH)₂ miktarını saptamaya dayanır. (Biricik, 1995)

Puzzolana, puzzolanik özellik kazandıran silisin amorf yapısıdır. Amorf silise çözünen silis de denir. Çözünen silis, doğrudan doğruya tayin edilebildiği gibi, çözünmeyen SiO₂, toplam SiO₂'den çıkartılarak da bulunabilir. (Mazlum,1989)

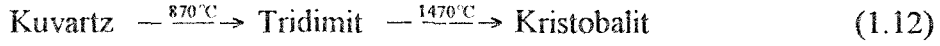
Amorf silis kalitatif olarak X-Işını Difraktometresinde, kantitatif olarak kimyasal gravimetrik yöntemlerle bulunur.(Bıdın et al,1984)

1.2.5. Silis (SiO₂)

Silis, silisyum dioksit olarak da bilinir, yerkabuğunda en bol bulunan iki elementin oluşturduğu bileşiktir. Yerkabuğu kütlelerinin yaklaşık %59'u ve bilinen kayaçların %95'inin temel bileşeni silistir.

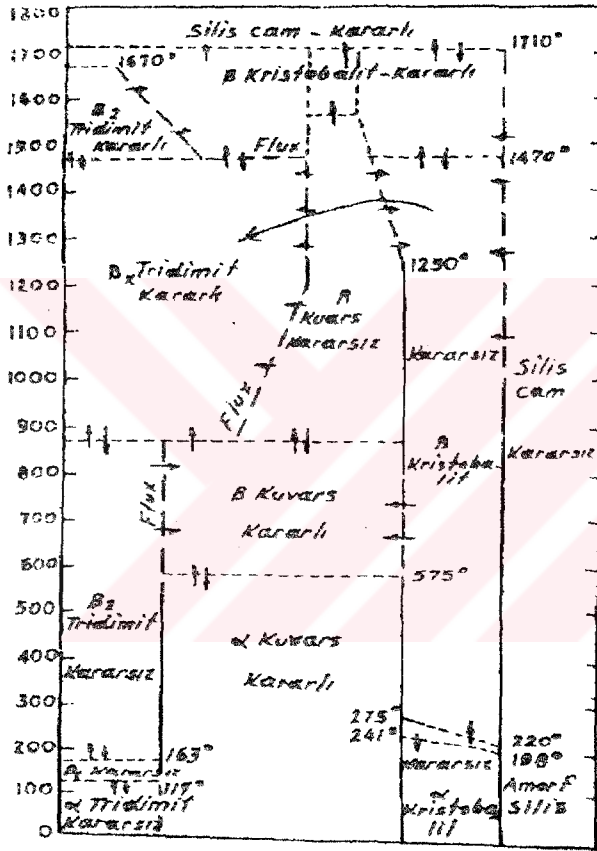
Florür (=HF) dışında su ve asitlerde çözünmez. Silis, doğada feldispat, talk, amyant, mika v.s.'de silikatlar halinde görülür.(Mazlum,1989)

Kuvars, tridimit ve kristobalit silisin üç kristal şeklidir ve belli sıcaklıklarda birbirine dönüşür.



(İbrahim, Helmy, 1981)

SiO_2 'nin değişik faz ve değişik sıcaklıklardaki durumu Şekil 1.5'de daha iyi bir şekilde görülmektedir.

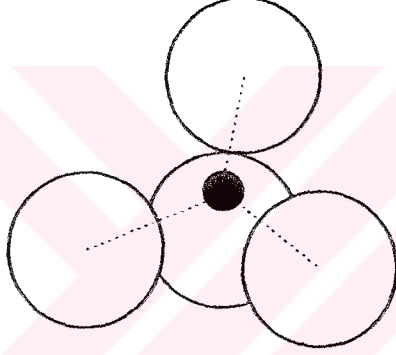


Şekil 1.5 Silis Cevherinin Denge Bağlantıları (Tulgar, 1968)

α -Kuvars oda sıcaklığında (575°C 'a kadar) kararlı bir durumdadır. 575°C 'da α -kuvars'dan kararlı β -kuvars'a ani bir değişme vuku bulur. Şekil 1.5'deki kalın çizgiler herhangi bir değişimin olmayacağını, kesik çizgiler (---) değişimin çok yavaş vuku

bulacağını ve noktalı çizgiler (...) ise değişimin aniden vuku bulacağını göstermektedir. 875°C'ın üstünde β-kuvars kararlı durumda değildir. (Tulgar,1968)

Her ne kadar silisyum periyodik cetvelde karbonun bir altında bulunmuyorsa da bu iki elementin oksijen ile yaptıkları bileşiklerden karbondioksit (CO₂), bir gaz olduğu halde kendisine çok yakın olan silis (SiO₂) 1400°C'da eriyen katı bir maddedir. Bunun sebebi, CO₂'nin herbir molekülü, iki oksijen atomunun birer çifte bağ ile bir karbon atomuna bağlanan moleküllerden meydana gelişidir. (O=C=O) Burada, çift bağlardan dolayı meydana gelen moleküllerin aralarında birbirlerini çekme kuvveti çok az olduğundan bileşik gaz halindedir. Buna karşılık silisyum hiçbir zaman çifte bağ yapmaz. Örneğin, kuvars kristalinde Şekil 1.6'da görüldüğü gibi silisyum atomuna dört ayrı oksijen atomu birer tek bağ ile bağlanmış olup, herbir oksijen atomu da iki ayrı silisyum atomuna bağlanmıştır. (Özdemir,1981)(Mazlum,1989)(Biricik,1995)



Şekil 1.6 Kuvars'ın Kristal Yapısı

1.2.6. Dayanıklılık (Durabilite)

Esas olarak betonun tasarlandığı şartlara belirli bir zaman periyodunda bozulmadan karşı koyması gerekmektedir. Ancak bu tanıma uyan betona durabil diyebiliriz. Dayanımın eksikliği betonun maruz kaldığı çevre şartları veya betonun kendi içindeki içsel sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. (Neville,1987)

ASTM E 632'ye göre durabilite, malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki servis yeteneğini belirli zaman boyunca sürdürebilmesidir.

Başka bir deyişle durabilite, malzemenin iç ve dış etkilerden belirli zaman içinde en az etkilenmesidir. Betonun dayanıklılığı, betonun herhangi bir etki veya etkilerle zarara uğraması gibi durumları içeren çok karmaşık olaylara karşılık gelmektedir. (Biricik,1995)

1.2.6.1. İç Etkiler

Betonun iç yapısında mevcut olan veya zamanla ortaya çıkan kimyasal öğelerin birini etkilemelerine iç etkiler denilir. İç etkiler, çimentonun bileşimine, beton üretiminde kullanılan suya ve agregalara bağlıdır.

Çimentoların içinde karma oksitlerden başka kireç (CaO), magnezi (MgO), sülfürik asit anidridi (SO₃) ve Na₂O, K₂O gibi ürünler bulunur. Bunlardan kalsiyum oksit ve magnezyum oksit su ile yaptıkları reaksiyon sonunda önemli bir hacim artışına neden olur. CaO'nun çimento içinde fazla miktarda bulunması, ilkel malzemede CaO'nun fazla olmasından, pişirilmeden önce öğütme ve karıştırma işinin iyi yapılmadığından ileri gelebilir. MgO'in fazla miktarda bulunması, bir anlamda CaO'e göre daha sakıncalıdır, Çünkü sönmemiş kirecin reaksiyonu kısa sürede sona ererken magnezininki çok yavaş bir seyir izleyerek seneler sürer. SO₃ ise çimentonun hidroliz ürünü olan serbest kireç (Ca(OH)₂) ile birleşerek alçı taşına dönüşür ve ürünün hacim kararlılığını bozar. Na₂O ve K₂O varlığı belirli koşullarda alkali-agrega reaktivitesine neden olur. (Biricik,1995)(Postacıoğlu 1986)(Akman,1987)

Betonda iç etkilerle oluşan alkali-agrega reaksiyonu, çimentodaki alkalilerle, agregadaki aktif silis'in reaksiyonu sonunda ortaya çıkar. Reaksiyon ürünü hacimce genişmeye neden olur. Bu nedenle çimentoda bulunmasına izin verilen alkali değeri ve agregadaki silis sınırlandırılarak alkali-agrega reaksiyonu önlenir. (Mazlum,1989)

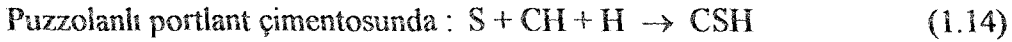
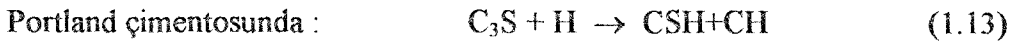
1.2.6.2. Dış Etkiler

Dış ortam sertleşmiş betonu fiziksel ve kimyasal yönden etkileyerek hasara uğratar (Neville, 1987). Betonda korozyona neden olan dış ortam etkileri, fiziksel veya kimyasal olabilir. Fiziksel etkiler, dış ortam sıcaklığının değişimleri sonucu tekrarlı donma-çözülme

ve ıslanma-kuruma, kum fırtınaları, trafik araçlarının yaptığı aşınmalar vb. sayılabilir. Kimyasal etkiler ise çeşitli kimyasal bileşiklerin oluşturduğu ortamlardır. Bu ortamlar katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilir. Kimyasal etkenlerin en çok raslanan şekli çözeltilerdir ve betonda kimyasal korozyona neden olurlar. Korozyonun şiddeti çözeltilerin sıcaklığına, çözeltideki tuz ve asitlerin cinsine ve konsantrasyonuna bağlıdır (Moskvin, 1983), (Akman, 1987). Betonun kimyasal etkiye uğrayabilmesi için, su içeren ya da nemli bir ortamın bulunması gerekmektedir. Betona zarar veren aşındırıcı ortamlar sulu çözeltiler olup, başlıcaları sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve amonyum gibi katyonların, sülfat, sulfat, klorür halindeki tuzlarını, asitleri ve bazı organik bileşiklerini içeren yeraltı ve yüzey suları, deniz suları, atık sular gibi sulu çözeltilerdir.

1.2.6.3. Puzzolanların Betonun Dayanıklılığına Etkisi

Genelde puzzolanların portland çimentolarına ilave edilmesi, erken dönemlerde betonun dayanımını düşürür. İlave edilen puzzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak son dayanımı portland çimentosununkini aşabilir (Carretta, 1989). Portland çimentosundaki C_3S , C_2S hidratasyon reaksiyonu sonunda genel bir ifade ile gösterilen CSH (kalsiyum silikat hidrate) ve CH (kalsiyum hidroksil) oluşur. Çimentoya katılan puzzolanlardaki aktif silis bu CH ile birleşerek çözünmeyen kararlı CSH'e dönüşür. Puzzolanın yaptığı bu reaksiyona puzzolanik reaksiyon denir. Reaksiyon, portland çimentosunda hızlı puzzolanlı portland çimentosunda ise yavaş olur.



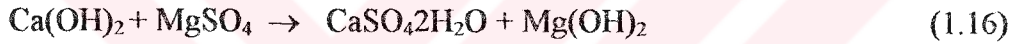
Çimento hidratasyonu sonucu her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Puzzolanik reaksiyon sonunda oluşan CSH, portland çimentosunun CSH'inden daha küçük özgül ağırlığa sahiptir (Cohen, Bentur, 1988).

Puzzolanın CSH'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır. CSH'daki C/S oranı puzzolanik CSH'da 1.2, portland çimentosunda ise 1.7'dir (Cohen, Bentur, 1988).

Puzzolanlı çimentolar, sülfatlı ortamda portlant çimentosuna göre daha dayanıklıdır. Çimento C_3A 'nın hidratasyonu sonucu oluşan C_3AH_6 katı halde iken çözeltilerdeki sülfatlı bileşik örneğin $NaSO_4$ ile hacimce genleşmeye neden olan tuz oluşur, harç veya beton korozyona uğrar. Harcın SO_4^- den etkilenmesi, C_3AH_6 'nın katı halde olmasına bağlıdır. Bu etki sertleşmiş çimento hamurunda görülmektedir. C_3AH_6 bileşiği çözünerek çözeltilerde sülfatlı bileşik ile reaksiyona girerse, yeni ürün hacimce genleşmeye neden olmaz. C_3A 'nın sülfatlı ortamdaki hasarı C_3AH_6 hidratasyon ürününün çözünüp çözünmemesine bağlıdır (Biricik,1995). $MgSO_4$ çözeltileri bulunduğu, öncelikle oluşan etringite, jips, magnezyum ve alüminyum hidroksit oluşturmak için tuzlarla aşağıdaki denkleme göre (Carretta, 1989).



bozunmaya uğrar. Magnezyumsülfat, $CaSO_4$ 'den daha fazla zararlı etkiye sahiptir.Çünkü o sadece kalsiyum hidroksit ile değil, ayrıca aşağıdaki reaksiyonlara göre hidrate çimento pastalarını oluşturan diğer kalsiyum bileşikleri ile de reaksiyona girer :



Bu reaksiyonlarda oluşan kalsiyum sülfat, alüminat hidratlarla reaksiyona girebilir ve yaygın etringit oluşumuna neden olur. $MgSO_4$ 'ın etkisi oldukça karışıktır (Massazza, 1989).

Puzzolanlardaki aktif silis puzzolanik reaksiyona göre CH 'i bağlamaktadır. CH 'in az olduğu bu ortam da C_3AH_6 'nın çözünürlüğü artar ve C_3AH_6 , çözeltilerdeki sülfat iyonları ile genleşmeyen tuz oluşturur. Buna karşı bazı araştırmacılar, puzzolanların sülfat etkisine dayanıklılığını ve mekanizmasını tartışmaktadır (Carretta, 1989).

Sülfat iyonlarının hidrate çimentoda yayılabilirliğinin saf suda az, $Ca(OH)_2$ çözeltisinin de büyük olduğunu belirtmektedir. Böylece $Ca(OH)_2$ 'nin bulunmadığı ortamda, puzzolanlı çimentolarda SO_4^- iyonlarının beton veya harç içinde yayılması güçleşmiştir. Sonuç olarak sülfat etkisi puzzolanlı çimentolarda görülmemektedir veya puzzolanla önlenmiş olmaktadır.

Puzzolanların önemli bir özelliğide alkali-agrega reaksiyonunu önlemesidir. Aktif silisli agrega ile üretilen pirinç kabuğu küllü betonlar, doğal puzzolan ve aynı agrega ile üretilen betonlardan alkali-agrega reaktivitesi yönünden daha etkilidir (Biricik,1995).

(Akman,1992) çimento hamurunun kirecini tesbit ederek pH derecesini indirgeyen puzzolanların silisin çözünürlüğünü azaltarak alkali-silis reaksiyonunu ve jel oluşumunu önlediğini, bu bağlamda fazla miktarda puzzolan katıldığında olumlu sonuç elde edilebileceğini vurgulamaktadır.

Puzzolanın sülfatlı ortamda daha dayanıklı oluşu, Ca(OH)_2 'in azalmış oluşuna, ürünün düşük geçirgenliğine, çimento jelinin farklı kompozisyonuna, puzzolanlı çimentoda oluşan etringitin kararsızlığına bağlanmaktadır (Massazza, 1989).

1.2.7. Fındık, Fındık Kabuğu

Orman yan ürünlerinden olan fındık üretimi, ülkemiz ihracatının büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ülkemiz dünya fındık üretiminin dörtte üçünü gerçekleştirmektedir. Yıllık fındık üretimi 500000 tonu bulmaktadır. Fındıkta kabuk/iç oranı %50'dir. Böylece her yıl 250000 ton kabuk elde edilmektedir. Bu kabuğun ekonomiye hiçbir katkısı bulunmamaktadır ve yakacak olarak kullanılmakta veya atılmaktadır. (Yılmaz 1990)

Ülkemizin 1980-1990 yılları arasındaki fındık üretimine ait veriler Tablo 1.1'de verilmiştir.

1.2.7.1. Botanik Özellikleri (*Corylus colurna L.*)

Kışın yapraklarını döken ağaç veya çalılardır. Yaprakları basit çoğunlukla yumurta veya geniş yumurta biçimindedir. Kenarları kaba ve keskin dişli, bazen de hafif lopludur;ucu sivri veya damla uçludur, dip kısmı çoğunlukla yüreğimsidir. Tomurcukların sürgün üzerine dizilişi iki sıra sarmaldır; Pseuda-terminal tomurcuklardır. Yaprak veya tomurcukları küçük , yumurta biçimindedir; çiçek tomurcukları ise büyük, yandan basık ve küt uçludur; üzerleri kiremitvari dizilmiş olan bol sayıda pullar ile örtülmüştür. Erkek

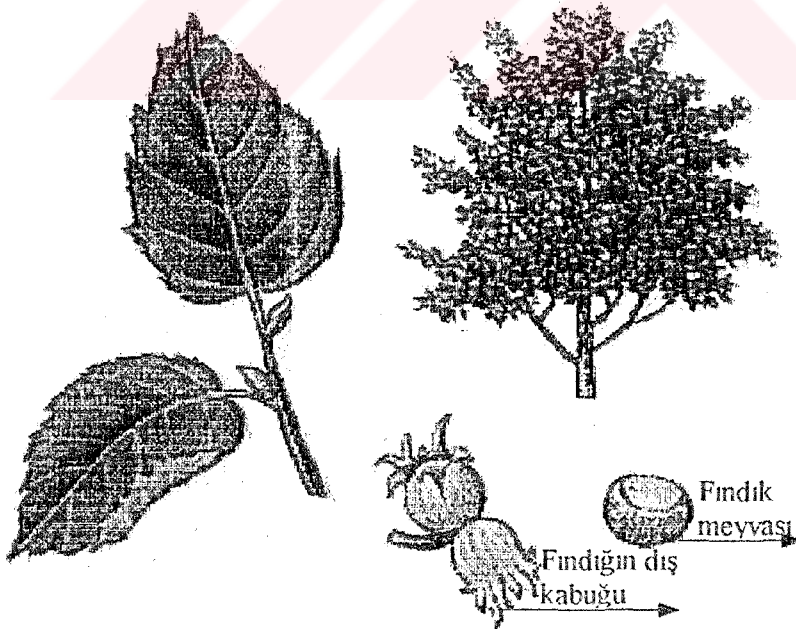
çiçek kurulları sonbaharda teşekkül eder, aşağı doğru sarkar, kışı açıkta geçirir; kış sonu, erken ilkbaharda çiçek kurulu eksenini uzar ve tozlaşma başlar; erkek çiçeklerin perianth yaprakları yoktur; her bir brahte koltuğunda 4-8 adet etamin bulunur, bunların filamentleri çatallanmış olduğundan etamin çok sayıda görülür. Dişi çiçek kurulları dihyazyumdan oluşmuştur; bunların üzeri pullarla örtülü bir tomurcuk içerisinde toplanmıştır; dışarıdan yalnız kırmızı renkli stigmalar görülür; böylece yaprak, tomurcuklarından kolayca ayırt edilebilir. Bir dihyazyumda ise iki yançiçek gelişmiş, orta çiçekler körelmiştir. Dişi çiçeğin çok küçük, dikkati çekmeyen bir çevre örtüsü vardır; ovaryum ile kaynaşmıştır; ancak uç kısımları dış halinde serbesttir. Ovaryum iki karpellidir. Her biri içinde 1, ender olarak 2 tohum tomurcuğu ve iplik gibi uzun 2 adet stigma vardır. Meyve, perikarpı odunlaşmış, içerisinde tek bir tohum bulunan tipik açılmayan kuru meyve, yani tipik bir nüstür. Yan çiçeğin 2 brahteciği ile orta çiçeğe ait 1 brahtecik birleşerek, üç brahtecikten oluşan torba veya kadeh biçimindeki bir muhafaza nus'u içerisinde saklar veya tutar.

Birçok türleri yenen yağlı ve lezzetli meyvelerinden dolayı kültüre alınmış, bazıları da dekoratif süs bitkileridir.

Uzun yumurta biçimindeki meyve 1.5-2.5cm boyunda, 1.2-1.6 cm çapındadır. Teker teker veya 3-6'sı bir araya toplanmıştır. Meyve örtüsü fındıktan daha uzundur, fındığı tamamen içerisine almıştır. Boğazı büzülmüş bir torbayı andırır, tamamen kapalıdır. (Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları)

Tablo 1.1 Ülkemizde 1980-1990 Yıllarına Ait Fındık Ağaç Sayısı ve Meyve Üretimi (D.İ.E.,1991)

Yıl	Üretim (ton)	Fındık	
		Meyve veren ağaç sayısı(.000)	Meyve vermeyen ağaç sayısı(.000)
1980	250 000	247 000	23 000
1981	350 000	245 300	23 200
1982	220 000	246 000	22 350
1983	395 000	248 000	23 000
1984	300 000	248 000	23 500
1985	180 000	250 000	27 000
1986	300 000	251 000	23 500
1987	280 000	256 690	19 420
1988	402 500	260 840	16 586
1989	550 000	257 400	17 250
1990	375 000	264 650	17 840



Şekil 1.7 Fındık Ağacı ve Fındığın Dış Kabuğu

2.0. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, çalışmada kullanılan alet ve düzenekler, malzemeler, külün elde edilişi, puzzolanik aktivite deneyleri, deneylerin yöntemleri ile sonuçları anlatılmıştır.

Puzzolanik özellikte kül elde etmek için uygun yakma koşulları ön deneylerle belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle uygun yakma sıcaklığı ve yakma süresi belirlenmiştir. Bu şartlarda elde edilen küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen fındık kabuğu külleri çimento ve/veya kirece katılarak puzzolanik karakteri incelenmiş, %0, %8, %16, %24 oranlarında kül katkılı çimento pastalarında da 28. gün sonunda X-ışını Difraktometresi ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile içyapı incelemesi yapılmıştır.

2.1. Çalışmada Kullanılan Aletler ve Düzenekler

- MF 120 laboratuvar tipi kontrollü fırın
- SEM-JSM-T330 Taramalı Elektron Mikroskopu
- Phillips PW 1820 X-Ray Analyzer cihazı
- Ohaus 200 gr kapasiteli, 0.0001 gr hassasiyetli terazi
- Su buharı banyosu
- pH Metre
- Ön yakma düzeneği

2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Kireç

Araştırmada kimyasal özellikleri Tablo 2.1’de verilen saf kireç kullanılmıştır.

Tablo 2.1 Kullanılan Kireçin Kimyasal özellikleri

Ca(OH ₂)	min.%96
Çözünemiyen Kısım	max.%0.1
CaCO ₃	max.%3
Cl ⁻	max.%0.005
Fe	max.%0.05
Sulfat Olarak Amonium	max %2.5
Molarite	74.09 gr/mol

Çimento

Araştırmada fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2’de, kimyasal özellikleri Tablo 2.3’de verilen AkçimentoSA San.A.Ş. çimento fabrikası üretimi PÇ 32.5 çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 2.2’de verilen kimyasal analiz sonuçları AkçimentoSA San.A.Ş.’nin analiz sonuçlarıdır. Bouge formülleri yardımı ile hesaplanan mineralojik bileşenleri ve kireç standardı, hidrolik modülü, silis modülü, alümin modülü de aynı tabloda verilmiştir.

Fındık Dış Kabuğu

Fındık dış kabuğu, fındık üretimi,sonunda elde edilen tarımsal atıktır. Deneylerde kullanılan 1994 yılı ürünü Sakarya bölgesi Kocaali yöresi fındık dış kabuğunun Şekil 2.1’de X-Işını difraktogramı, Şekil 2.2’de SEM’de çekilmiş fotoğrafı, Şekil 2.3’de ise SEM’de yapılmış kalitatif analiz grafiği görülmektedir. Grafikte görülen altın, numunelerin SEM incelemesi için altınla kaplanmalarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın konusu olması nedeniyle fındık kabuğu külü hakkında geniş bilgi bölüm 2.3’de verilmiştir.

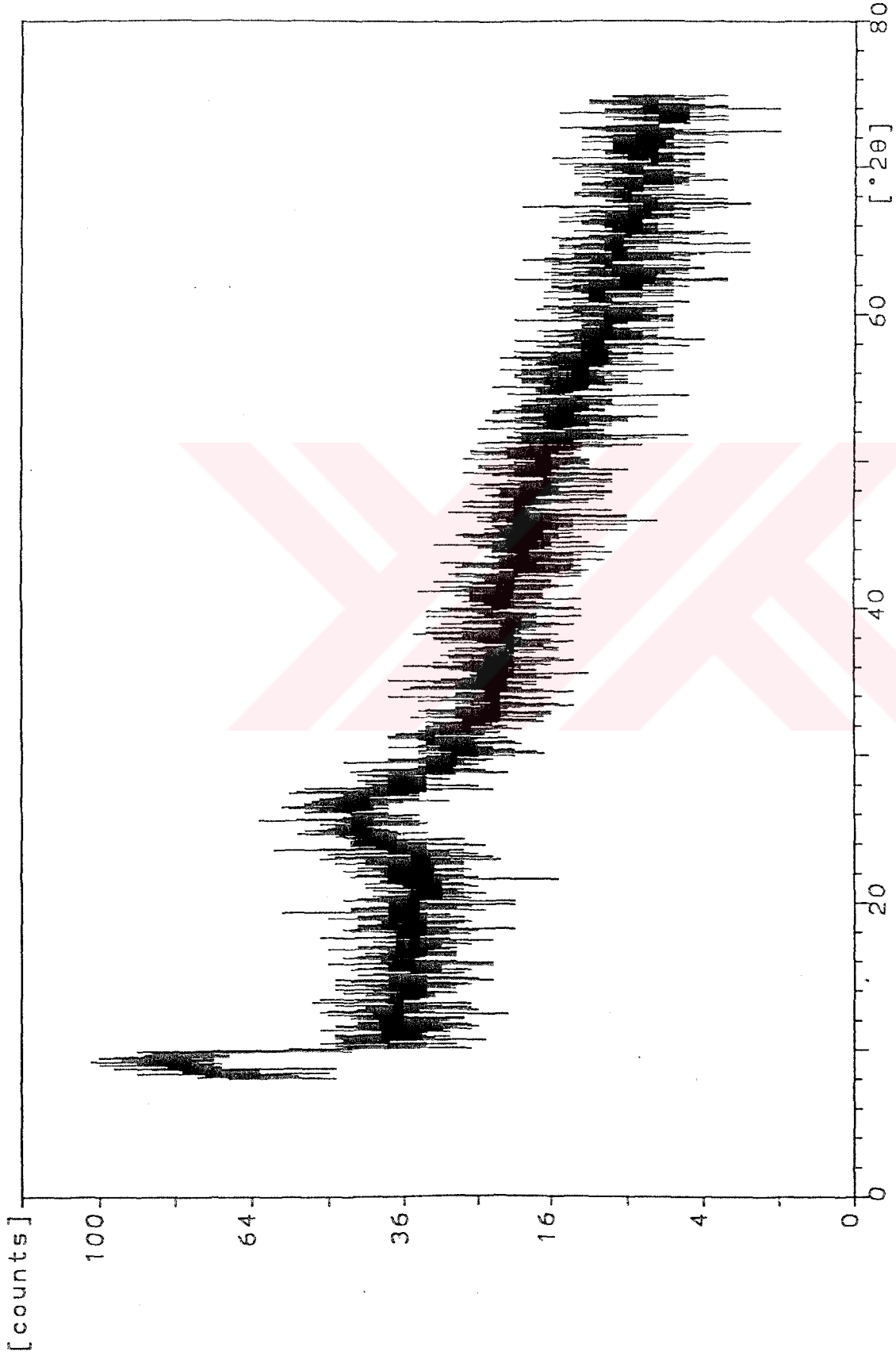
Tablo 2.2 Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Fiziksel Özellikler :			
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.14		
Priz Başlangıcı (saat)	2.20		
Priz Sonu (saat)	3.20		
Hacim Sabitliği (mm)	0		
Özgül Yüzey (Blaine)(cm ² /gr)	3266		
200µ (900 göz) elek kalıntısı (%)	0.2		
90µ (4900 göz) elek kalıntısı (%)	4.3		
Mekanik Özellikleri :			
Günler	2	7	28
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	4.9	6.2	7.8
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	19.5	31.5	47.1

Tablo 2.3 Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Minerolojik Bileşenleri

Kimyasal Analiz :	(%)	Modüller :	
SiO ₂ (Çözünen)	21.16	Hidrolik Mod.	2.12
Çözünmeyen Kalıntı	0.32	Silikat Mod.	2.33
Al ₂ O ₃	5.66	Alüminyum Mod.	1.65
Fe ₂ O ₃	3.42	Kireç Standardı	91.65
CaO	64.07		
MgO	1.11	Minerolojik Bileşenler :	
SO ₃ ⁻	2.30	C ₃ S *	45.83
Kızdırma Kaybı	1.02	C ₂ S	26.17
Tayin Edilemeyen	-	C ₃ A	9.22
Serbest (CaO)	1.14	C ₄ AF	10.41

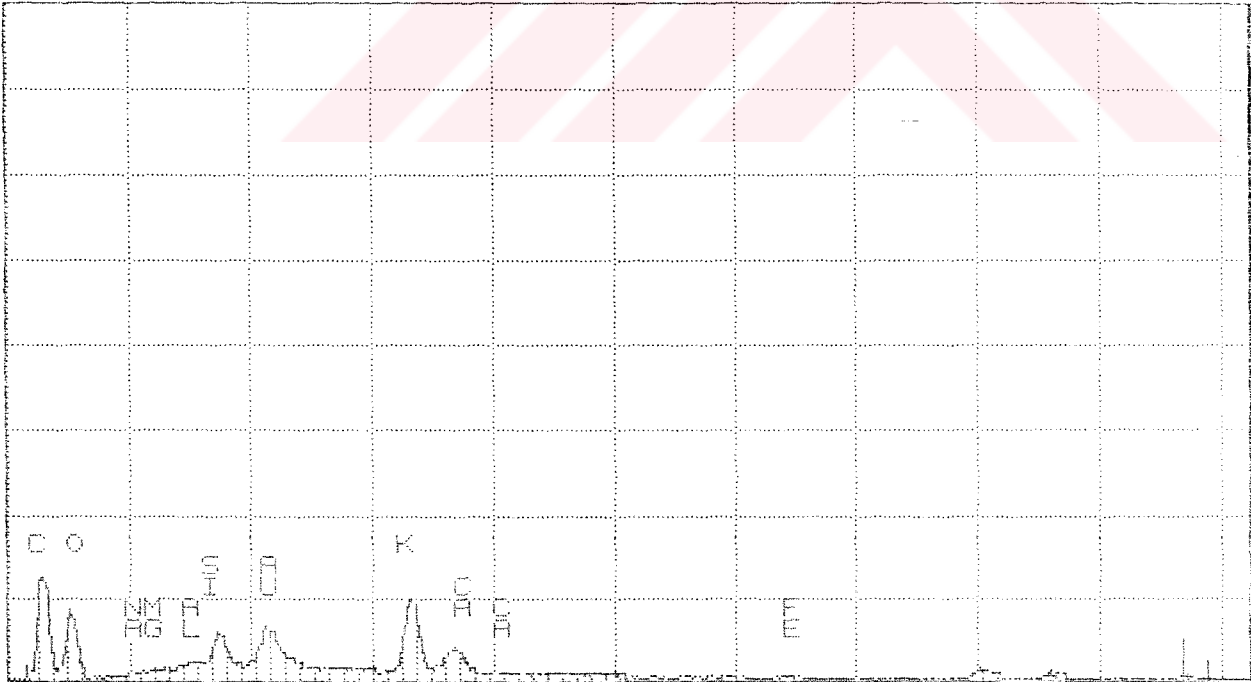
*S : SiO₂ , C : CaO , A : Al₂O₃ , F : Fe₂O₃ , M : MgO , S' : SO₄ , H : H₂O



Şekil 2.1 Fındık Dış Kabuğunun X-Işını Difraktogramı



Şekil 2.2 Fındık Dış Kabuğunun SEM Resmi



Şekil 2.3 Fındık Dış Kabuğunun SEM'de Yapılmış Kalitatif Analiz Grafiği

2.3. Fındık Kabuğu Külünün Elde Edilişi

Bitkisel artıklardan kül elde edilmesinde TAPPI Odun ve Selülozda Kül Miktarının Tayini (T 211 om-85) metodu uygulanır. Bu metoda göre numuneler $570\pm 25^{\circ}\text{C}$ 'da Muffle fırınında yakılmaktadır.

Kül elde edilmesinde yakma sıcaklığından başka, yakma süresi ve ürünün tabaka kalınlığı da önemlidir.

TAPPI Odun ve Selülozda Kül Miktarının Tayini (T 211 om-85) metoduna göre yakma süresi minimum 3 saattir ve tam yanma karbonun tamamen yok olması ile belirlenir.

Yakma süresinin değişkenliği numune tabakasının kalınlığına bağlıdır. Yakmaya tabi tutulan numunenin tabaka kalınlığı arttıkça, yanma için gerekli oksijen difüzyonu zorlaşmaktadır, o nedenle yakma süresi deneysel olarak saptanmaktadır (Biricik, 1995).

2.3.1. Ön Dene

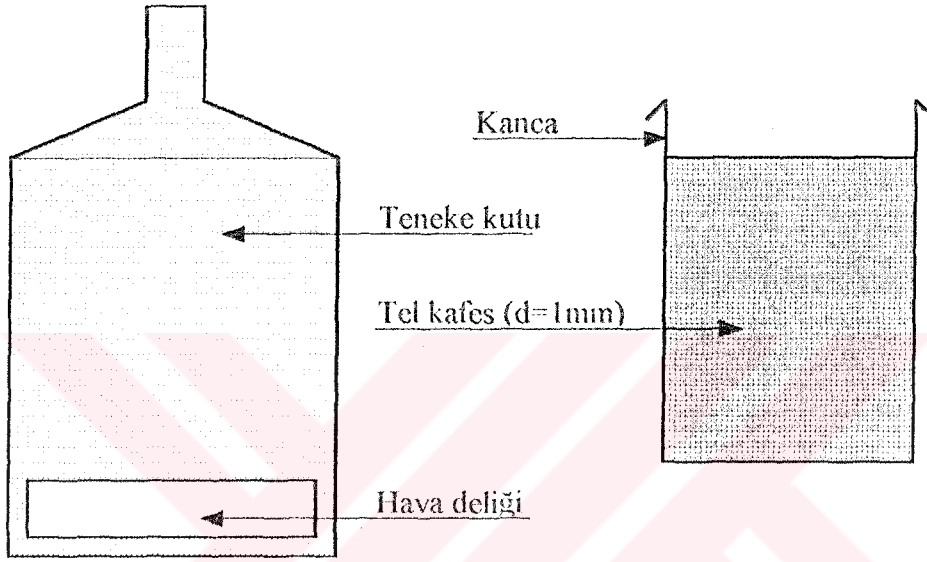
Ön deneylerde yakma sıcaklığı ve yakma süresinden başka, elde edilen külün hammaddeye oranı ve kül içindeki SiO_2 oranı (Fassbender, Ahrens,1975)'e göre belirlenmiştir. Ön deneylerde kabuklar 570°C , 670°C , 770°C , 870°C ve 970°C sıcaklıklarda yakılmış ve elde edilen kül incelenmiştir.

Yakma sırasında ilk yarım saat içerisinde numune nemine göre organik bileşiklerin yanma ürünü olan gazlar açığa çıkmış, bu sırada kabuklar yeşilden siyaha doğru giderek kömürleşmiştir. Bu ürüne yarı yanmış kabuk veya yarı yanmış kül denilebilir. Bunu takiben numune tabakasının kalınlığına bağlı olarak yarı yanmış ürünler tamamen yanarak gri-beyaz renkte kül elde edilmiştir. Alınan sonuçlara göre uygun yakma sıcaklığının 570°C ve uygun yakma süresinin de 5 saat olduğu görülmüştür. Buğday saplarının puzzolanik özellikleri üzerinde Biricik (1995) tarafından yapılan çalışmada da buğday saplarından 570°C 'da yakma sonrası laboratuvar ortamında ani soğutma ile amorf yapıda kül elde etmiştir. Bunun üzerine kül elde etmek için yakma sıcaklığı 570°C olarak belirlenmiştir.

2.3.2. Kül Üretimi

Kül üretimi ön yakma ve asıl yakma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Ön yakma ile yanma sırasında çıkacak olan is, duman v.b. gazlardan kurtulmak ve hacmin küçültülmesi amaçlanmıştır. Ön yakma işlemi Şekil 2.4’de görülen düzenekteki tel kafeslerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4 Ön Yakma Düzenegi

Ön yakmada kabuklar tel kafeslere üç aşamada yerleştirilmiştir. Kabuklar tel kafesin içine üçte biri oranında serilerek özel şiş ile sıkılarak doldurulmuştur. Doldurma sırasında, oksijen sağlamak için önden ve üst ortasından baca oluşturulmuştur. Tel kafese doldurulan numune önü açık üstü bacalı prizmatik kova içine asılarak üstten kağıt parçaları ile tutuşturularak yaklaşık 10 saat süre ile yakılmıştır. Bu şartlarda yakılarak elde edilen küller, daha sonra laboratuvar tipi MF 120 elektrikli kül fırınlarında, altı tel ızgaralı çelik tepsilerde sıcaklık kontrollü olarak ön deneylerde belirlendiği gibi 570°C’da 5 saat süreyle yakılmıştır. Fırından alınan kül laboratuvar ortamında ani olarak

soğutulmuştur. Şekil 2.6'da 570°C'da elde edilen külün SEM resmi, Şekil 2.7'de ise bu külün SEM'deki kalitatif analiz grafiği görülmektedir.

Yakma sonunda fırında yavaş soğutma sonucu amorf yapının korunup, korunmadığını ve amorf yapının hızlı soğutma olmasına rağmen hangi sıcaklıkta kristal yapıya döndüğünü görebilmek için şu çalışmalar da yapılmıştır:

Yakma sıcaklığının etkisi için;

- 670, 770, 870 ve 970°C'larda 5 saat süre ile yakma sonunda kül elde edilmiş ve laboratuvar ortamında ani olarak soğutulmuştur. Elde edilen küllerin X-Işını difraktogramları sırasıyla Şekil 2.10, 2.11, 2.12 ve 2.13'de görülmektedir. Bu difraktogramların incelemesi sonucu küllerde kristal yapıya rastlanmıştır.

Soğutmanın etkisi için;

- 570°C'da 5 saat süre ile yakma sonunda kül elde edilmiş ve laboratuvar ortamında ani olarak soğutulmuştur. Elde edilen külün X-Işını difraktogramı Şekil 2.8'de görülmektedir.

- 570°C'da 5 saat süre ile yakma sonunda kül elde edilmiş ve fırında bekletilerek yavaş soğuması sağlanmıştır. Elde edilen külün X-Işını difraktogramı Şekil 2.9'da görülmektedir.

2.3.3. Öğütme

Yakma işlemi sonunda elde edilen kül bu hali ile bağlayıcılık özelliğine sahip değildir. Yani inceliği çimentoya katmak için yeterli değildir. Bu nedenle üretilen küller 4370 cm²/gr inceliğe kadar İ.T.Ü. Kimya-Metalurji laboratuvarında bilyalı değirmende öğütülmüştür.

2.4. Fındık Kabuğu Külünün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .

Öğütme işleminden sonra küllerde incelik, birim ağırlık ve özgül yüzey olmak üzere fiziksel deneyler, içerdiği oksitleri belirlemek üzere de kimyasal deneyler yapılmıştır.

Küllerin inceliğini belirlemek için küller 200 ve 90 μ 'luk eleklerden geçirilmiştir. Özgül yüzey Blaine hava geçirgenliği prensibine göre belirlenmiştir. Küllere ait elek kalıntı ve özgül yüzey değerleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Küllere ait kimyasal analiz değerleri ise Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.4 Fındık Dış Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri

Puzolan Adı	570°C
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.63
İncelik (Elek üzerinde kalıntı %)	90 μ
	200 μ
Özgül Alan (cm ² /gr)	4370

Tablo 2.5 Fındık Dış Kabuğu Külünün Kimyasal Analizi

Bileşenler	Fındık kabuğu külü 570°C (%)
SiO ₂	45.30
Al ₂ O ₃	7.77
Fe ₂ O ₃	2.14
CaO	9.13
MgO	2.53
K ₂ O	7.28
Na ₂ O	0.26

2.5. Fındık Kabuğu Külünde Puzzolanik Aktivitenin Araştırılması

Öğütülmüş küllerde puzzolanik özellikler mekanik ve kimyasal deneylerle araştırılmıştır. Ayrıca küllerde X-Işını ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) incelemesi yapılmıştır.

Puzzolanik aktivite mekanik olarak TS 25'e göre, karışım oranları Tablo 2.6'da verilen harçlarda belirlenmiştir. Kimyasal olarak aktivite testi, TS 26'nın öngördüğü gibi Ca(OH)_2 'in eriyirliği, CaO ve OH⁻ iyonlarının tayini ile belirlenmiştir.

2.5.1. Puzzolanik Aktivitenin Mekanik Deneylerle Belirlenmesi

Mekanik deneyler, TS 25 esaslarına göre 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmalar üzerinde yapılmıştır. Standartta göre 1 dm³ harç elde etmek için önerilen malzeme miktarları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6 TS 25'e Göre Puzzolanik Aktivite Harçları İçin Malzeme Miktarları

Malzemeler	Standart Miktarlar	570°C Külü (gr)
Standart kum	1350 gr	1350
Sönmüş kireç	150 gr	150
Puzolan	2x150 $\delta p/\delta k$	362
Su	0.5x(150+puzolan)	256

Tablo 2.5'deki TS 25'in harç karışım oranlarına göre üretilen puzolanlı harç numuneler üzeri camla kapatılarak 24 saat süre ile 20°C'da laboratuvar ortamında tutulduktan sonra kalıplar sökülmeden üstü camla kapalı olarak 55±2 °C'lik etüv içinde 6 gün bekletildi. Bu süre sonunda numuneler kalıptan çıkarılarak TS 25'e göre çimento standart deneyinde olduğu gibi 3 numunede eğilme deneyi yapıldı, kırılan parçalarda 40x40 mm.'lik çelik başlıklardan yararlanılarak küp basınç deneyi yapıldı. Deney sonuçları ortalama değerleri Tablo 2.7'de verildi.

Tablo 2.7 TS 25'e Göre Fındık Kabuğu Külünün Puzzolanik Aktivite Deney Sonuçları ve Standart Değerleri

Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Standart Değer (TS 25'e göre min.)	1	4
570°C'de Kül	1.64	5.73

2.5.2. Puzzolanik Aktivitenin Kimyasal Deneylerle Araştırılması

Bu deneyde puzzolanik özelliği araştırılacak malzemeler, Tablo 2.8'de verilen miktarlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. TS 26 esaslarına göre içi parafinlenmiş 250 ml.'lik erlen meyer kabı içine 100 ml. destile su konarak 40±2°C'ye ayarlanmış etüvde bir saat bekletildi. Bir saat sonunda etüvden alınan erlen meyer içine hazırlanan numuneler konularak çimentonun dağılması için çalkalandı. Ağızları kapatılarak 40°C'ye ayarlanmış etüvde 7 gün bekletildi. Yedi günden sonra numuneler mavi bant süzgeç kağıdından süzüldü. Süzüntü oda sıcaklığına gelinceye kadar beklendi, süzüntünün pH değerleri ölçüldü. Daha sonra CaO muhtevası ve alkalinitesi tayin edildi. TS 26'ya göre yapılan bu puzzolanlık deneylerinin sonuçları m.mol/L olarak Tablo 2.8'de, çözünürlük grafiği ise Şekil 2.5'de verildi.

Tablo 2.8 TS 26'ya Göre Kimyasal Aktivite Deneyi İçin Malzeme Miktarları

Karışım Kodu :	Çimento Miktarı (gr)	Çimento Oranı (%)	Kül Miktarı (gr)	Kül Oranı (%)	CaO (m.mol/L)	OH ⁻ (m.mol/L)	pH
% 0	20	100	0	0	9.28	41.6	12.62
% 8	18.4	92	1.6	8	4.60	68.8	12.84
% 16	16.8	84	3.2	16	2.80	102.8	13.01
% 24	15.2	76	4.8	24	2.28	123.2	13.09

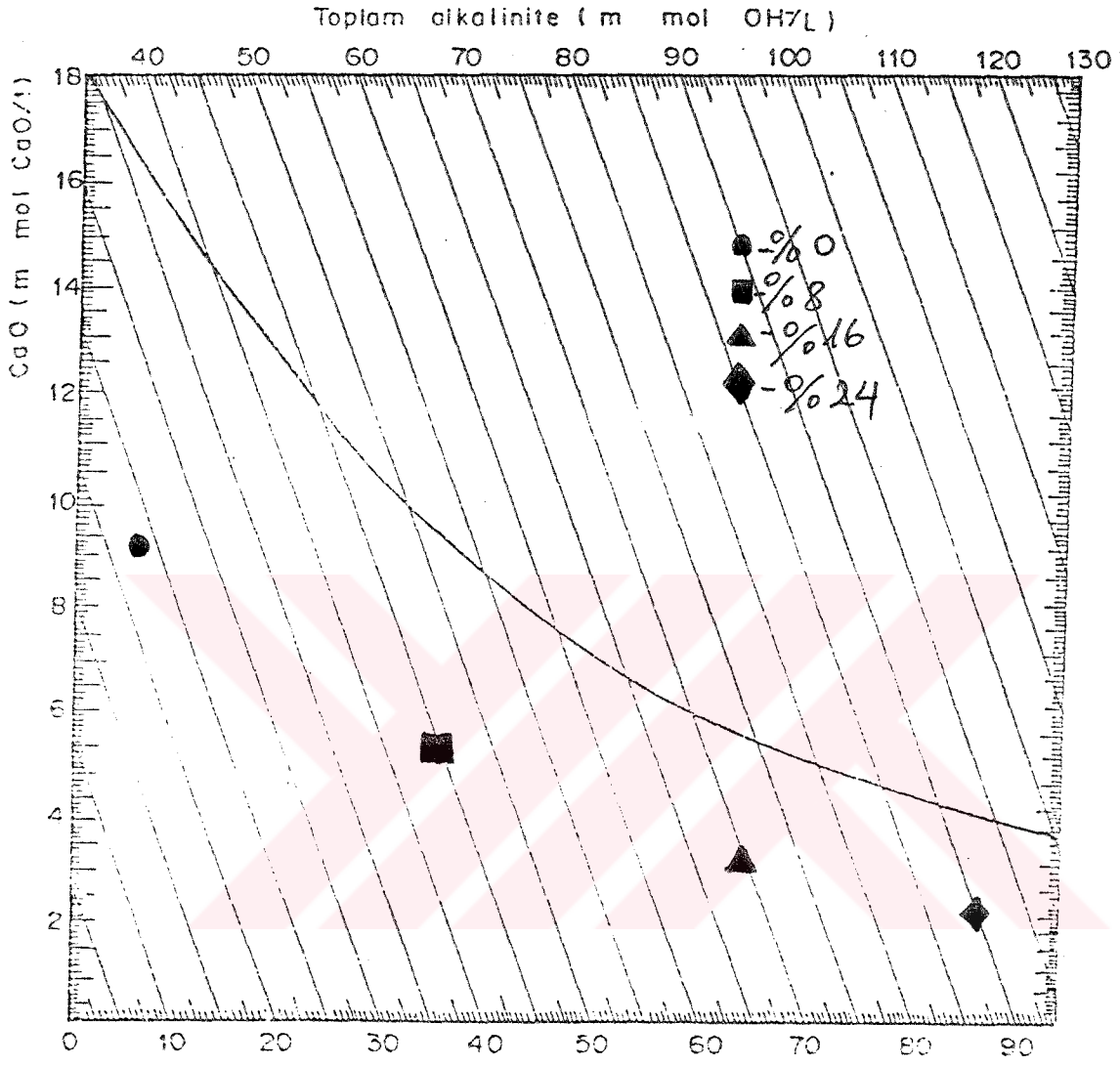
2.5.3. İç Yapı Analizleri

Fındık dış kabuğu, fındık dış kabuğu külleri ve %0, %8, %16 ve %24 kül katkılı (ikameli) karışımlar üzerinde iç yapı analizleri İ.T.. Kimya-Metalurji Mühendisliği laboratuvarında SEM-JSM-T330 Scanning Electron Microscope ve Philips PW 1820 X-Ray Analyzer cihazları ile yapılmıştır.

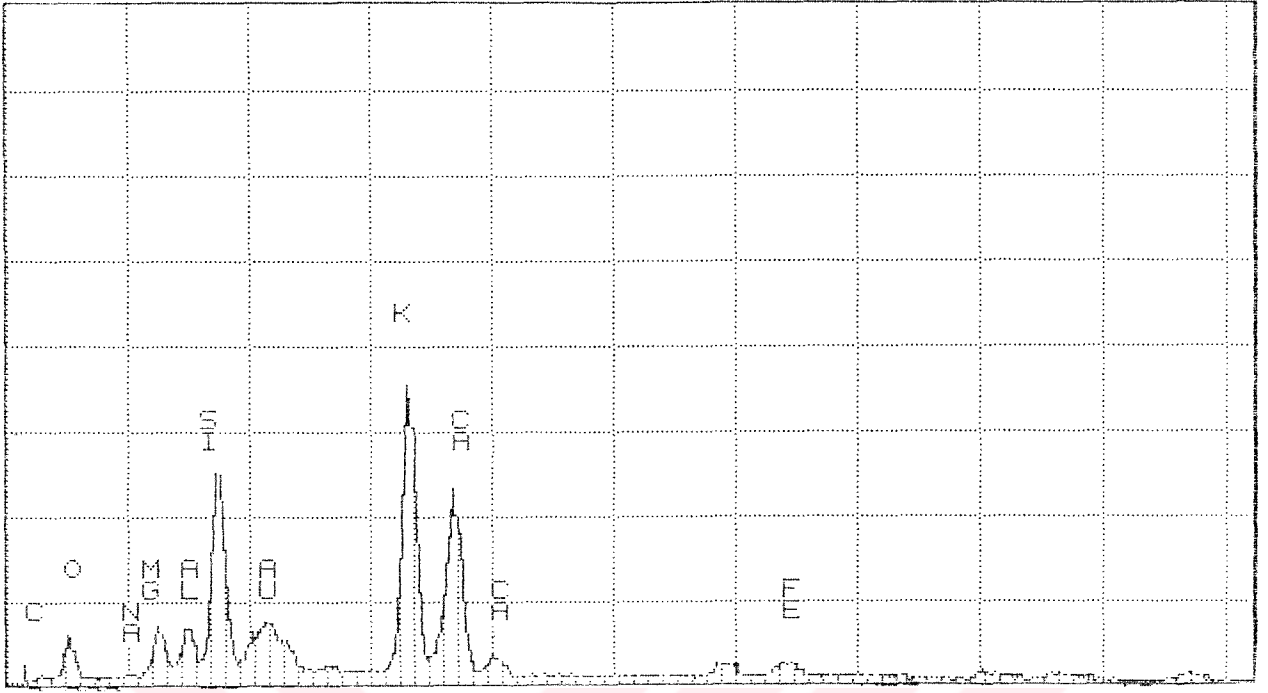
Bu amaçla %0, %8, %16 ve %24 oranlarında kül katkılı imento pastalarının 28. gün sonundaki X-Işını difraktogramları sırasıyla Şekil 2.14, 2.17, 2.20 ve 2.23'de verilmiştir.

%0, %8, %16 ve %24 oranlarında kül katkılı imento pastalarının 28. gün sonundaki SEM fotoğrafları aynı bölgeden olmak kaydıyla 500 ve 3500 büyütme ile çekilmiştir ve sırasıyla Şekil 2.15, 2.16, 2.18, 2.19, 2.21, 2.22, 2.24 ve 2.25'de verilmiştir.

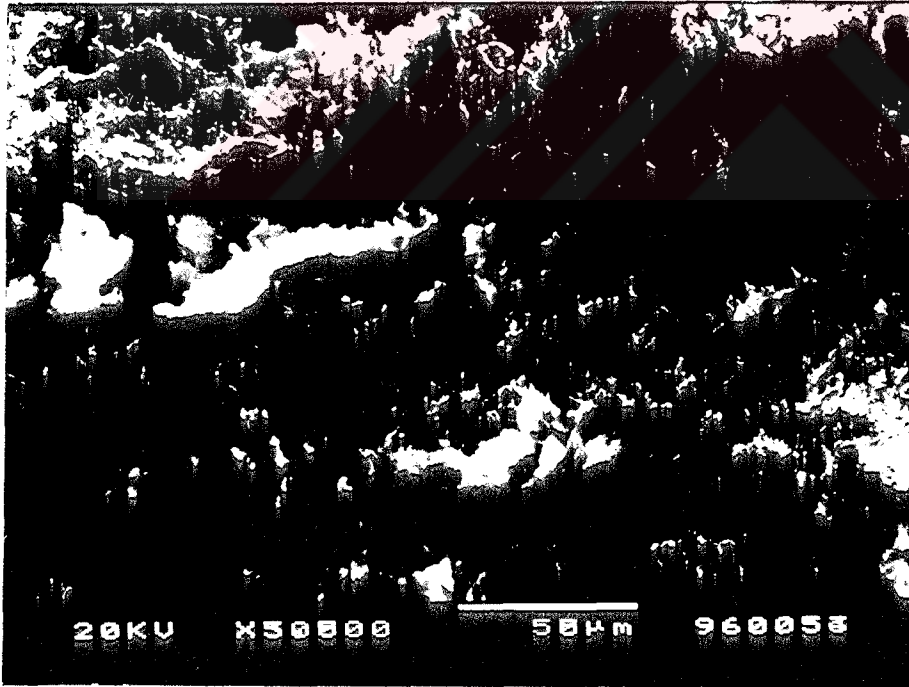




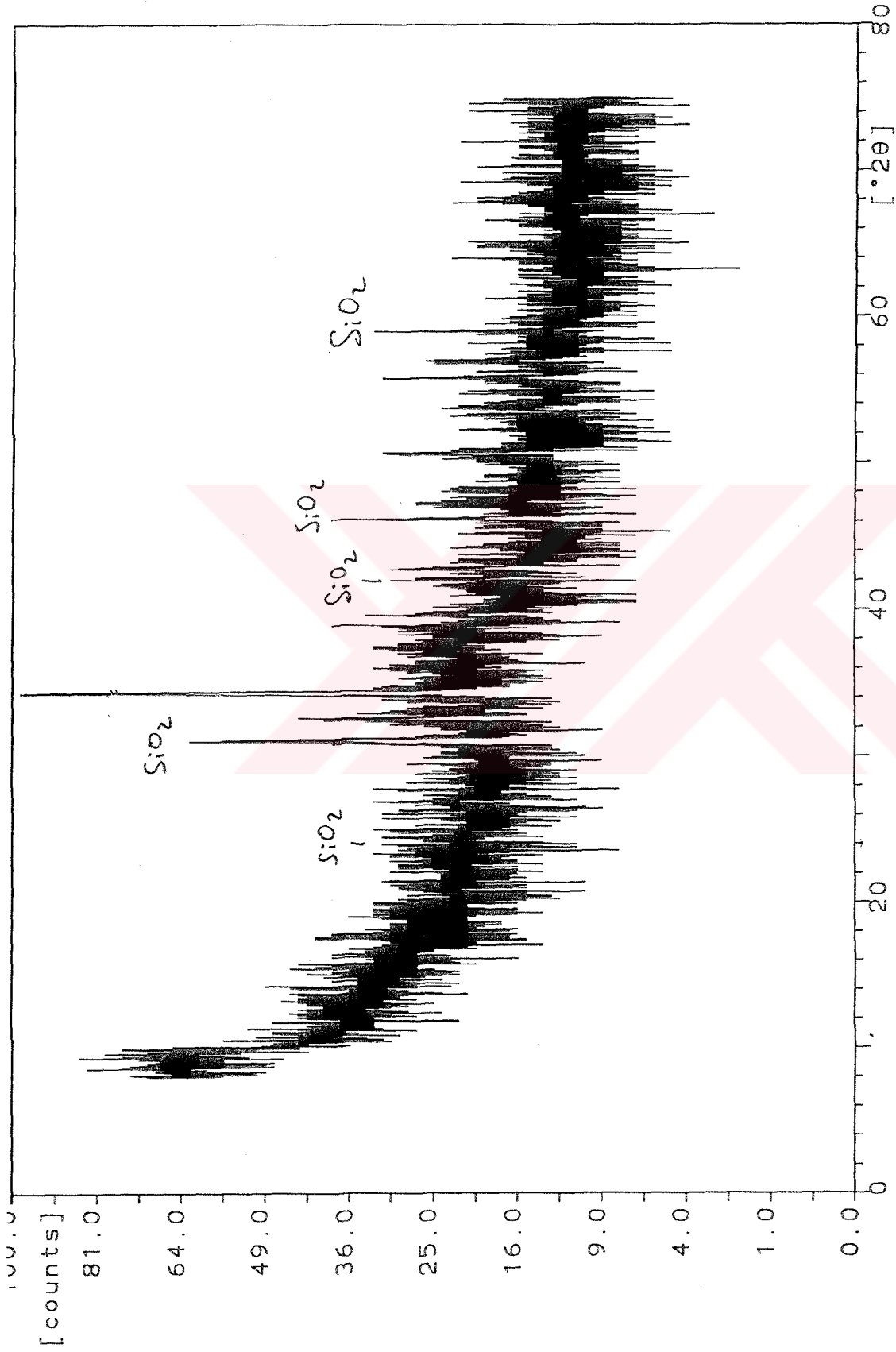
Şekil 2-5 TS 26'ya Göre Fındık Dış Kabuğundan 570°C'da Elde Edilen Küllerin CaO-OH Çözünürlük Eğrisi



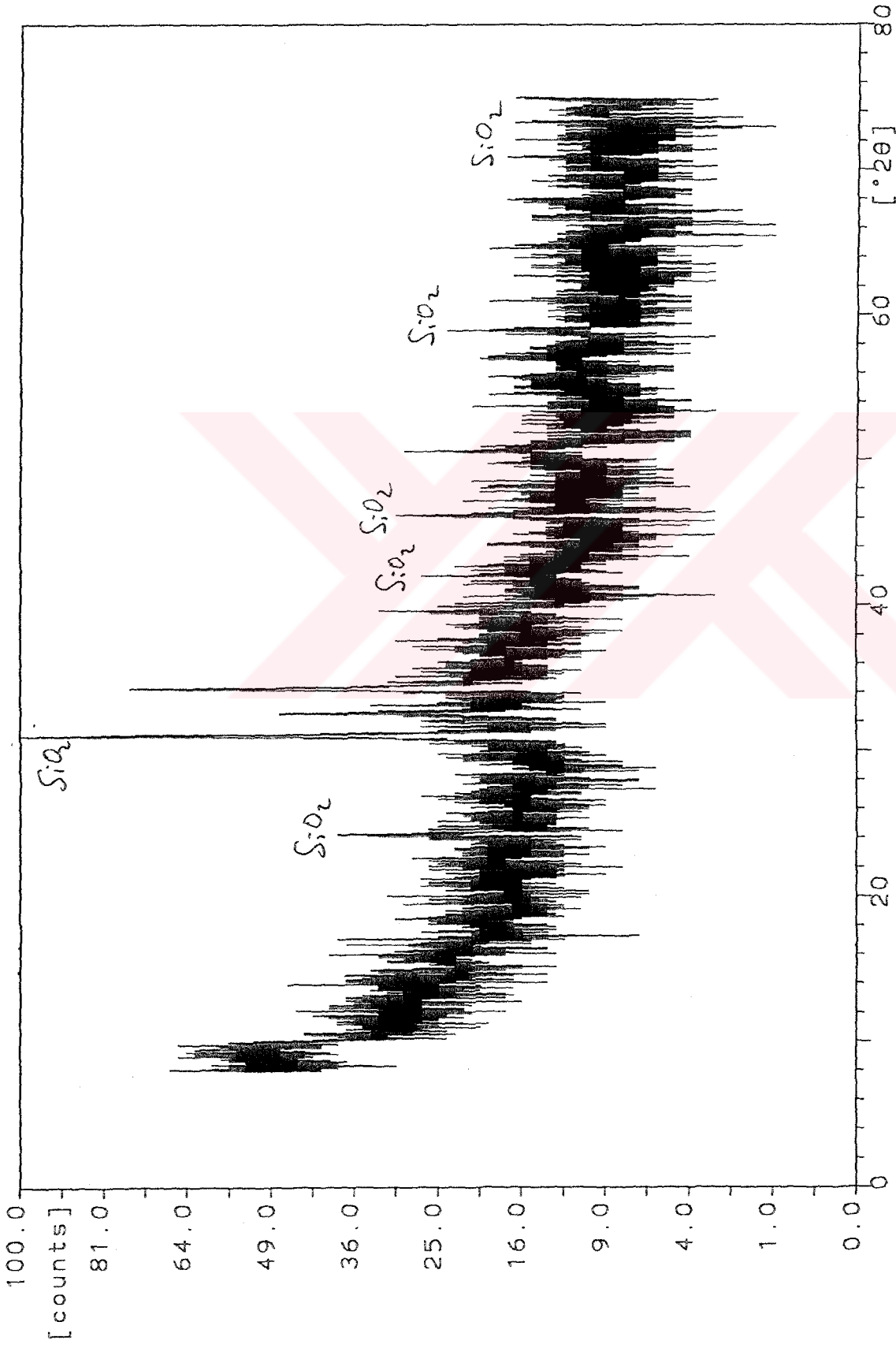
Şekil 2-6 570°C'da Elde Edilen Külün SEM'de Yapılmış Kalitatif Analiz Grafiği



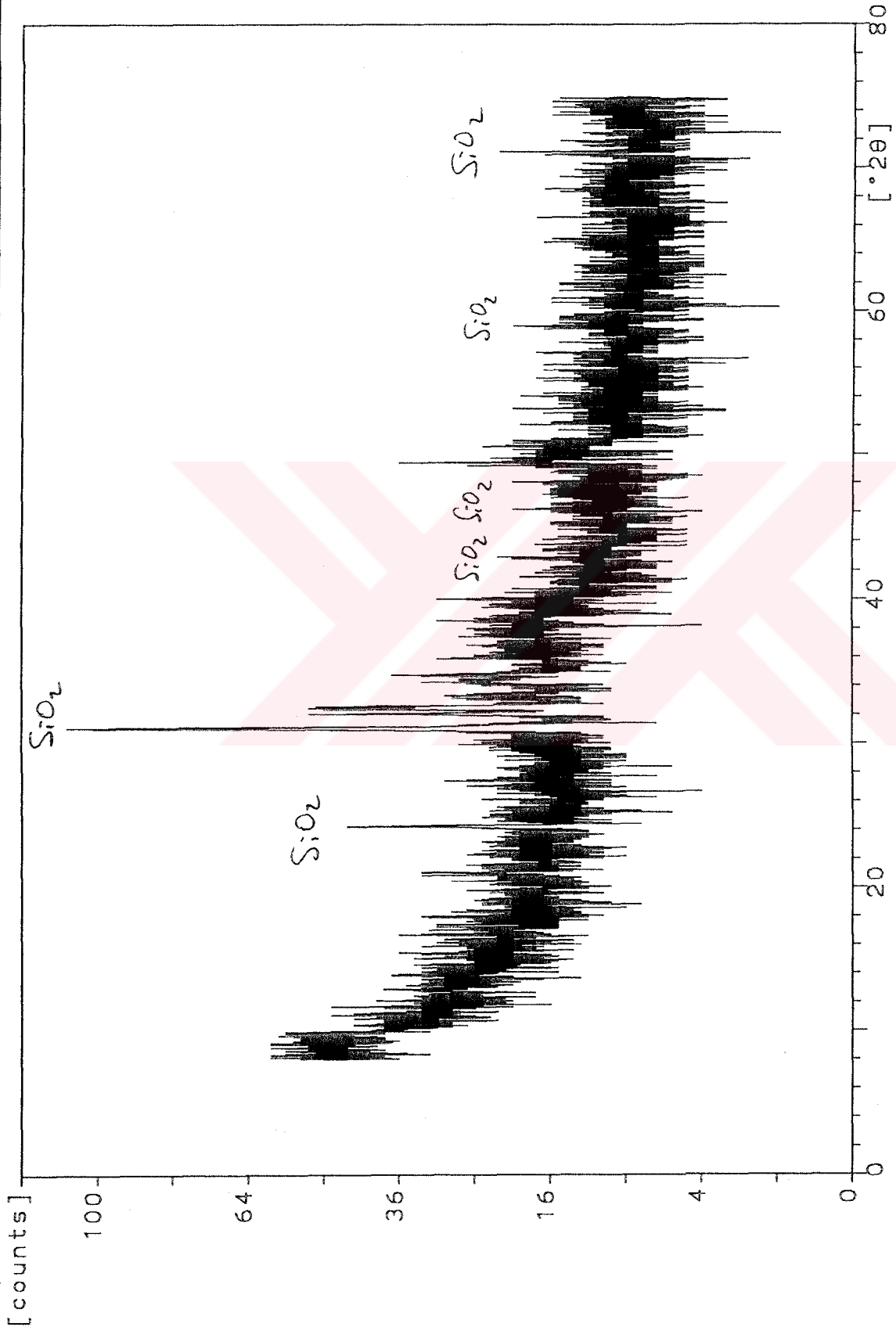
Şekil 2-7 570°C'da Elde Edilen Külün x500 SEM Resmi



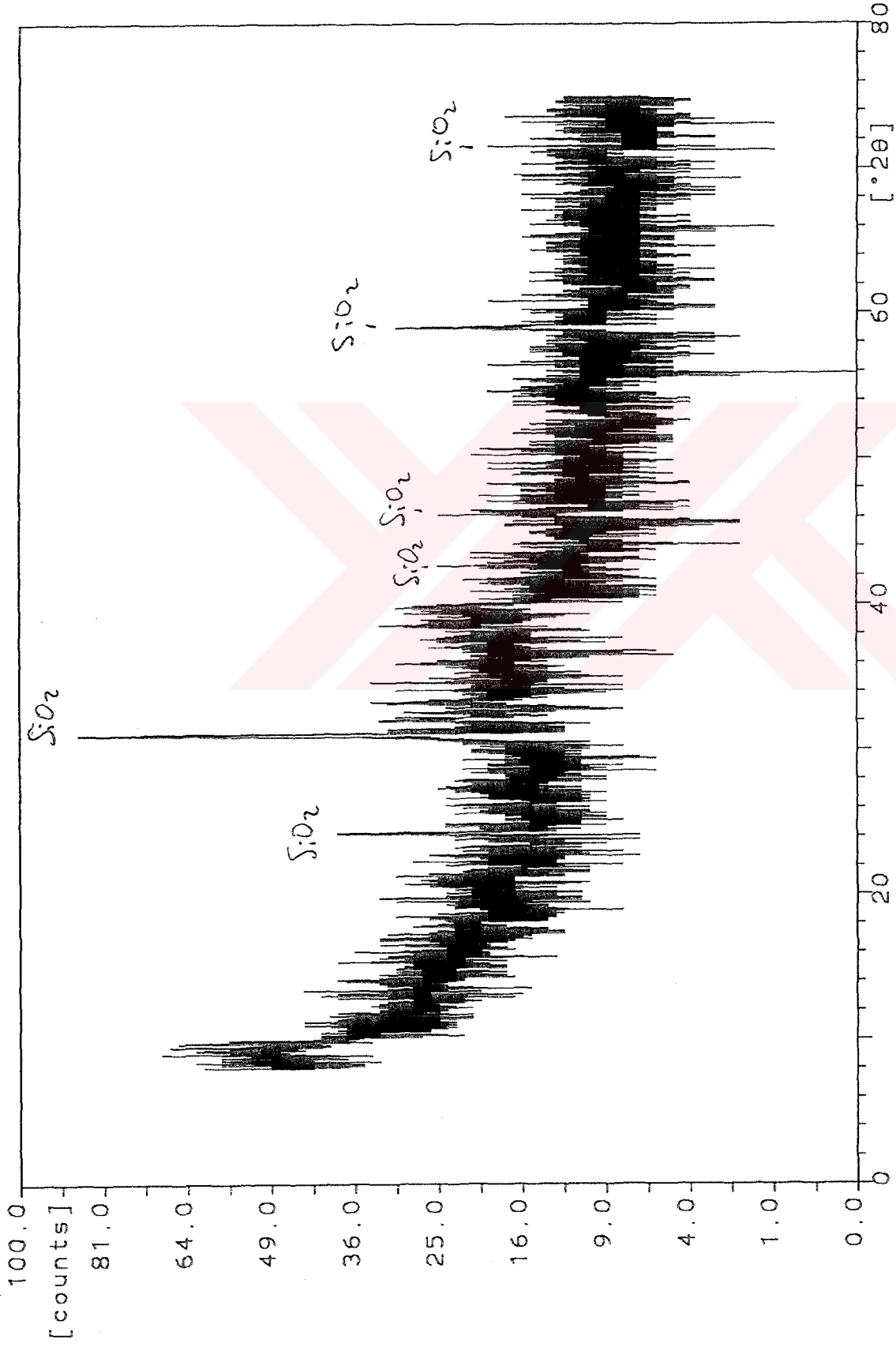
Şekil 2-8 570°C'da (Hızlı Soğutularak) Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Küütünün X-Işını Diffraktogramı



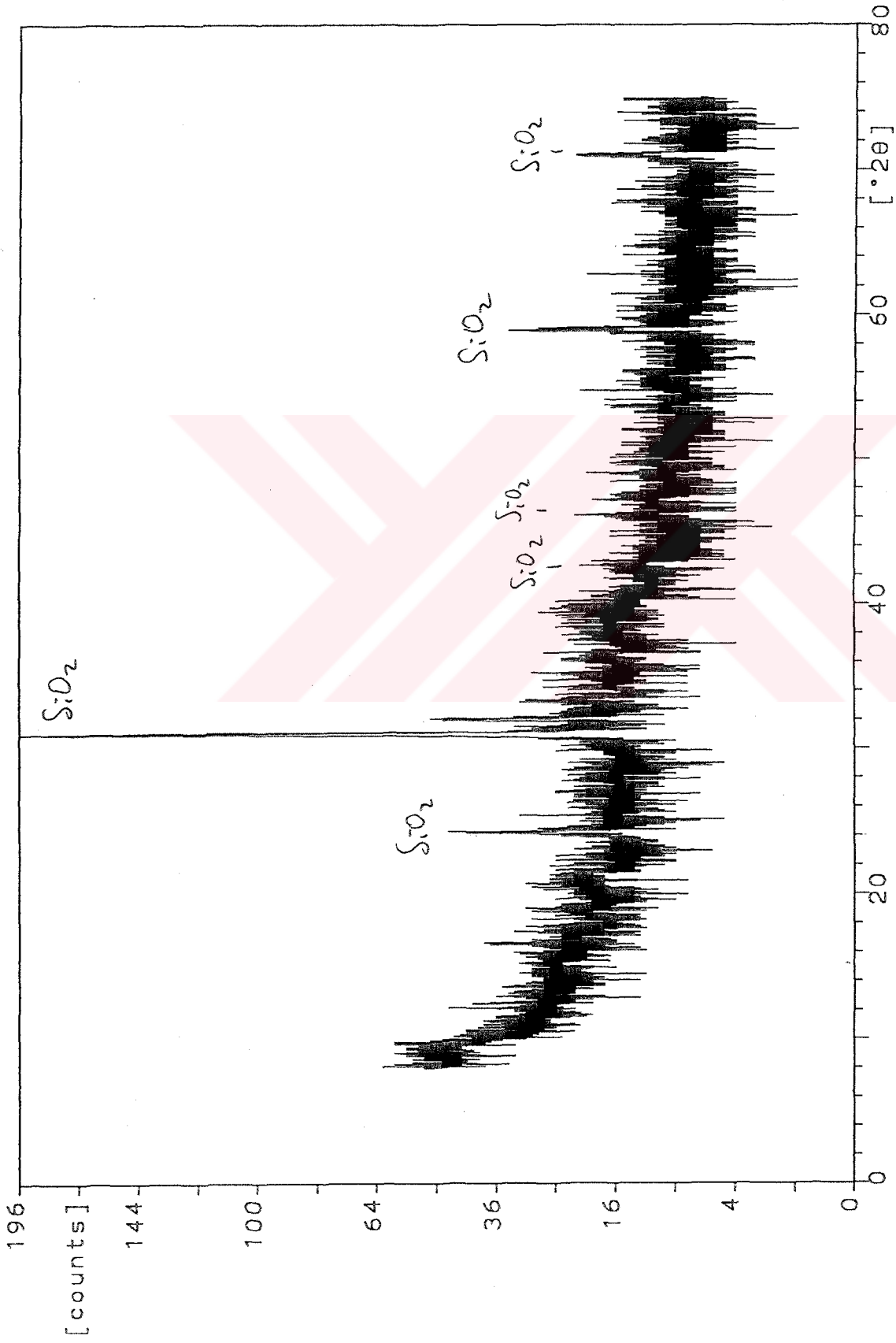
Şekil 2-9 570°C'da (Yavaş Soğutulularak) Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Kütlünün X-Işını Difraktogramı



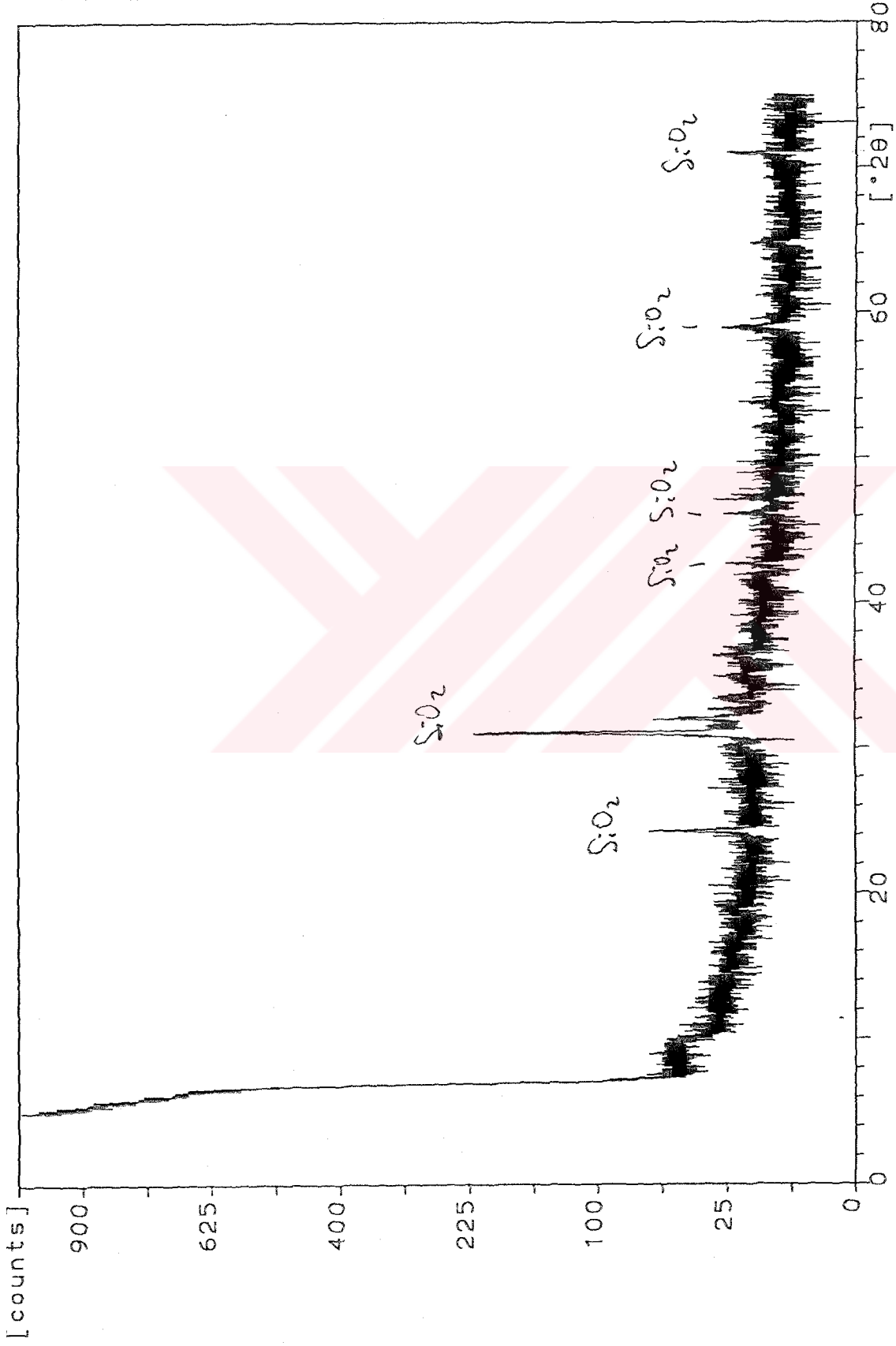
Şekil 2-10 670°C'da Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Külünün X-Işını Diffraktogramı



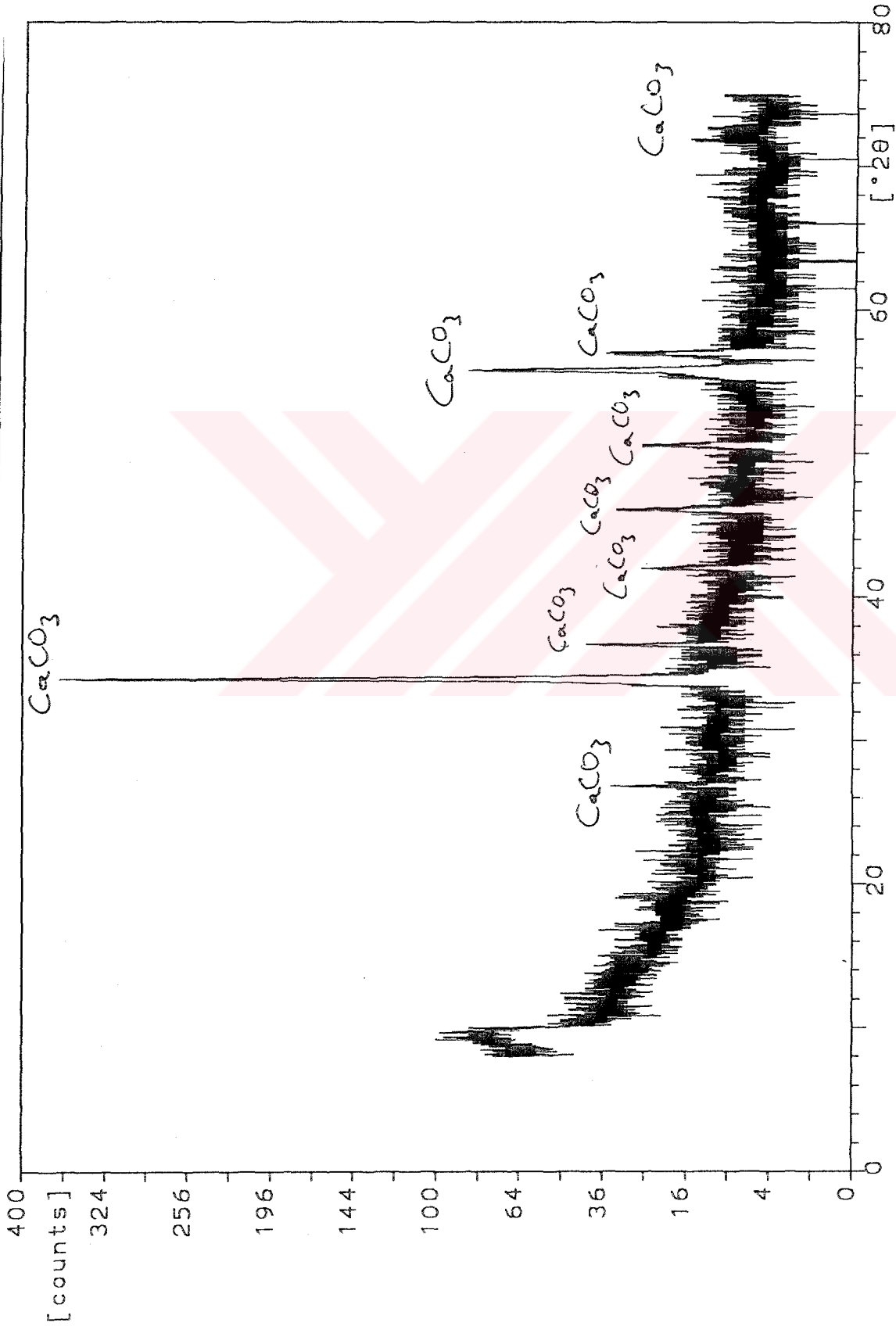
Şekil 2-11 770°C'da Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Küllünün X-Işını Difraktogramı



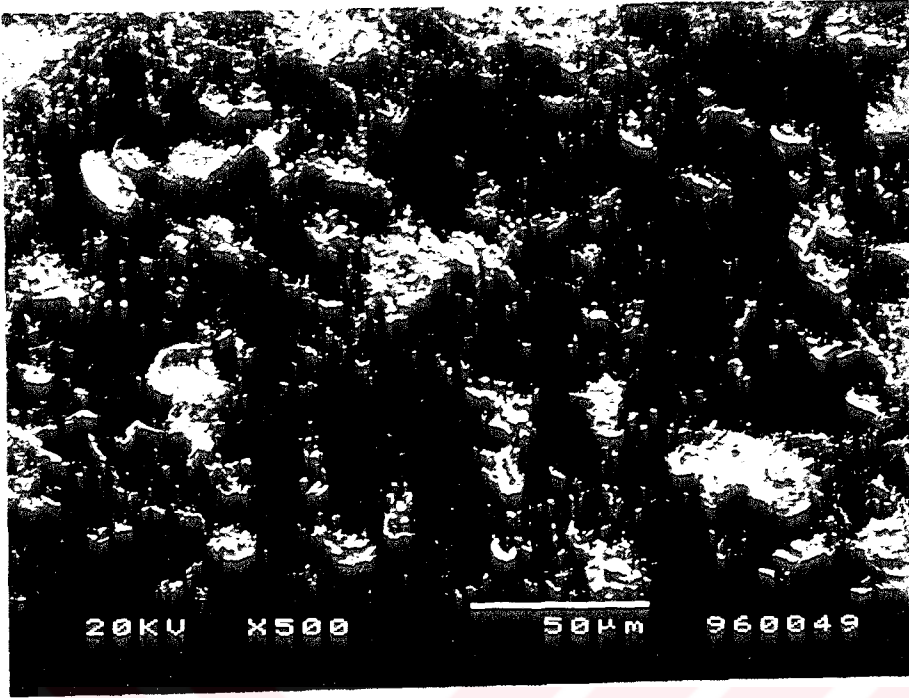
Şekil 2-12 870°C'da Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Küllünün X-Işını Diffraktogramı



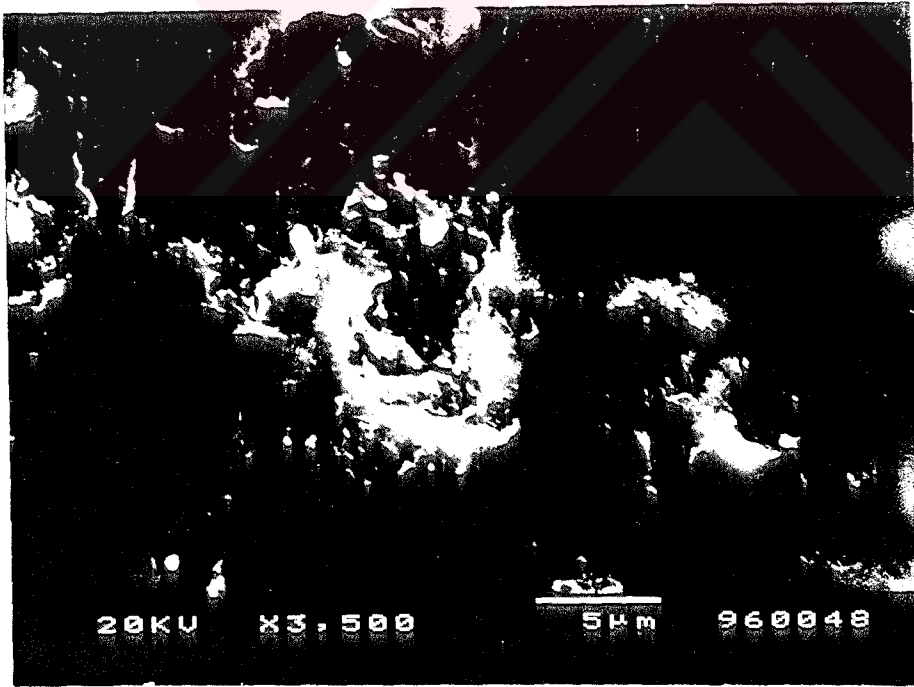
Şekil 2-13 970°C'da Elde Edilmiş Fındık Dış Kabuğu Külünün X-Işını Difraktoqramı



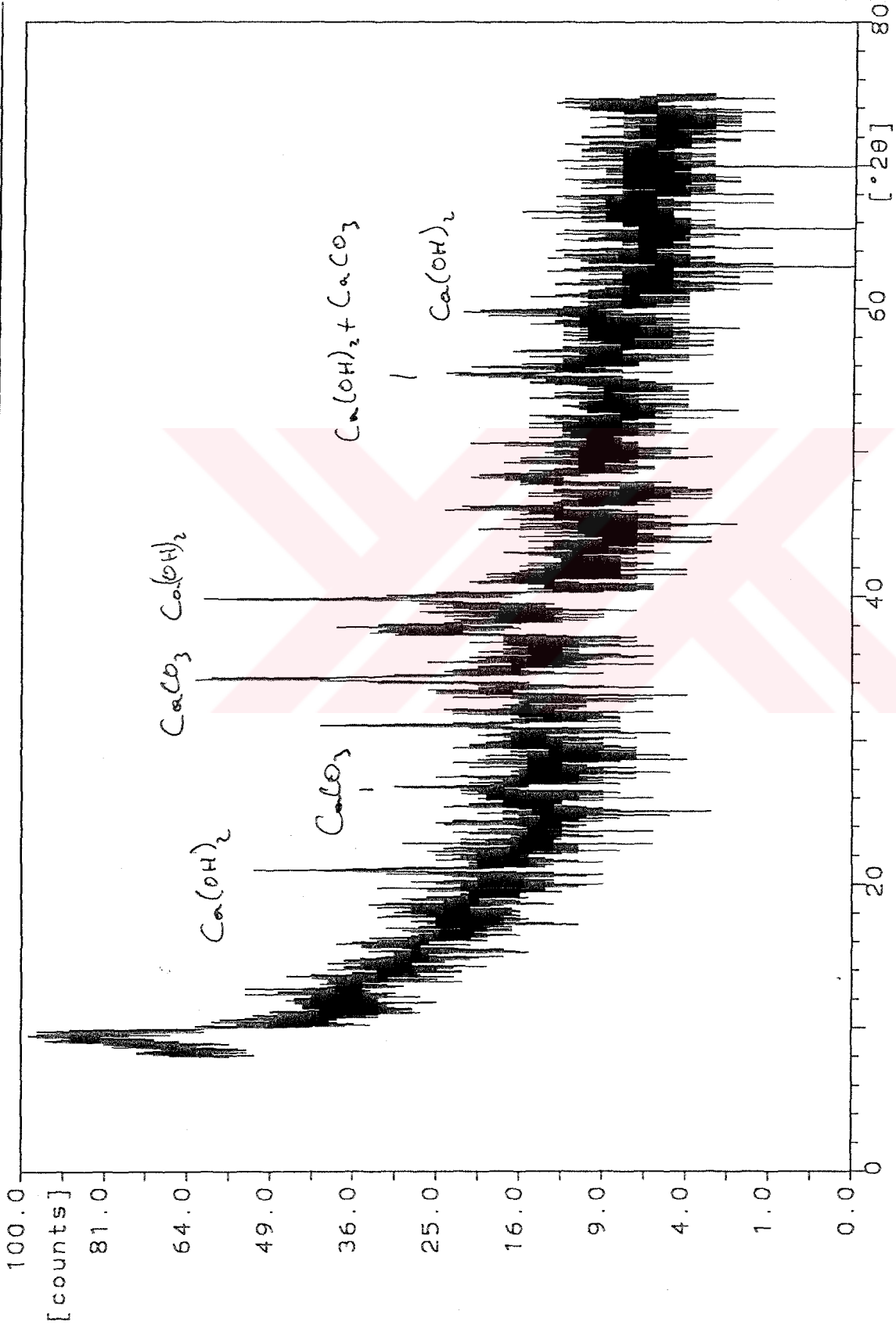
Şekil 2-14 %0 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28. Günde X-Işını Diffraktogramı



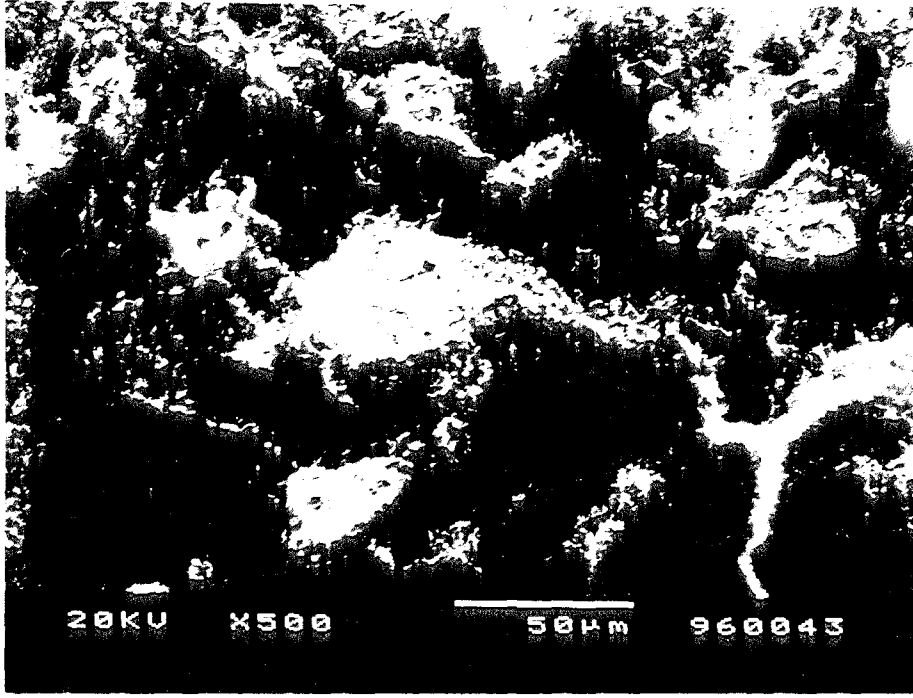
Şekil 2-15 %0 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x500 SEM Resmi



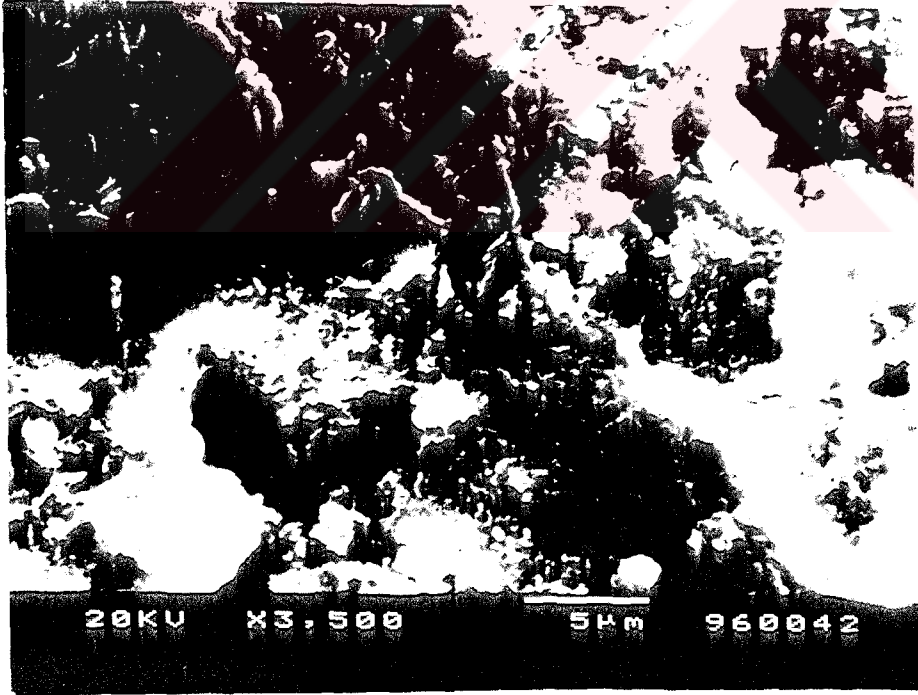
Şekil 2-16 %0 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x3500 SEM Resmi



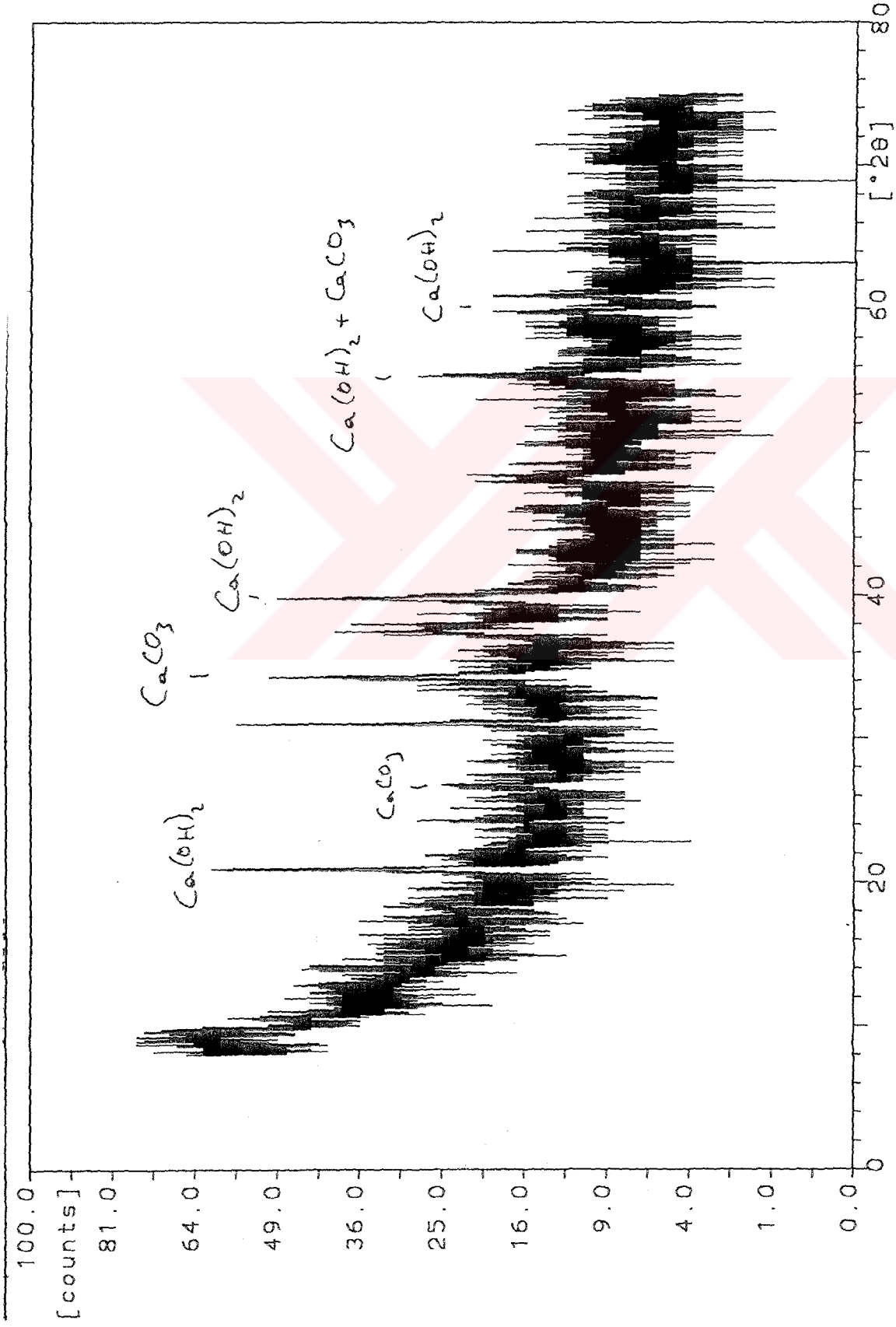
Şekil 2-17 %8 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28. Günde X-Işını Difraktogramı



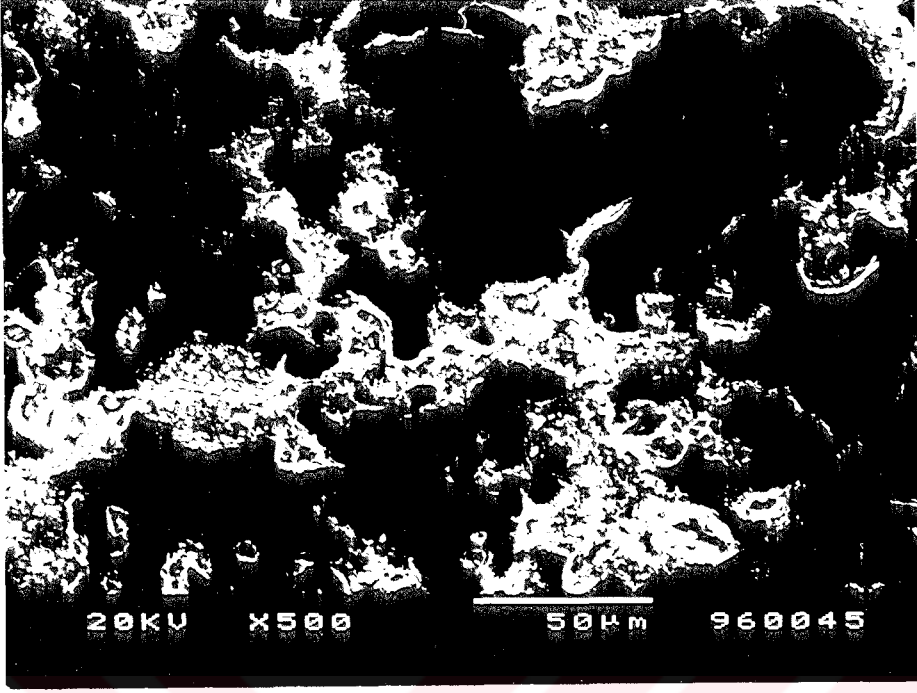
Şekil 2-18 %8 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x500 SEM Resmi



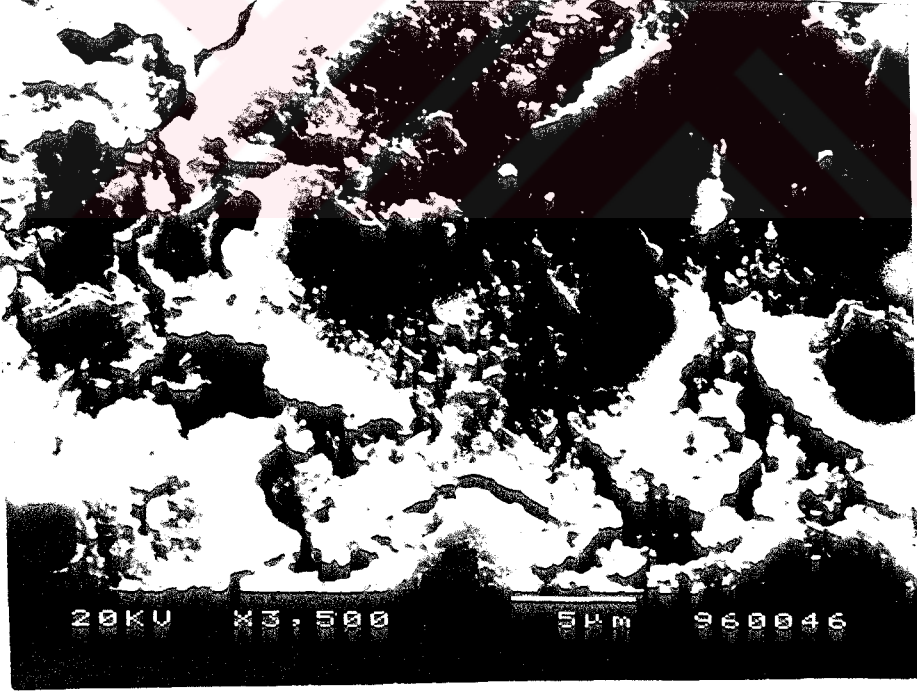
Şekil 2-19 %8 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x3500 SEM Resmi



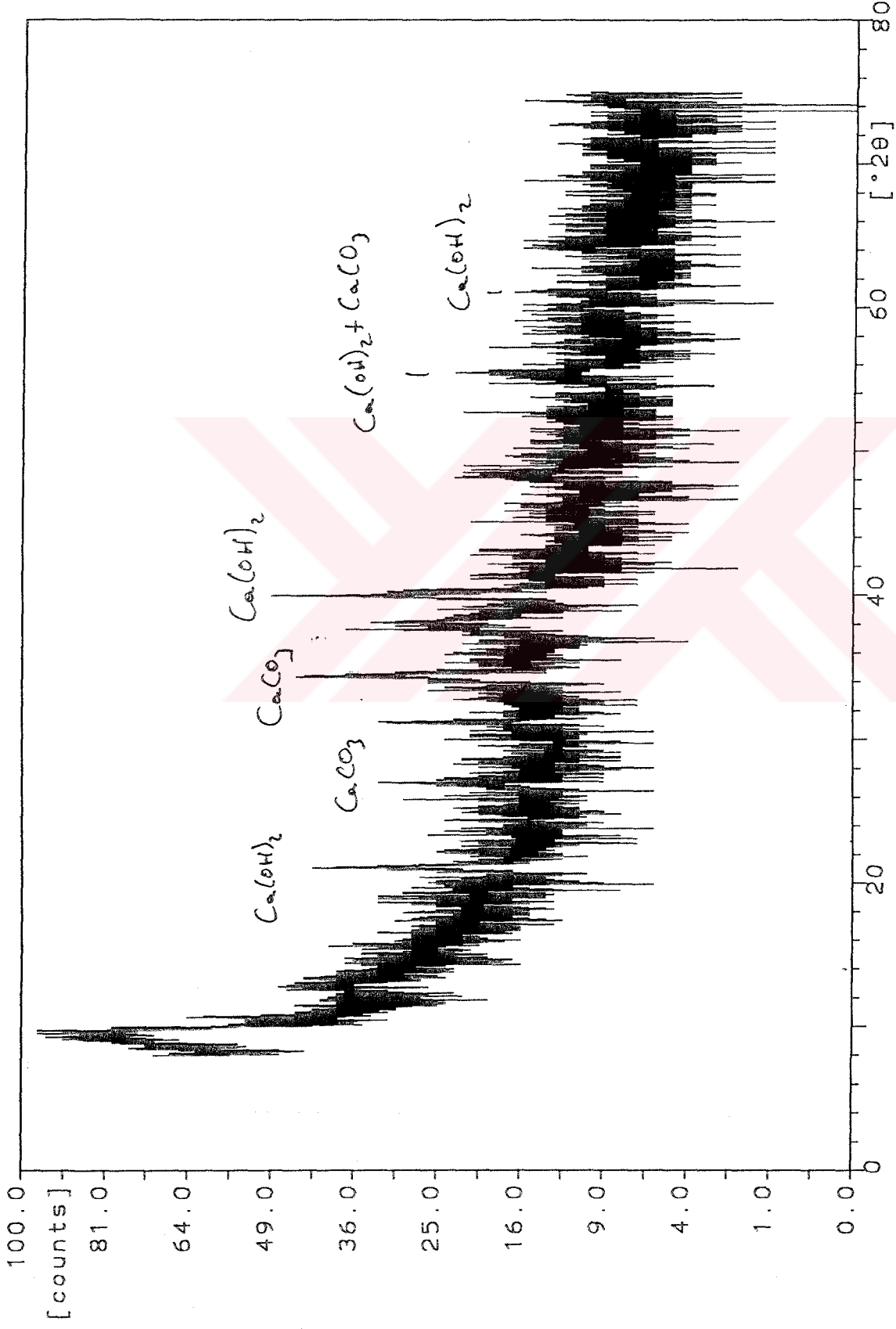
Şekil 2-20 %16 Kül Karlı Çimento Pastasının 28. Günde X-Işım Difraktogramı



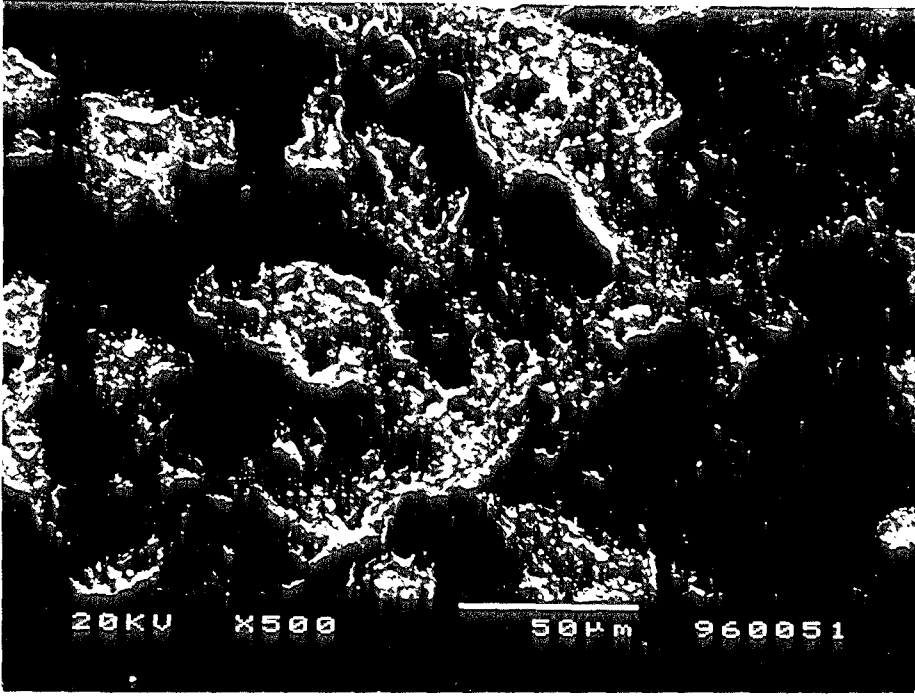
Şekil 2-21 %16 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x500 SEM Resmi



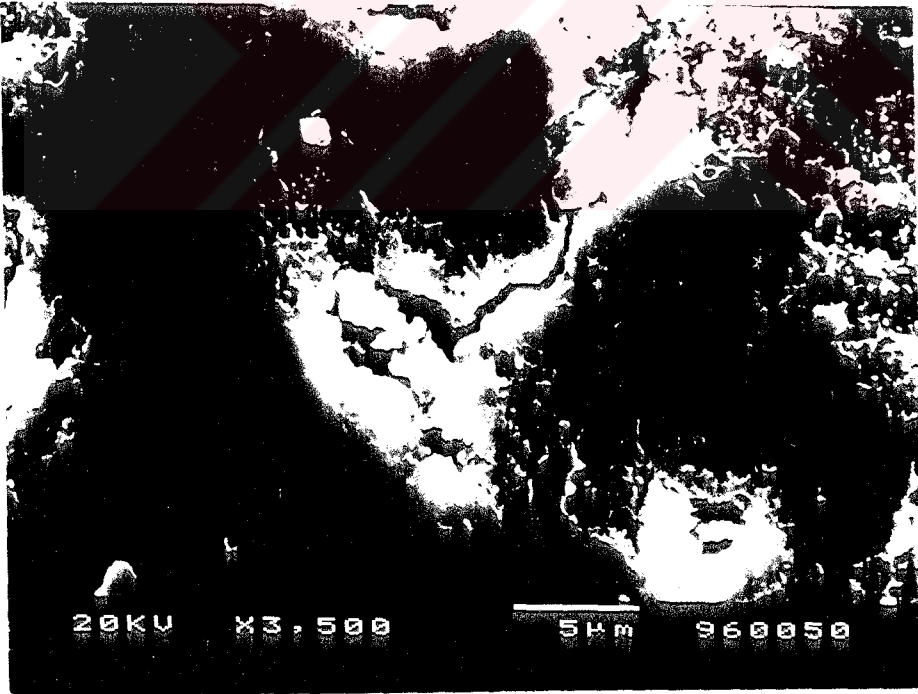
Şekil 2-22 %16 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x3500 SEM Resmi



Şekil 2-23 %24 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28. Günde X-Işını Diffraktogramı



Şekil 2-24 %24 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x500 SEM Resmi



Şekil 2-25 %24 Kül Katkılı Çimento Pastasının 28.Günde x3500 SEM Resmi

3.0. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu bölümde deneylerde elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler sırası ile verilmiştir.

3.1. Mekanik Deney Sonuçları

Mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar, Tablo 2.7’de görüldüğü gibi TS 25 standardının verdiği eğilme dayanımı değerini %64 ve basınç dayanımı değerini %43 oranında aşmaktadır. Bu deney sonuçlarına göre, fındık dış kabuğundan elde edilen külün puzzolanik özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

3.2. Kimyasal Deney Sonuçları

CaO oranı, kül oranının artması ile azalmaktadır. Örneğin %0 kül katkılı çimento pastasında CaO miktarı 9.28 m.mol/L, %8 kül katkılı çimento pastasında 4.60 m.mol/L, %16 kül katkılı çimento pastasında 2.80 m.mol/L ve %24 kül katkılı çimento pastasında ise 2.28 m.mol/L’dir. Tablo 2.8’deki değerlere göre, Şekil 2.5’deki noktalar belirlenmiştir. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi kül katkılı numunelerin alkalinité değerleri çözünürlük eğrisinin altında, yani pozitif bölgededir. TS 26’ya göre fındık dış kabuğundan elde edilen külün puzzolanik özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

3.3. İç Yapı Araştırması Sonuçları

- Fındık dış kabuğunun şekil 2.1’de görülen X-Işını difraktogramı incelendiğinde belirgin bir pike rastlanmamıştır. Buradan literatürde rastlanan, prinç kabuğu (Visvesvaraya,1986)(Mazlum,1989) ve buğday sapı (Biricik,1995) gibi fındık dış kabuğunun da amorf yapıda olduğu anlaşılmıştır.

- Çalışmada elde edilen fındık dış kabuğu külü Tablo 2.5’de görüldüğü gibi %45.30 oranında SiO₂ içermektedir. Şekil 2.8 incelendiğinde SiO₂ piklerine rastlanmaktadır.

Ancak burada kristal yapılı SiO_2 'nin miktarı belli değildir. Kimyasal ve mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde külün amorf yapıda SiO_2 içerdiği ve puzzolanik özellikte olduğu görülmektedir. Çünkü alkalinite deneylerinde kül oranı arttıkça CaO oranı önemli ölçüde düşmektedir.

- 570°C 'da yavaş soğuma sonucu ve $670^\circ, 770^\circ, 870^\circ$ ve 970°C 'larda elde edilmiş küllerin X-Işını difraktogramlarında da kristal yapıya rastlanmıştır.

- %0 kül katkılı çimento pastasının X-Işını difraktogramında CaCO_3 piklerine rastlanmıştır. Ca(OH)_2 pikleri bulunamamıştır. %8, %16 ve %24 kül katkılı çimento pastalarının X-Işını difraktogramında ise CaCO_3 ve Ca(OH)_2 piklerine rastlanmıştır.

- %0, %8, %16 ve %24 kül katkılı çimento pastalarının $34^\circ 2\theta$ difraksiyon açılarındaki CaCO_3 piki karşılaştırıldığında, kül miktarı arttıkça pikin şiddetinin azaldığı görülmektedir. Burada külün serbest kireci bağladığı ve silikat oluşturduğu söylenebilir.

4.0. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Fındığın dış kabuğundan kül elde edilmesinde etkin sıcaklık $570\pm 25^{\circ}\text{C}$, uygun yakma süresi 5 saattir.
- Fındık dış kabuğunda 570°C sıcaklıkta elde edilen kül puzzolanik özelliktedir.
- Kül eldesinde ön yakma uygulaması fındık dış kabuğunun hacmini ve yanma sırasında fırının iç yüzünü kirleten dumana azalttığı için uygun bir işlemdir.
- Ekonomik değeri olmayan tarım artığı bu maddeden elde edilecek kül kirece veya çimentoya katılarak üretimin yapıldığı bölgelerde bağlayıcı malzeme olarak değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

- 1- Akman, S., 1985. "Beton Teknolojisinde Silica Fume Kullanılması" Malzeme Seminerleri, 175-200 .
- 2 - Akman, S., 1987. "Yapı Malzemeleri I" İ.T.Ü. İnşaat Fak. Ders Notları.
- 3 - Akman, S., 1992. "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi" İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul
- 4 - ASTM E 632-81 1982. Standart practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials American Society for Testing Materials, Philedelphie, PA.
- 5 - Barth, P., Huppertz, E.A., 1974. "Structure and crystallization of silica in rice husk" Rice by-products Conf. Valencia, Spain, pp. 89-98.
- 6 - Bidin, R., Ngee, C.C., Yeoh, A.K., Ping, C.B., 1984. "Rice Husk Cement" Standarts Industrial Research Institute of Malaysia, Malaysia.
- 7 - Biricik,H.,1995 "Buğday sapı külünün puzzolanik özellikleri ve külün çimento harcının dayanıklılığına etkisi", Doktora Tezi, YTÜ.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 1995.
- 8 - Carretta,C.J., 1989. "Dayanıklılık" Puzzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, Mayıs, Ankara.
- 9 - Cengiz, M., 1987. "Bazı Yıllık Bitkilerin Rayon Selülozu Üretiminde Değerlendirme İmkanları" İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı.
- 10 - Cohen, M.D., Bentur,A., 1988. "Durability of portland cement silica fume pastes in magnezium sülfate and sodium sülfate solutions" ACI Journal, V. 5, N.3, May-June, pp 148-157.
- 11 - D.İ.E. 1991. Seçilmiş Tahıl Ürünleri; Ekiliş ve Üretimi.
- 12 - Erguvanlı, K., 1983. "Mühendislere Jeoloji" İ.T.Ü. , Maden Fakültesi, İstanbul.
- 13 - Fassbender,H.W.,Ahrens,E.,1975."Arbeitsvorschriften Chemische Labotorien", Göttingen.

- 14 - Ibrahim, M., Helmy, M., 1981. "Crystallization growth of RHA silica", *Termochimica Acta*. 45, pp 79-85
- 15 - Massazza, F., 1993. "Puzzolanic Cements", *Cement and Concrete Composites*, Vol.15, pp. 185-214..
- 16 - Massazza, F., 1989. "Puzzolanlar" Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, Mayıs.
- 17 - Mazlum, F., 1989. "Pirinç Kabuğu Külünün Puzzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi" Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık.
- 18 - Mehta,P.K., 1983. "Puzzolanik and Cementitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete" Fly Ash, Silica Fume, Slag and other Mineral by-Products in Concrete Vol 1 ACI SP 79, pp 1-46
- 19 - Moskvın, V., 1983. "Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection" MIR Publishers, USSR.
- 20 - Neville, A.M., 1987. "Properties of Concrete" Pitman Publishink.
- 21 - Özdemir,İ.,1981."Genel anorganik ve teknik kimya", İTÜ,Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 924.
- 22 - Postacıoğlu, B., 1986. "Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton" Cilt 1. Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- 23 - Slanicka,S.,1991."The influence of fly ash fineness on the strength of concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.21 pp.285-296.
- 24 - Smith, R.G., Kamwanja, G.A., 1986. "The use of rice husks for making a cementitious material" *Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdat,October*, pp 85-94.
- 25 - TAPPI Test Methods 1989. Volume one- two Technology Park/ Atlanta
- 26 - Odun ve selülozda kül miktarının tayini T 211 om - 85
- 27 - TS 19, Portland çimentoları, 1979
- 28 - TS 24, Çimentonun fiziksel muayene metodları, 1978
- 29 - TS 25, Tras, 1975
- 30 - TS 26, Traslı çimento, 1983

- 31 - TS 639, Uçucu küller, 1975
- 32 - TS 687, Portland çimentoları kimyasal analiz metodları, 1985
- 33 - TULGAR, E.,1968."Metalurjistlere denge diyagramları",İTÜ.Maden Fak.,Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- 34 - Uçar,G.,"Orman ürünleri kimyası ders notları.
- 35 - Visvesvaraya, H.C., 1986. "Recyclink of agricultural wastes with special emphasis on rice husk ash" Use of vegetable plants and fibres as building materials joint Symposium Rilem /CIB/NCCL,Baghdad,October, pp 1-22.
- 36 - Yılmaz,Ö.,1990."Fındık kabuğunda kimyasal analiz ve pentozan tayini",Bitirme Tezi, İ.Ü.Orman Fak.



ÖZGEÇMİŞ

Ali Nezihi TULGAR 1969 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Kuvayi Milliye İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini İstanbul Alman Lisesi'nde tamamladı.

1988 - 1993 Yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi'nden mezun oldu. Üniversite yılları zamanında İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar kursunu ve Boğaziçi Üniversitesi İşletme Sertifikası Programını bitirdi. 1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak alındı. Halen aynı görevini sürdürmektedir.

