

**DUVAR KAROSU ÜRETİMİNDE  
PERLİT KULLANIMI**

**BEYHAN TAŞPINAR**

Yüksek Lisans Tezi

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL, 1997

**Anadolu Üniversitesi  
Merkez Kütüphane**

Beyhan TAŞPINAR'ın Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığı "Duvar Karosu Üretiminde Perlit Kullanımı" başlıklı tez.23.9.1997 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı): Doç. Dr. Nuran Ay

Üye : Prof. Dr. Ersan Pütün

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferhat Kara

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.9.1997 tarih ve 17/2 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Ersan PÜTÜN**  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü  
Enstitü Müdürü

**ÖZET**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**DUVAR KAROSU ÜRETİMDE PERLİT KULLANIMI**

**BEYHAN TAŞPINAR**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Nuran AY**  
**1997,98**

Hızlı tek pişirim yöntemi ile üretilen duvar karosuna "monoporoz" denilmektedir. Monoporoz üretimi başlıca hammaddelerin öğütülmesi, granül yapma, presleme, sırlama, kurutma ve pişirme süreçlerini içerir.

Perlit %90-97 cam, %3-10 kristalleşmiş mineraller içeren volkanik kayadır. Dünyadaki 6 milyar tonluk perlit rezervinin 4 milyar tonu ülkemizde bulunmaktadır. Günümüzde perlit geliştirilerek inşaat, metalürji, tarım ve filtre endüstrisinde kullanılmakta ve bir kısmı da ihraç edilmektedir. Rezervlerin çok büyük bir kısmı ise değerlendirilememektedir.

Bu çalışmada ham perlit % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında monoporoz bünyesine ilave edilmiş ve bu bünyeler perlit içermeyen bünye ile karşılaştırılarak mekanik, fiziksel ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin kuruma ve pişme küçülmeleri, ham, kuru ve pişmiş mukavemetleri, su emmeleri, yığınsal yoğunluk ve görünür yoğunlukları yapılan deneylerle tesbit edilmiştir. Ayrıca ham ve pişmiş dilatometre ve X-ışınları difraktometresi analizleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda perlit miktarına bağlı olarak, mukavemet ve su emme değerleri değişmediği halde karoların kütlelerinin %1-2,7 ve hammaddelerin öğünme sürelerinin %30 oranlarında azaldığı görülmüştür. Bunların yanında hammadde maliyetinin de %10-20 oranında azaldığı tesbit edilmiştir. Pişme küçümlerinde ise bir miktar artma gözlenmiştir. Isıl genişleme katsayıları değişmezken X-ışınları difraktometresi sonuçlarına göre toplam kristal faz miktarında azalma olmuştur.

**Anahtar Kelimeler : Perlit, Monoporoz,**

**ABSTRACT**  
**Master of Science Thesis**

**USING PERLIT IN WALL TILE BODY**

**BEYHAN TAŞPINAR**

**Anadolu University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Ceramic Engineering**

**Supervisor: Doç. Dr. Nuran AY**  
**1997,98**

The wall tile that is produced with single firing method called is monoporou. The monoporou production includes mainly proceses such as grinding of raw materials, granulation, presing, glazing, drying and firing.

Perlit is volcanic rock that includes %90-97 amorf phase and %3-10 cristalized minerals. Perlit exists about 4 000 millon ton in our country. In the bulding, metallurgy, agriculture, filter sectors expanded perlit is used and raw perlit which is not expanded is exported. But most amount of the perlit isn't consumed.

In this study raw perlit was added with %5, %10, %15 and %20 portions to the monoporou body and by comparing these bodies with non perlit included bodies their mecanic, physcal and thermal characteristics were examined. Firing shrinkage, modulus of rupture raw, dry and fired samples, water absorption, bulk density, appereant density were measured with the experiments. Raw and fired thermal expansion coefficiency and X-ray analyses were made.

Finally, decreasing was seen depending on perlit amount mass of fired tiles about %1-2,7and grinding time of raw materials about %30 whereas in modulus of ruptures and water absorptions change was not noted. In addition cost of raw materials was reduced %30 portions. However the firing shrinkage was increased a little. Total cristalline phase was reduced according to X-ray diffraction results while thermal expansion coefficent was not changed.

**Key Words: Perlit, Monoporou**

## TEŞEKKÜR

Eğitim hayatımın tümünde hoŐgörü ve desteğini hep yanımda bulduğum değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ersan PÜTÜN,

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalıŐmalarım sürecinde sonsuz bilgi ve moral kaynağı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Nuran AY,

ÇalıŐmalarımda imkanlarından faydalandığım Çanakkale Seramik Fabrikaları ve burada emeği geçen değerli çalıŐanları,

Kısıtlı vaktinde her türlü boşluğu değerlendirerek bu tezi yazıya döken sevgili Asiye KILIÇ

Gösterdikleri sonsuz manevi destekle beni her zaman yüreklendiren dostlarım Didem, Alper, Tuncay, Kaan, Demet ve Teoman

Varlıklarını daima yanımda hissettiğim Dilek ve Hülya

Ve bugünü sayesinde yaŐadıđım SEVGİLİ AİLEM

Hepinize tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. SERAMİK HAMMADDELERİ .....	2
2.1. Kil ve Kaolen Grubu .....	2
2.1.1. Kil minerallerinin minerolojik sınıflandırılması .....	4
2.1.2. Kil minerallerinin yapısı .....	6
2.1.3. Ülkemizde ve dünyada başlıca kil ve kaolen ocakları .....	9
2.2. Feldispat .....	10
2.1.1. Alüminyum silikat düzeni .....	10
2.3. Kuvars .....	12
2.4. Karbonatlar .....	14
2.4.1. Dolomit .....	15
2.4.2. Magnezit .....	16
2.4.3. Mermer .....	16
2.5. Vollaştonit .....	17
2.6. Talk .....	18
2.7. Profilit .....	19
2.8. Perlit .....	19
2.8.1. Perlitin fiziksel özellikleri .....	20
2.8.2. Perlitin kimyasal özellikleri .....	21
2.8.3. Perlitin genişleme özelliği .....	23
2.8.4. Perlitin kullanım alanları .....	24
2.8.4.1. İnşaat sektörü .....	24
2.8.4.2. Metalurji sektörü .....	24

## İÇİNDEKİLER(Devam )

2.8.4.3. Tarım endüstrisi .....	25
2.8.4.4. Filtre endüstrisi .....	25
2.8.5. Dünyada ve Türkiye 'de perlit yatakları .....	25
2.8.6. Ham perlit kullanılarak yapılan çalışmalar .....	26
3. MONOPOROZUN TANIMLANMASI VE BÜNYE ÖZELLİKLERİ .....	28
3.1. Hammaddelerin Seçimi .....	30
3.1.1. Kil mineralleri .....	30
3.1.2. Feldispat .....	31
3.1.3. Silika ve feldispatik kayalar .....	31
3.1.4. Kalsiyum karbonat ve dolomit .....	32
3.1.5. Talk .....	32
3.2. Monoporoz Bünyesi .....	33
3.2.1. Bünyenin tarihsel gelişimi.....	33
3.2.2. Bünyenin yapılanması .....	36
4. MONOPOROZ ÜRETİMİ .....	38
4.1.Üretim Prosesinin Tanımlanması .....	38
4.1.1. Kuru öğütme .....	38
4.1.2. Yaş öğütme .....	38
4.1.3. Granül hazırlama .....	41
4.1.4. Presleme .....	43
4.1.5. Kurutma .....	46
4.1.6. Sırlama işlemi ve sırlar .....	47
4.1.6.1. Sır için tavsiye edilen bileşimler .....	48
4.1.6.2. Dekoratif uygulamalar .....	49
4.1.7. Sırlanmış yarı mamülün kurutulması ve pişirilmesi .....	49
4.1.7.1. Pişme süreci .....	49
4.1.7.2. Pişme aşamasında meydana gelen hatalar .....	52

## İÇİNDEKİLER(Devam )

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	53
5.1. Kullanılan Malzemeler .....	53
5.2. Kullanılan Cihazlar.....	57
5.3. Numune Hazırlama .....	57
5.4. Yapılan Deneyler .....	58
5.4.1. Öğütme ve çamur hazırlama .....	58
5.4.2. Granül hazırlama .....	59
5.4.3. Elek analizi .....	59
5.4.4. Şekillendirme .....	59
5.4.5. Pişme deneyleri .....	60
5.4.6. Fiziksel deneyler .....	60
5.4.6.1. Boyut ölçümü .....	60
5.4.6.2. Mukavemet ölçümü .....	60
5.4.6.3. Su emme deneyleri .....	61
5.4.6.4. Civa metodu ile yığınsal yoğunluk ölçümü .....	61
5.4.6.5. Piknometre ile görünür yoğunluk ölçümü .....	62
5.4.6.6. DTA analizleri .....	62
5.4.6.7. Dilatometre deneyleri .....	63
5.4.6.8. X-ışınları difraktometre analizleri .....	64
5.5. Deney Sonuçları.....	65
5.5.1. Öğütme ve çamur hazırlama sonuçları .....	65
5.5.2. Elek analizi sonuçları .....	65
5.5.3. Boyut ölçüm sonuçları .....	67
5.5.4. Mukavemet ölçüm sonuçları .....	69
5.5.5. Su emme deneyleri sonuçları .....	71
5.5.6. Yığınsal yoğunluk ölçüm sonuçları .....	73
5.5.7. Görünür yoğunluk ölçüm sonuçları .....	73
5.5.8. Dilatometre sonuçları .....	74
5.5.9. X-ışınları analiz sonuçları .....	74
6. DENEY SONUÇLARININ YORUMU ve ÖNERİLER.....	93



**İÇİNDEKİLER(Devam )**

7. KAYNAKLAR DİZİNİ .....	96
---------------------------	----

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.	( $Si_2O_5$ ) ve $AlO(OH)_2$ tabakalarının atomik düzenlenmesi .....	7
2.2.	Kaolinitin yapısının perspektif çizimi .....	8
2.3.	Feldispat bileşimindeki değişimler .....	11
3.1.	Duvar karosu üretiminin dünyadaki gelişimi .....	35
4.1.	Monoporoz üretimi akım şeması .....	39
4.2.	Bilyalı değirmenlerde öğütmenin şematik olarak gösterilişi .....	40
4.3.	İki tip sprey kurutucunun şematik olarak gösterilişi .....	42
4.4.	Presleme aşamasında granül deformasyonu .....	45
4.5.	Pişme çevrimi .....	50
5.1.	Perlitin X-ışınları difraktometresi.....	55
5.2.	Perlitin DTA değişimi .....	56
5.3.	Perlit miktarı ile kuruma ve pişme küçülmesinin değişimi .....	68
5.4.	Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin pişme küçülmesine etkisi.....	68
5.5.	Perlit miktarı ile mukavemetin değişimi .....	70
5.6.	Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin mukavemete etkisi .....	70
5.7.	Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin perlit miktarına bağlı olarak su emme değişimleri .....	72
5.8.	Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin su emmeye etkisi .....	72
5.9.	A0 bünyesinin ham dilatometresi .....	76
5.10.	A1 bünyesinin ham dilatometresi .....	77
5.11.	A2 bünyesinin ham dilatometresi .....	78
5.12.	A3 bünyesinin ham dilatometresi .....	79
5.13.	A4 bünyesinin ham dilatometresi .....	80
5.14.	1000 °C'de pişmiş A0 bünyesinin dilatometresi .....	81
5.15.	1000 °C'de pişmiş A1 bünyesinin dilatometresi .....	82
5.16.	1000 °C'de pişmiş A2 bünyesinin dilatometresi .....	83
5.17.	1000 °C'de pişmiş A3 bünyesinin dilatometresi .....	84
5.18.	1000 °C'de pişmiş A4 bünyesinin dilatometresi .....	85
5.19.	1150 °C'de pişmiş A0 bünyesinin X-ışınları .....	86
5.20.	1150 °C'de pişmiş A1 bünyesinin X-ışınları difraksiyonu.....	87
5.21.	1150 °C'de pişmiş A2 bünyesinin X-ışınları difraksiyonu .....	88

**ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)**

5.22.	1150 °C'de pişmiş A3 bünyesinin X-ışınları difraksiyonu .....	89
5.23.	1150 °C'de pişmiş A4 bünyesinin X-ışınları difraksiyonu .....	90
5.24.	X-ışınları difraktometresi sonuçlarına göre anortit fazı miktarlarının karşılaştırılması .....	91
5.25.	X-ışınları difraktometresi sonuçlarına göre kuvars fazı miktarının karşılaştırılması .....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	Feldispatların fiziksel özellikleri .....	11
2.2.	Silikanın polimorfları .....	13
2.3.	Talk tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı .....	18
2.4.	Çeşitli ülkelerdeki perlitin kimyasal analizleri .....	22
2.5.	Vermikülit ve perlitin karşılaştırılması .....	23
2.6.	Dünya perlit rezervleri .....	26
3.1.	TS-EN 87'ye göre seramik karoların sınıflandırılması .....	28
3.2.	TS-EN 159'da atf yapılan standartlar .....	29
3.3.	Monoporoz bünye özellikleri.....	34
4.1.	Seramik endüstrisinde kullanılan bünye hazırlama süreçleri .....	43
4.2.	Kuru preslemede istenilen granül boyut dağılımı.....	46
5.1.	Kullanılan hammaddeler ve kimyasal analizleri .....	53
5.2.	Perlitin kimyasal analizi .....	54
5.3.	Monoporoz bünyesi .....	58
5.4.	Öğütme ve çamur hazırlama sonuçları .....	66
5.5.	Elek analizi sonuçları .....	66
5.6.	Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin kuruma ve pişme küçülmeleri ....	67
5.7.	1000,1075,1150 °C 'de pişirilen numunelerin pişme küçülmeleri .....	67
5.8.	Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin mukavemet değerleri .....	69
5.9.	100,1075 ve 1150 °C 'de pişirilen numunelerin mukavemet değerleri .....	69
5.10.	Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin su emme değerleri .....	71
5.11.	1000,1075 ve 1150 °C 'de pişirilen numunelerin su emme değerleri .....	71
5.12.	Yığınsal yoğunluk ölçüm sonuçları .....	73
5.13.	Görünür yoğunluk ölçüm sonuçları .....	73
5.14.	1000 °C de pişmiş numunelerin lineer genleşme katsayıları.....	74
5.15.	Bünyelerdeki kristal faz miktarları .....	75

## 1. GİRİŞ

Anorganik malzemelerin çeşitli yöntemler ile şekillendirildikten sonra sırlı veya sırsız olarak pişirilmesi ile oluşan ürünlere genel olarak seramik denir.

20. yüzyılın ikinci yarısından sonra seramik süreçleri ile ilgili yoğun gelişmeler olmuştur. Duvar karosu 25-30 yıl öncesine kadar yalnızca kil mineralleri kullanılarak, 50-60 saat bisküvi pişirimi, 15-20 saat sır pişirimi olan çift pişirim teknolojisi ile üretilmiştir. Zaman içinde yapılan gelişmeler sonucunda 1982 yılından itibaren "Monoporoz" olarak adlandırılan hızlı tek pişirim duvar karosu üretimine geçilmiştir.

Monoporoz bünyesinde cam fazı oluşturmak üzere feldispat, nefelin siyenit ve yüksek alkali içerikli killer kullanılır. Maliyet kârı göz önünde bulundurulursa üretimde kaliteyi bozmayan, daha ucuz ve daha bol bulunan hammaddelerin kullanılması uygundur.

Bu çalışmada Biga yöresinde bulunan ve hammadde maliyetini %10-15 oranında azaltacağı düşünülen perlitin monoporoz üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kullanılan perlit %7.5-8 oranında alkali içermektedir.

## 2. SERAMİK HAMMADDELERİ

Geleneksel seramik üretiminin en önemli hammaddeleri su ile karıştırıldığında plastiklik sağlayan killer, şekillendirmede plastik olmayan ve pişirmede ergime özeliği veren feldispat, ergimeye dayanıklı olan silikadır (22).

EN 87'de belirtildiğine göre duvar karosu bünyesi killer, kuvars, feldispat, boyalar ve diğer mineraller hammaddeleri içerir (2).

Bünye için kullanılan hammaddeler genellikle doğal rezervlerden çıktıktan sonra kırılarak kullanılabilirdiği gibi, sır bünyesi için endüstriyel hammaddeler tercih edilir. Bunlar hammadde tedarikçisi tarafından kalsinasyon, öğütme, homojenleştirme, yıkama gibi zenginleştirme işlemlerinden geçirilmiş hammaddelerdir. Ve bu hammaddelerin kararlılıkları çok iyi kontrol edilmelidir (10).

Bunlara ilaveten mermer, dolomit, vollastonit, talk, manyezit profillit kullanılmaktadır. Bütün kullanılan seramik hammaddeleri özlü ve özsüz olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurdukları zaman verilen şekli muhafaza eden hammaddeler özlü seramik hammaddeleridir. Feldispatların asidik ortamda bozunması sonucu oluşan kaolen ve bazik ortamda bozunması sonucu oluşan montmorillonit ile bu minerallerin doğal etkilerle taşınması sonucu oluşan bentonitler özlü hammaddeler olarak tanımlanır (32). Özlü seramik hammaddeleri kendi aralarında özlülük dercelerine göre sınıflandırılırlar. Bu sıralamaya etken, oluşum koşullarına göre içerdikleri tane irilikleri ve yoğrulmaları için alabildikleri su miktarıdır. En özlü hammadde motmorillonitik bir yapı gösteren bentonit, bunu çeşitli yapılara sahip killer ve kaolenler takip eder (1).

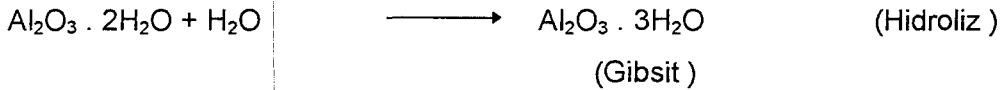
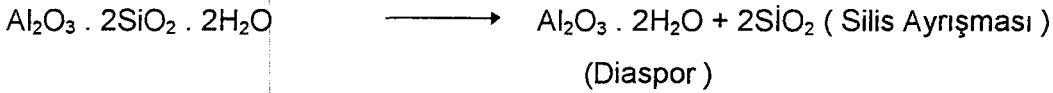
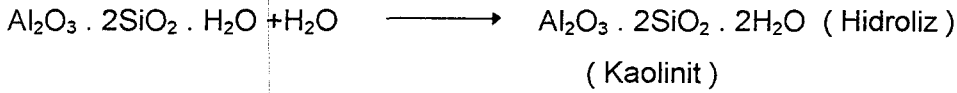
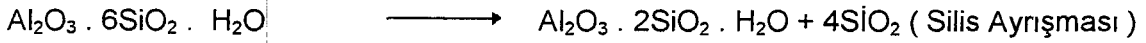
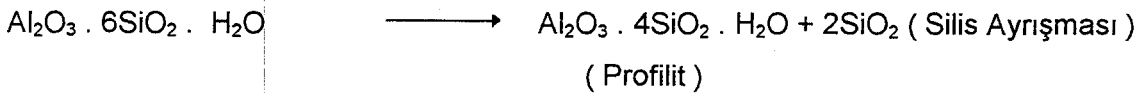
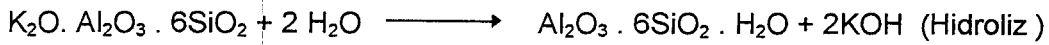
Çok ince öğütölseler bile su ile kolayca şekil verilemeyen, şekil verilse bile şeklini kaybedip dağılan maddeler özsüz seramik hammaddeleridir. Kuvars, feldispatlar , talk, manyezit, dolomit, mermer bu grubu oluşturur.

### 2.1. Kil ve Kaolen Grubu

İlk seramiğin hamaddesi olan kil seramiğin temel yapısını oluşturur. Kilin anaç kayası jeolojik devirlerde oluşmuş olan feldispatlardır. Feldispatların jeolojik ve fiziki şartlarda bozunması sonucunda kaolinit oluşur. Bu kaolenlere primer kaolenler denir.

Oluşan kaolinit zaman içinde doğa şartları, özellikle yağmur ve sel suları ile karşı karşıya kalınca tanecikler su ile beraber taşınarak arazi içindeki çukurlara dolmuş ve bunlar zamanla çökerek kil yataklarını oluşturmuşlardır. Bu killere sedimentler killer veya segonder killer denir (11).

Feldispatik kayalarda meydana gelen ayrışma reaksiyonları aşağıda görülmektedir (5,20).



Aşınma ve taşınma zamanı, kaolenleşmeyi hazırlayan kimyasal olayların sona ermesine imkan vermezse ortaya çıkan kil ve kaolen yataklarının kalitesi tane inceliği, plastisite, ateşe dayanım ve homojenleşme yönünden düşük olur (16).

Kil kaolin ile aynı kimyasal yapıya sahip bir kaolinitir. Kilin kaolene göre tek farkı, kaolenden ayrılan tanelerin su ile sürüklenip toplanması sırasında tanelerin incilmesi ile kilin plastiklik kazanmasıdır. Killerin bu plastiklik özelliği seramik ürünlerin şekillendirilmesinde en önemli yanını oluşturur.

Killer taşınma sırasında geçtikleri yollarda ve yataklardaki anorganik ve bitkisel maddeleri de birlikte sürüklerler. Böylece bünyeye giren metal oksitler, Ca, Mg

karbonatlar, sülfatlar, kömür, humus gibi yabancı maddeler kilin saflığını, kalitesini ve beyazlığını bozucu etki yaparlar.

Metal oksitler killerin ham ve pişmiş renklerini etkilerler. Madensel tuzlar, kilin reolojik özelliklerini bozarlar, sülfatlar pişme sırasında bozunmalara sebep olurlar (11).

### 2.1.1. Kil minerallerinin minerolojik sınıflandırılması.

Kil mineralleri minerolojik sınıflandırmada, amorf killer ve kristalli killer olmak üzere iki gruba ayrılır. Kristalli killer de birim hücredeki  $\text{SiO}_4$  tetraedraları ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oktahedralarının dizilim şekline göre kendi aralarında beş sınıfa ayrılır (25).

#### 1-) Amorf killer

Allofen ( Yüzey ayrışması ürünü )

#### 2-) Kristalli killer

##### a) İki tabakalı killer ( Kaolinit Grubu )

Kaolinit ( Yüzey ayrışması ürünü )

Dikit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Nakrit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Anoksit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Halloysit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Endellit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

##### b) Genişleyen kafesli üç tabakalı killer ( Montmorillonit Grubu )

Montmorillonit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Nontronit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Saponit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Baddelit ( Hidrotermal ayrışma ürünü )

Hektorit ( Yüzey ayrışması ürünü )

Vermikülit ( Yüzey ayrışması ürünü )



## c) Genişlemeyen kafes yapılı üç tabakalı killer ( İllit grubu )

İllit ( Yüzey ayrışması ürünü )

Profillit ( Yüzey ayrışması ürünü )

## d) Zincir yapılı killer

Atapulgit ( Yüzey ayrışması ürünü )

Sepiolit

## e) Karışık yapılı killer ( klorit grubu )

Kil minerallerinin ideal kimyasal formülleri aşağıda görülmektedir (22).

Kaolinit	$Al_2( Si_2O_5 ) ( OH )_4$
Halloysit	$Al_2( Si_2O_5 ) ( OH )_4 \cdot 2 H_2O$
Profillit	$Al_2( Si_2O_5 )_2 ( OH )_2$
Montmorillonit	$( Al_{1.67} Na_{0.33} Mg_{0.33} ) ( Si_2O_5 )_2 ( OH )_2$
Mika	$( Al_2 K ( Si_{1.5} Al_{0.5} )_2 ( OH )_2$
İllit	$Al_{2-x} \cdot M g_x K_{1-x-y} ( Si_{1.5-y} Al_{0.5+y} O_5 )_2 ( OH )_2$

şeklinde yazılmaktadır.

Oluşumlarına bağlı olarak kil ve kaolenler yapılarında değişik miktarlarda kuvars, ilmenit, rutil, hematit, feldispat, zirkon, turmalin, apatit, granit vb. bulunur. Kil minerallerinden illit, halloysit, montmorillonit kilin bünyesinde birlikte bulunabilir. Montmorillonitin ana bileşen olması durumunda kayaç bentonit olarak isimlendirilir (16).

### 2.1.2. Kil minerallerinin yapısı

Kil mineralleri ince taneli hidrate olmuş aliminyum silikatları içerir ve genellikle tabakalı bir yapıya sahiptir, yapıları geniş bir aralıkta incelenir.

Kil minerallerinin kristal yapısı  $\text{SiO}_4$  tetraedrelerinden oluşan  $(\text{Si}_2\text{O}_5)_n$  tabakasınının , alümina oktahedralarından oluşan  $\text{AlO}(\text{OH})_2$  tabakasıyla köşelerde birleşmesine dayanır. Bu tabakalı yapı Şekil-2.1 'de gösterilmiştir.

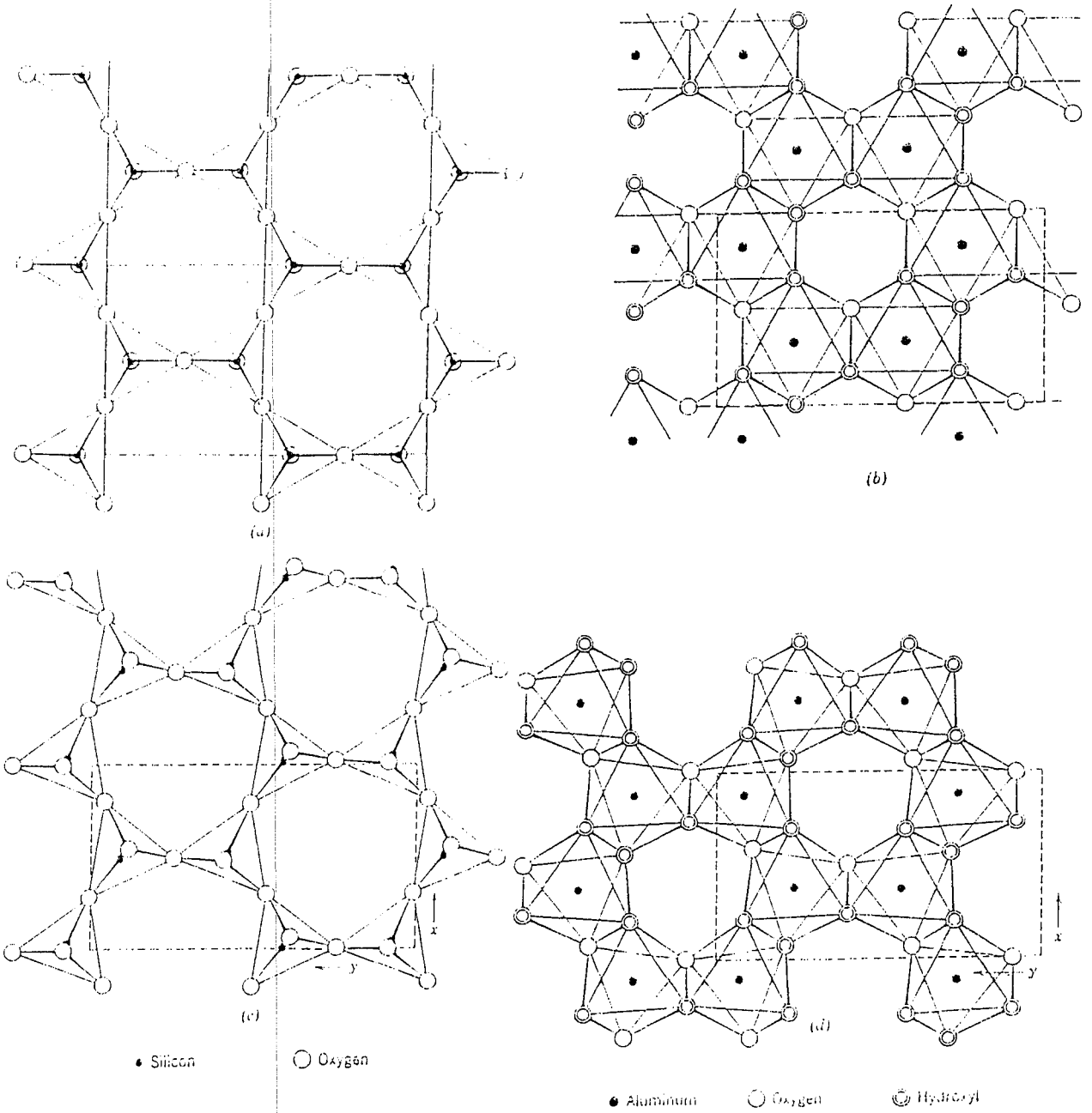
Kil minerali olan kaolinitte  $\text{Si}_2\text{O}_5$  ve  $\text{AlO}(\text{OH})_2$  tabakaları üst üste gelerek aradaki oksijen iyonlarıyla  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_4$  kompozisyonunu verecek şekilde birleşir. Alt yarısında Al-O, OH oktahedraları, üst yarısında Si-O tetraedrelerinden oluşan bu yapı Şekil 2.2 de gösterilmiştir.

Diğer temel kil mineral yapısı  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$  formülündeki profillite yakın olan montmorillonittir. Yalnız montmorillonitte, profillit yapısındaki  $\text{Al}^{+3}$  iyonlarının bir kısmı  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonları ile yer değiştirmiştir.

Profillit yapısında merkezdeki bir  $\text{AlO}(\text{OH})_2$  tabakasının altında ve üstünde  $\text{Si}_2\text{O}_5$  tabakası yer almaktadır. Buradan daha önce söylendiği gibi kaolinitin iki tabakalı, montmorillonitin üç tabakalı yapıda olduğu anlaşılabilir.

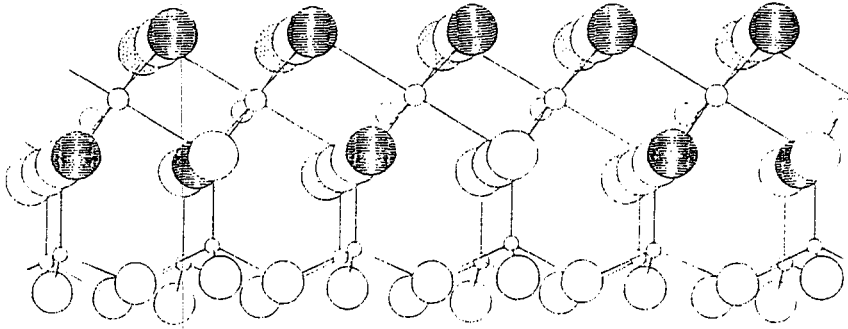
Bunlardan başka , bu tabakaların farklı koordinasyonlarıyla ve yapıya farklı katyonların girmesiyle başka kil mineralleri oluşur. Bu katyonlar yapıya girdiğinde  $\text{Al}^{+3}$  ile yer değiştirir. Bazen de  $\text{Si}^{+4}$  iyonu yerine  $\text{Fe}^{+2}$  gibi düşük değerli katyonlar girdiğinde negatif yüzey şarjı oluşur. Bu negatif şarj mikroyapıda  $\text{Si}_2\text{O}_5$  tetraedreleri arasındaki  $\text{K}^+$  iyonları ile dengelenir (17).

Kil mineralinde tane boyutu, kuru mukavemet, plastisite, temel iyon değişim kapasitesi gibi özellikleri etkilediğinden önemlidir. Kil tane boyutu  $0,05 \mu\text{m}$  ile  $20 \mu\text{m}$  arasında değişebilmektedir.



a-b ideal yapı, c-d kaolinit ve diktteki gerçek yapı

Şekil 2.1.- ( $\text{Si}_2\text{O}_5$ ) ve  $\text{AlO}(\text{OH})_2$  tabakalarının atomik düzenlemesi (Kingery vd. 1975)



Şekil 2.2. - Kaolinitin perspektif çizimi (Kingery vd. 1975)

Kil kitlelerini meydana getiren, kil mineral taneciklerinin etrafını saran ve taneler arasını dolduran suya gözenek suyu, absorbe su, veya serbest su denir. 100-110 °C de bu su kaybolur.

Killer 400-700 °C de arasında ısıtıldıklarında kimyasal formüllerinde gösterilen kristal sularını da kaybederler ve kristal yapılarında bazı değişiklikler meydana gelir.

Kristal suyun kaybı ve yapısal değişiklikler sebebiyle meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar DTA analizlerinde kil minerallerinin tanınmasına yardımcı olur.

900 C° ve daha yüksek sıcaklıklarda kristal yapısını tamamen kaybeder. Ve amorf yapıya geçer. Isı karşısında su kaybı ile birlikte killerde yoğunluk azalması ve hacim küçülmesi meydana gelir.

Kil su karışımlarında, killere içine ilave edilen su miktarına göre farklı fiziksel özellikler gösterirler. Bu özellikler plastiklik, akıcılık, kolloidal ve tiksotropiklik olarak tarif edilmiştir.

Maddelerin basınç altında çatlamadan ve kırılmadan kalıcı şekil değişikliği meydana getirmesine plastiklik özelliği denir. Maddeler basınç kalktıktan sonra kazandıkları yeni şeklini muhafaza ederler. Kilin yoğrulabilmesi için gerektirdiği su

miktarına plastiklik suyu denir. Killi maddelerin plastiklik suyu miktarı içerdiği kil minerallerine, safsızlıklara, kil minerallinin tane boyutuna, kristallenme derecesine, iyon değiştirme kapasitesine, değişebilir iyonların cinsine göre değişir.

Killerin plastiklik özelliği kristallerinin ince tabakalar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisindeki üst üste dizilmiş tabakaları birbiri üzerinde kayarak kile plastiklik özelliğini verir (18).

Kaolenler bir cins kil olmalarına rağmen plastik killer kadar plastik değildirler. Kaolinit ihtiyacı ürünün özelliğine göre kil ve kaolenin çeşitli oranlarla karışımıyla karşılanır.

### 2.1.3. Ülkemizde ve dünyada başlıca kil ve kaolen ocakları

Türkiye’de üretilen kil yataklarının büyük bir bölümü İstanbul’un Kilyos, Sarıyer, Kısırkaya, Ağaçlı, Beykoz ve şile civarında toplanmıştır. Refrakter killer Zonguldak ile İstanbul arasında seramik killeri ise Söğüt- Bilecik ‘de bulunmaktadır. Bunların dışında Osmaniye-Giresun, Azdovay-Kastamonu, Felahiye-Kayseri, Ilgın-Konya, Ardeşen-Rize’de önemli kil yatakları bulunmaktadır. Seramik ve refrakter killerin bilinen toplam rezervi 10 milyon tonun üzerindedir. Yılda 1 milyon ton seramik kili üretmekte ve yarıya yakını ihraç edilmektedir. Dünyada büyük kil yatakları A.B.D., Rusya, Japonya ve Fransa’dadır (25).

Kuruluşlar bünyesinde fazla miktarda SiO<sub>2</sub> içeren killeri zenginleştirerek kullanmaktadır. Bir kısım ihtiyaçları ise ithal ederek karşılamaktadır.

Türkiye’de literatüre geçmiş 150’nin üzerinde kaolen yatağı bulunmaktadır. Bunların yarısından çoğunda işletme yapılmış veya yapılmaktadır. İşletilen yatakların büyük bir bölümü Marmara Bölgesi ile Eskişehir, Uşak, ve Kütahya illerinde yer almaktadır. Büyük kaolen yatakları olarak Beykoz-İstanbul, şile-İstanbul, Arnavutköy-İstanbul, Kreky-Bilecik, Mustafakemalpaşa-Bursa, Sındırđı-Balıkesir, İvrindi-Balıkesir, Yenice-Çanakkale, Karaçayır-Uşak, an-Çanakkale, Mihalicik-Eskişehir, nye-Ordu, Kütahya, Çankırı, Bolu, Amasra-Zonguldak, Devrek-Zonguldak, Konya, Afyon, Kayseri ve Nevşehir’de bulunan yataklar sayılabilir. Toplam rezerv 10 milyon tonun üzerinde olup yarıdan fazlası seramik sanayinde kullanılabilir kalitededir. Ülkemizdeki kaolenler sert kaolenler olup, öğütme gerektirirler. Avrupa kaolenleri gibi suda kolay aılamazlar (11).

Yataklar çok yaygın olduğundan ve birçok ülkede üretim yapıldığından dünya kaolen rezervi hakkında yeterli istatistiksel bilgi yoktur. 1 milyon tonun üzerinde yıllık üretim yapan ülkeler A.B.D., İngiltere, Rusya, Hindistan, Fransa, Almanya, Çekoslovakya, Çin, Japonya ve İspanya'dır (25).

## 2.2. Feldispat

Potasyum , sodyum ve kalsiyum alümina silikat bileşimli mineral gruplarına feldispat denilmektedir. Feldispatların bileşimi  $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$  (Ortoklaz),  $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$  (Albit),  $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$  (Anortit)'in oluşturduğu üç bileşenli sistemde incelenebilir (16).

### 2.2.1. Alüminyum silikat düzeni

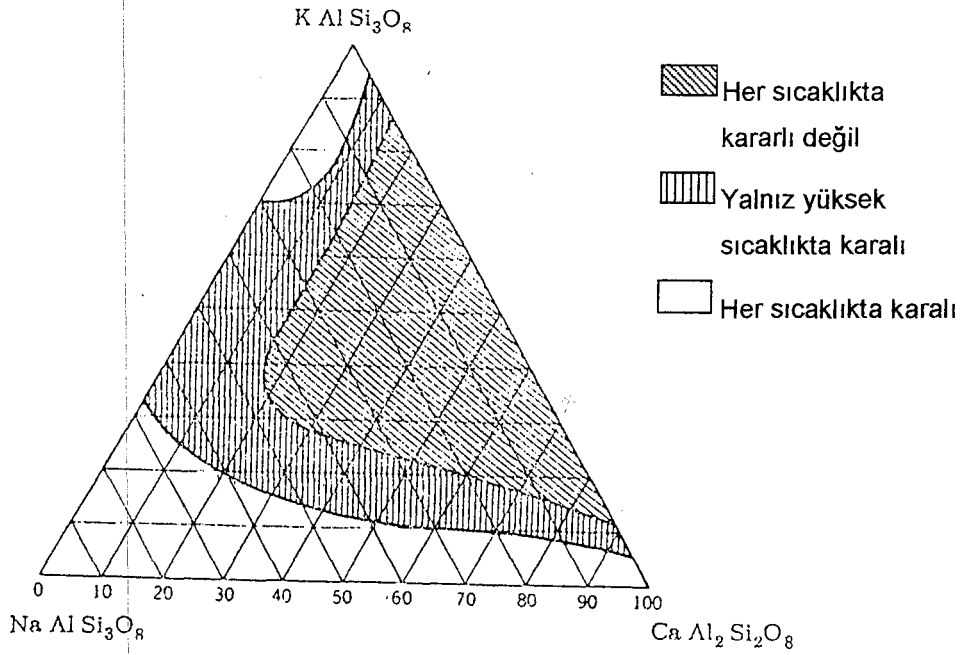
$SiO_2$  grubu dışındaki tüm tektosilikat minerallerinde alüminyum aynen  $SiO_4$  tetraedralarındaki gibi 4'lü koordinasyonlu alüminyum - oksijen tetraedrası yapar. Bu  $AlO_4$  tetraedrası,  $SiO_4$  tetraedrası ile oksijenleri ortak kullanarak üç boyutlu bir yapı oluşturur. Bu yapıda alüminyumun üç değerli olması ile  $AlO_4$  tetraedrasında -5 yük fazlalığı gelişir.

Bu yük fazlalığı her bir  $AlO_4$  tetraedrasına denk gelecek şekilde +1 değerli katyonunun, iki  $AlO_4$  tetraedrası için +2 değerli katyonun yapı içine girmesine neden olur. Katyon bölgesinde potasyum, sodyum, kalsiyum, ender olarak demir, kurşun, rubidyum ve sezyum bulundurulabilirler. Bu iyonlar arasında sınırlı da olsa bir miktar yer değiştirme olasıdır. Buna rağmen feldispatlar Şekil 2.3'de belirtilen üç bileşenin katı eriyik serisi olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 2.1 'de ise feldispatların fiziksel özellikleri verilmiştir.

Feldispatların en önemli kullanma alanı seramik endüstrisidir. Seramik çamuruna  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$  bileşiklerinin girmesiyle yapıda cam fazın oluşması sağlanır. Çamurlarda sinterleme sonucu cam fazı oluşturduğu gibi sırlarda eriticilik özelliği gösterirler.

Çizelge 2.1. Feldispatların fiziksel özellikleri (Cornelius vd. 1982)

FELDISPAT ADI	FORMÜLÜ	YOĞUNLUĞU	MOHS SERTLİĞİ	RENGİ
Ortoklas	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	2,57	6	Beyaz , Gri
Albit	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	2,62	6	Beyaz , Gri
Anortit	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	2,76	6	Beyaz , Gri



Şekil 2.3. Feldispat bileşimindeki değişimler (Cornelius vd. 1982)

Seramik endüstrisinde K-feldispatlar daha çok tercih edilmektedir. K-feldispattaki sinterleme aralığı, Na-feldispattakinden daha geniştir. Bu da sinterleşen ürünün mukavemetinin fazla olmasını sağlar (11).

Ayrıca seramik endüstrisinde kullanılacak feldispatın demir içeriğinin %1'den az olacak şekilde düşük olması istenir.

Türkiye'de toplam feldispat rezervi 410 milyon ton'dur. En büyük feldispat rezervleri Aydın-Çine ve Artvin-Şavşat'dadır. Bunu Kütahya, Manisa ve Muğla'daki rezervler izlemektedir (16).

### 2.3. Kuvars

Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) yer kabuğunun en yaygın seramik hammaddelerinden birisidir. Fakat teknolojik özelliklere sahip, özellikle saydam kuvarsların yayılımı oldukça sınırlıdır. Mohs sertlik derecesi 7, özgül ağırlığı 2,65 tir. Kırılma yüzeyi midye kabuğu şeklinde olup camsı ve yağimsi görünüştedir. Renksiz, beyaz veya içerdiği yabancı maddelerin varlığı ile renklidir. Bileşimi % 46,7 Si % 53,3 O'dur (4).

Kuvars kristallerinin tabiatta üç ayrı polimorfu vardır.

- Kuvars
- Tridimit
- Kristobalit

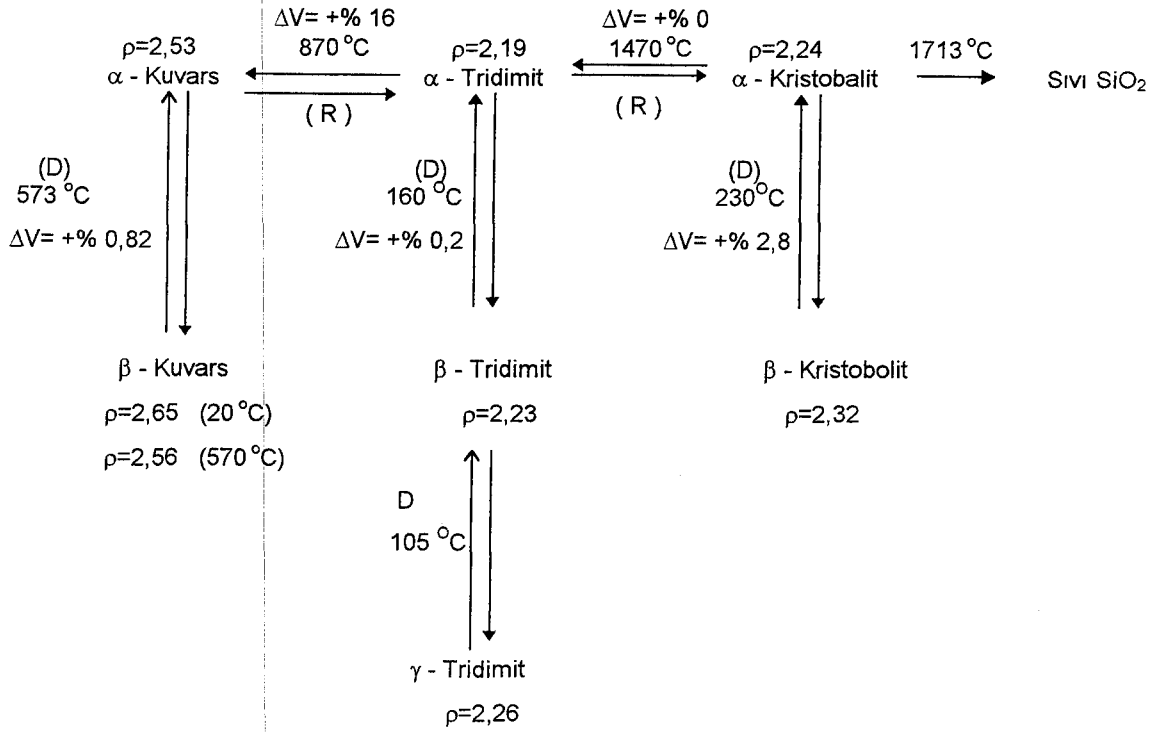
Bu üç kristal şekli ısı değişimlerinde birbirlerine ve yine kendi aralarında daha farklı olan kristal yapılarına dönüşürler (17). Bu polimorfik dönüşümler Çizelge 2.2' de gösterilmiştir.

Seramik hammaddelerinin hepsi ısı karşısında hacimce küçülürler. Oysa kuvarsta bu ısı dönüşümler sonucunda hacimce büyüme olur. Kuvarsin bu özelliğinden dolayı seramik ürünlerin pişirmesinde dönüşüm sıcaklıklarındaki kritik noktalarda ısıtma ve soğutma hızlarına dikkat edilmelidir (11).

Oda sıcaklığında kararlı yapıda olan  $\beta$ -kuvars 573 °C 'de  $\alpha$ -kuvarsa dönüşür. Yer değiştirme mekanizmasıyla ilerleyen bu dönüşümün gerçekleşmesi için ilave malzeme ve uzun zamana gerek yoktur. Dolayısıyla ısıtma ve soğutma aşamasında



Çizelge 2.2. Silika'nın Polimorfları (Kingery vd. 1975)



\* $\rho$  - Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\Delta V$  - Hacim farkı

D - Yer değiştirme dönüşümü; atomlar arasındaki bağlar bozunmaksızın, atomların yer değiştirmesiyle gerçekleşen polimorfik dönüşüm

R - Yeniden yapılanma dönüşümü; atomlar arası bağların kırılarak tekrar düzenlenmesi ve çok daha farklı bir kristal yapı oluşması şeklinde gerçekleşen polimorfik dönüşüm. Bu dönüşüm olması için atomların aktivasyon enerjisini arttıracak itici güce gerek vardır.

bu dönüşümün gerçekleşmesi engellenmez. Meydana gelen iç gerilmeden en az etkilenmek için fırında bu sıcaklık oldukça yavaş geçilir.

Kuvars 870° C de çok yavaş bir şekilde kararlı tridimit fazına dönüşür. Bu dönüşüm yeniden yapılanma mekanizmasıyla geliştiğinden yüksek aktivasyon enerjisi gerektirir. Dolayısıyla seramik ürünlerin pişiriminde bu dönüşüm gerçekleşmediğinden bu ve diğer dönüşümler problem teşkil etmez.

Türkiye'de toplam yıllık üretim 5000 ton civarındadır. İşleme tesislerinin bulunmaması nedeniyle genellikle ham kuvars olarak ihraç edilir.

Bilinen kuvars yatakları Mersin Beldesi ( Kaçarli- Aydın ) , Madran ( Çine- Aydın ) , Foça ( İzmir ) , Bayramiç (Çanakkale) ve Ezine ( Çanakkale ) yörelerinde yer almaktadır ( Temur,1994).

#### 2.4. Karbonatlar

Karbon elementi oksijenle birleşince 4 valans elektronunu 2 oksijene bağlayıp, sağlam bir birim olan CO<sub>2</sub> yapma eğilimindedir. Doğada karbon üç oksijen atomu ile birleşerek CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> iyonunu oluşturur.

Her oksijen bağlı olduğu karbona, başka herhangi bir iyona bağlanacağı kuvvete nazaran daha sıkı tutunur. Karbon - oksijen üçgenleri yapının ana birimi olarak kabul edilir.

Önemli susuz karbonatlar üç eşyapı grubu oluştururlar, bunlar kalsit, dolomit ve arogonit gruplarıdır. Bu gruplara dahil mineraller dışında kalan önemli mineraller, bazik karbonat olan malahit ve azurittir.

#### Kalsit Grubu

Kalsit / Kalker	CaCO <sub>3</sub>
Magnezit	MgCO <sub>3</sub>
Siderit	FeCO <sub>3</sub>
Rodokrozit	MnCO <sub>3</sub>
Simitsonit	ZnCO <sub>3</sub>

### Dolomit Grubu

Dolomit	Ca,Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Ankerit	Ca,Fe (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

### Aragonit Grubu

Aragonit	CaCO <sub>3</sub>
Viterit	BaCO <sub>3</sub>
Stronsionit	SrCO <sub>3</sub>
Serüzit	PbCO <sub>3</sub>
Malahit	Cu <sub>2</sub> ( CO <sub>3</sub> .(OH) <sub>2</sub>
Azurit	Cu <sub>3</sub> ( CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . ( OH ) <sub>2</sub>

Bunlardan dolomit ve magnezit seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (4).

#### 2.4.1. Dolomit

CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub> formülü ile gösterilen dolomit dış görünüşü ile kireçtaşıdan ayrılamayan bir kayadır. Dolomitler 1,7 den daha küçük CaO : MgO oranına sahiptir. CaO içeriğinin artması durumunda karbonatlı dolomit ve dolomitli kireç taşlarına geçilir. Ticari olarak iyi kalitede bir dolomitin % 20 üzerinde MgO içermesi gerekir (25).

Dolomit başlangıçta kireçtaşı olarak çökelmiş bir kayada daha sonra Mg<sup>++</sup> ve Ca<sup>++</sup> iyonlarının yer değiştirmesi yoluyla meydana gelir. Dolomitleşme olarak bilinen bu değişimin, deniz suyu etkisiyle CaCO<sub>3</sub> çökeliminden hemen sonra gerçekleştiği varsayılırsa da bazen katılaşmadan çok sonra yeraltı suları içindeki magnezyumlu iyonların dolomitleşme olayını gerçekleştirdiği bilinmektedir.

Teorik olarak CaCO<sub>3</sub> . MgCO<sub>3</sub> 'den oluşan saf dolomit % 30,4 CaO , % 21,7 MgO. % 47,9 CO<sub>2</sub> içerir. Dolomitde Mg<sup>+2</sup> ile Fe<sup>+2</sup> yer değiştirmesi ile ankerite kadar uzanan bir seri oluşur. Dolomitlerde ayrıca Mn<sup>+2</sup> ile Zn<sup>+2</sup> veya Ca<sup>+2</sup> ile Pb<sup>+2</sup> az miktarda yer değiştirebilir. Mohs sertliği 3,5-4 , özgül ağırlığı 2,85 'dir. Camsı bir görünüme

sahiptir. Renk genellikle pembemsi, renksiz, beyaz, gri, yeşil, kahve ve siyah olabilir. Soğuk HCl de yavaş, sıcak HCl'de hızlı tepkime verir. Toz haline getirilmiş dolomit soğuk asitte hemen çözünür.

Yeryüzünün pek çok yerinde sedimenter tabakalar halinde yaygın bulunur. Dolomit güzel kristalli olarak İsviçre, Kuzey İngiltere, Meksika ve A.B.D. 'de boldur (4).

Türkiye'deki dolomit rezervleri 35 milyar ton olarak verilmektedir.

#### 2.4.2. Magnezit

Magnezit  $MgCO_3$  bileşimine sahip, romboedrik karbonatların kalsit grubundan bir mineraldir. Magnezit kristalin ve amorf olmak üzere iki şekilde bulunur. Saf halde iken % 47,8 MgO ve % 52,2  $CO_2$  'den meydana gelir.  $Fe^{+2}$  magnezyum yerine geçerek siderite kadar katı-eriyik serisi oluşturur. Değişik oranlarda  $Fe^{+3}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  elementlerinin karbonat, oksit ve silikatlarını içerebilir. Kristalin formunun rengi beyazdan siyaha kadar değişir. Mavi, yeşil veya kırmızı olanları da vardır. Renk, saflığı bozan bileşenlere bağlı olsa da saflığın ölçüsü olarak kullanılamaz. Manyezitin mohs sertliği 3,5-5, özgül ağırlığı 3-3,2  $gr/cm^3$  arasındadır. Renkleri beyaz, gri, sarı ve kahve olabilir. Manyeziti kalsit ve dolomitten ayırmak güçtür. En pratik kriter, seyreltik HCl'de kalsitin köpürerek, dolomitin az köpürerek, magnezitin ise hemen hemen köpürmeyecek kadar yavaş reaksiyon vermesidir (25) .

Fayans bünyesine giren magnezitteki karbonat 900 °C 'de  $CO_2$  'e parçalanarak uzaklaşır. Bu yüzden özellikle monoporoz pişiriminde 900°C 'deki bünyeden gaz çıkışı göz önünde bulundurulur.

Önemli manyezit yatakları Mançurya'da , A.B.D'de , Avusturya'da , Urallar' da , Yunanistan'da ve Türkiye ' de bulunmuştur (4).

#### 2.4.3. Mermer

Jeolojik olarak, kireçtaşı ve dolomitin yüksek sıcaklık ve/veya basınç şartları altında metamorfizmaya uğrayarak yeni yapı ve doku özellikleri kazanması ile ortaya çıkan kayalardır.

Mermerin dokusu, kristal boyu, kristal yönlenmeleri, ve gözeneklilik özellikleri ile belirlenir.

Kalsitin sertliği 3, dolomitin sertliği 3,5-4 olduğu için kalsit ve dolomit mermerlerinin sertliği de bu aradadır. Bileşime giren silikatlar sertliğin artmasına neden olur.

Mermerin bileşimi  $\text{CaCO}_3$  ile ifade edilir.  $\text{CaCO}_3$  900 °C de bozularak  $\text{CaO}$  ve  $\text{CO}_2$ 'e dönüşür.

Türkiyenin yıllık mermer üretiminin 200.000 - 250.000 m<sup>3</sup> civarında olduğu tahmin edilmektedir (25).

## 2.5. Vollastonit

Vollastonit doğal olarak bulunan kalsiyum silikattır ve  $\text{CaSiO}_3$  bileşimine sahiptir. Teorik olarak % 48,3  $\text{CaO}$  ve % 51,7  $\text{SiO}_2$  den meydana gelir. Nadiren saf olarak bulunur. Genellikle Mg, Mn, Fe, ve Sr silikatları içerir. Saf vollastonit beyaz renkli iken, bileşimindeki diğer minerallere bağlı olarak kahverengi veya gri renkler olabilir. Özgöl ağırlığı 2,9, sertliği 4,5 , genleşme katsayısı 6,5, ergime noktası 1540 ° C, nem miktarı % 4 ve suda eriyebilirliği 1 ppm kadardır. Çok düşük sıcaklıkta sinterleşirken yüksek sıcaklığa kadar erimeden kalır. Mekanik direnci yüksektir.

Vollastonitin ayırıcı özelliği, iki yönde mükemmel dilinim gösteren iğne şekilli kristaller vermesidir.

Vollastonit kireçtaşının normal basınç ve 450 °C sıcaklık şartlarında kireçtaşlarından aşığıdaki reaksiyonla oluşur.



Vollastonitin başlıca kullanım alanı seramik sanayidir. Feldispat, kalsit, kuvars, dolomit ve talk gibi hammaddelerin yerine veya bunlara beraber kullanılarak seramik ürünler üretilebilir.

Vollastonit çatlamayı ve kırılmayı önlemektedir. Ayrıca rutubet genleşmesini düşürürken, kuruma ve pişme süresini azaltarak enerji tüketimini düşürmektedir.

Türkiye'de vollastonit rezervleri Balıkesir, Çanakkale, Bursa ve Akdağmadeni-Yozgat'da bulunmaktadır (25).

## 2.6. Talk

Talk sulu magnezyum silikat mineralidir. Saf halde iken  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  açık formülü ile belirtilir. Ticari olarak talk cevherinin bileşimi hiç bir zaman teorik bileşime ulaşamaz. İşletilen talk cevherlerinin kimyasal analizleri arasında çok önemli farklılıklar vardır. Sertliği 1, özgül ağırlığı 2,58-2,83 dir. Teorik bileşimi % 63,3  $\text{SiO}_2$ , % 31,9  $\text{MgO}$ , % 4,2 su şeklindedir. Asitlerden etkilenmez. 800 - 860 °C sıcaklıkta enstatit ve amorf silise dönüşür.

Endüstriyel talkta beyazlık, yumuşaklık, şekil ( lif veya yaprak ) , parlaklık, kayganlık, yağlama kabiliyeti elektrik ve ısı yalıtımı, sıcaklığa karşı direnç gibi özellikler aranır. Talkın içindeki kükürt, sülfat mineralleri, Fe ve Mn oksitler talkın kalitesini düşürür.

Çizelge 2.3. Talk tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı (Temur 1994)

KULLANIM ALAN	TÜKETİM PAYI (%)
Seramik Sanayi	34
Boya Sanayi	18
Haşerat İlaçları	7
Çatı Kaplamaları	9
Kauçuk Yapımı	4
Asfalt Dokusu	3
Kağıt Sanayi	3
Kozmetik Sanayi	2
Tekstil Sanayi	2
Diğer	18

Talkın kullanım alanları Çizelge 2.3 de verilmiştir. Talkda aranan teknolojik özellikler kullanım alanlarına göre değişmektedir. Seramik sektöründe kullanılan talkın

CaO miktarı % 0,1-1, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı % 1-1,5 , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise % 0,1-2,5 arasında olması istenir.Daha çok yapraksı talk tercih edilir. (25)

Dünya talk üretimi yıllık 7 milyon 300 bin tondur. Türkiye 'de talk rezervleri 1 milyon tona yakındır. En büyük rezervler Eskişehir, Mihaliçcik- Sazak'tadır (16).

## 2.7. Profilit

Talk gibi benzer amaçlarla kullanılan diğer bir mineral profillittir. Profilit Al<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub> bileşimine sahiptir. Teorik olarak % 28,3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 66,7 SiO<sub>2</sub> ve % 5,0 H<sub>2</sub>O içerir. Yoğunluğu 2,8 gr/cm<sup>3</sup> , sertliği ise 1,5 tondur.

Mikaya benzeyen dilinimi ve yağimsı dokunumu ile tanınır. Kobalt nitrat ile ısıtıp, ateşte kızdırılınca mavi renk alır. Talk ise aynı koşullarda mor renk kazanır.

Asit karakterde volkanik kayaların hidrotermal bozunması sonucu oluşur. Büyük profilit yatakları Yugoslavya ve Paraguay'da bulunmaktadır.

Türkiye'de 20 milyon 500 bin ton profilit rezervi belirlenmiştir. Bunun 20 milyon tonu Malatya, Pötürge - Habit'tedir (16).

## 2.8. Perlit

Perlit adı perlstein kelimesinden türemiş olup perl (inci ), stein ( taş ) anlamına gelmektedir.

Perlit 19 Temmuz 1967 tarihli 12505 sayılı Resmi Gazetede çıkan bir karar ile maden kanununa alınmıştır (26).

Perlit çok sayıda konsantrik yarıkları olan, asidik bileşimli % 2,5 oranında su bulunduran volkanik kayadır (25).

Konsantrik yarıklardan yansıyan ışık kayaca inci parlaklığı verir. Konsantrik yarıklar hızlı soğuma sırasında camsı dokunun büzüşmesi ile ortaya çıkar. Lavın püskürme zamanı, cevherin renk ve tane büyüklüğünü tayin eder. Lavın soğuması amorf veya kristal oluşumunu belirler. Bu özellikler şu değişkenlere bağlıdır.

- Çevrenin ısısı
- Lavın ısı özellikleri
- Lavın viskozitesi
- Diğer fiziksel değişkenler

Bu şekilde oluşan perlit volkanların etkisiyle doğal olarak patlarsa oluşan kayaç pomza taşı adını alır (13).

### 2.8.1. Perlitin fiziksel özellikleri

Renk	:	Gri, beyaz, yeşil, siyah ve bunun tonları
Yumuşama noktası	:	800 °C - 1100 °C
Erime noktası	:	1315 °C - 1332 °C
pH	:	6,6 - 8,0
Özgül ısı	:	0,20
Özgül ağırlığı	:	2200 - 2400 kg/cm <sup>3</sup>
Rekraktif indeks	:	1,5
Serbest nem	:	% 0,5
Ağırlık kaybı	:	Bileşimindeki suya bağlıdır.
HCl'de çözünür Fe	:	% 0,25
Genleşme sıcaklığı	:	800-1200 °C
Genleşmiş yoğunluk	:	0,040-0,050 g/cm <sup>3</sup>
Genleşmeyen içerik	:	% 1-2



Ham perlitin rengi açık griden, parlak siyaha kadar değişir. Fakat genleşince renk tamamen beyazlaşır. Kayaç olarak grönümü , kompakt, ince taneli, gözenekli , gevşek, kolay kırılabilir, kum ve kumtaşı yapısında el ile ufalanabilir nitelikler taşır. Petrografik doku ile grönümlerine göre perlit şu şekilde sınıflandırılır.

- Taneli perlit
- Pomzalı perlit
- Konsantrik perlit
- Lifli perlit
- Fenokristalli perlit
- Kum halinde perlit

### 2.8.2. Perlitin kimyasal özellikleri

Perlit minerolojik karakteri bakımından % 3-10'u kristalleşmiş mineraller olan volkanik kayaçtır. Hacminin % 90-97 kadarı cam olup, kristalleşen mineraller feldispat ve biyotitdir. Nadir olarak da kuvars, apatit ve manyetit grölür.

Perlit cam karakterine rağmen, soğan kabuğu yapısının çatlaklarında ve diğer kısımlarında çok ince dağılmış zeolit kristalizasyonu yani mordenit  $[(Ca,Na_2,K_2)Al_2Si_{10}O_{24}.7H_2O]$  oluşumu saptanmıştır. X- ışını analizi ile perlitin en çok % 4 oranında serbest silis içerdęi saptanmıştır (13).

Altere olmuş perlitler sekonder mineraller içermeyiz, fakat altere olmuş perlitlerde kalsoden, opal , montmorillonit ve ilmenit mineralleri bulunabilir (26)

Çeşitli ülkelere ait perlitlerin kimyasal analizleri Çizelge 2.4 de verilmiştir.

Türkiye'deki ham perlit renkçe 3 ana tipten oluşur. En açık renkli olan, en az demir içeriğine sahip olan perlitlerdir. Türk perlitinin alümina silikat içeriği dünya standartlarına uygundur. Fakat düşük genleşme ısısı anlamına gelen alkali oksitleri dünya standartlarını aşmaktadır (6).

Çizelge 2.4.Çeşitli ülkelerdeki perlitin kimyasal analizleri (Harben 1991)

%	USA ARIZONA	USA N. MEXICO	YUNANİSTAN MILAS	İTALYA SARDUNYA	MACARİSTAN	BULGARİSTAN
SiO <sub>2</sub>	73,2	74,1	73-74	72,8	73,5	72-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	13,3	12-15	13,8	13,0	13-15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	1,8	0,7-1,2	2,1	1,8	1,5
CaO	0,6	1,5	0,7	0,9	1,5	1,0
MgO	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6
K <sub>2</sub> O	5,0	3,8	3,0-4,8	5,6	3,8	4,8
Na <sub>2</sub> O	3,2	3,5	3,4-4,1	3,3	3,5	2,7
TiO <sub>2</sub>	0,1	0,05	0,06	0,3	-	-
H <sub>2</sub> O	3,8	3,0	2,5	0,8	3	3,6

Perlit genişleme özelliği ile vermikülite benzer. Perlit ve vermikülitin minerolojik yapılarının karşılaştırılması Çizelge 2.5 de düzenlenmiştir.

Çizelge 2.5.Vermikülit ve perlit'in karşılaştırılması (Harben 1991)

	PERLİT	VERMİKÜLİT
Tanımlama	Camsı volkanik kayaç Metastabil amorf alüminyum silikat	Hidrote olmuş Mg-Al-Fe silikat tabakaları
Mineral Yapısı	Soğan kabuğuna benzeyen makro ve mikro konsantrik çatlaklar	Çift tabaka su molekülleriyle tabakalı biotit yapısı
Renk	Açık giden siyaha kadar değişken	Sarı- Kahverengi
Mohs Sertliği	5,5-7,0	2,1-2,8
Genleşme Sıcaklığı	760-1100 °C	870-1100 °C
Genleşme Oranı ( Hacimce )	10-20	12-20

### 2.8.3. Perlitin genleşme özelliği

Ani ısıtıldığında ısı şokuyla genişerek cam kabarcıklarından ibaret, köpüksü açık renkli bir kütle meydana getirir.

Genleşme yeteneği kimyasal bileşimin yanısıra etkin su miktarına bağlıdır. Perlit mineralinde su iki şekilde bulunur (16).

a- Etkin su : Silika tetraedrallerinde moleküle bağlı olarak bulunur. Kristal yapıya dahil olduğu için uzaklaştırılması 750-1100 °C de olur ve bu sıcaklıkta suyun uzaklaşması ile genleşme gerçekleşir.

b- Serbest su : Mikroskobik ya da daha küçük yarıklarda bulunur. Bu tür su kırma ve eleme sonucunda serbest kalır ve en fazla 350 °C ye kadar uzaklaşır.

Perlitteki suyun % 80-90 'ı , serbest sudur. Ham perlitin efektif su miktarını tayin etmek için, perlit önce 370 °C ye kadar ısıtılır, soğuduktan sonra tartılır ve 1100°C 'ye kadar tekrar ısıtılır. Kızdırma kaybı efektif su miktarı olarak belirlenir.

750 - 900 °C arasında genişleyen perlite aktif perlit, 900 -1100°C arasında genişleyen perlite pasif perlit denir.

Genleşmeden önceki yoğunluk 1,20 -2,70 g/cm<sup>3</sup> iken genleşmeden sonra 0,12-0,24 kg/cm<sup>3</sup> olur (13).

Perlitin geliştirilmesinde etkili 4 faktör vardır.

- 1- Perlitin cinsi
- 2- Gerekli ısıtma zamanı
- 3- Genleşme sıcaklığı
- 4- Tane iriliği

#### 2.8.4. Perlitin kullanım alanları

Dünyada perlitin % 35'i siva agregası olarak, % 25'i beton agregası olarak, % 23'ü filtre malzemesi yapımında, % 8'i diğer alanlarda kullanılmaktadır.

##### 2.8.4.1. İnşaat sektörü

Perlitin en fazla tüketildiği endüstri dalıdır. Toplam perlit tüketiminin % 60-70'ı inşaat sektöründe gerçekleştirilmektedir. İnşaat endüstrisinde kullanılmasının nedenleri hafiflik, ısı ve ses yalıtımı, ateşe dayanıklılık, kimyasal etkenlerden etkilenmeme ve inşaat kolaylığı olarak özetlenebilir.

##### 2.8.4.2. Metalurji endüstrisi

Demir ve çelik dökümünde yaklaşık olarak döküm kısmının % 8-12 si oranında, demir dışı metallerin dökümünde ise % 20-30 oranında perlit kullanılmaktadır.

Genleştirilmiş perlit, dökümde eriyiğin kalıpta ani soğumasına engel olmak için döküm kısmına katkı maddesi olarak kullanılır. Ayrıca 900 °C de dayanıklı fırın yalıtım tuğlaları yapımında, sanayi fırınlarının onarımında kullanılmaktadır.

#### **2.8.4.3. Tarım endüstrisi**

Perlit tarım sektöründe toprağın iyileştirilmesinde ve tarım ilaçlarında, gübrelerde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Toprağın iyileştirilmesinde asıl fonksiyonu, yağışların doğal buharlaşmasını azaltması ve suyu toprakta tutmasıdır.

#### **2.8.4.4. Filtre endüstrisi**

Gıda sanayinde, bira, şarap, şeker şerbeti ve meyve suları süzmede yardımcı madde olarak perlit kullanılır. İlaç ve kimya sanayinde soda külü eriyiklerinin filtrasyonu, sülfürik asit filtrasyonu, uranyum şerbeti filtrasyonunda kullanılır (26).

#### **2.8.5. Dünyada ve Türkiye’de perlit yatakları**

Dünyaki 6 600 milyon tonluk perlit rezervinin 4 000 milyon tonu ülkemizde bulunur. Türkiye dışında perlit rezervleri başlıca Yunanistan, A.B.D., Japonya, Filipinler, Rusya, Macaristan ve İtalya’da bulunur. Dünya perlit kaynakları Çizelge 2.6’da görülmektedir (26).

Türkiyede perlit yatakları volkanik faaliyetlere bağlı olarak Batı Anadolu, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu olmak üzere üç ayrı bölgede toplanmıştır. Halen işletilmekte olan ve Türkiye ham perlit üretiminin %90’ını karşılayan Koyuneli, Örlemiş, Kocaköy ve çevresindeki oluşumlar bu bölgelerdedir. Türkiye perlitlerinden tüme yakın bir bölümünün iyi kalite perlit olduğu anlaşılmıştır. Dünya perlit rezervleri ile bir karşılaştırma yapılacak olursa Türkiye’nin çok zengin bir perlit rezervine sahip olduğu anlaşılır. Türkiye perlit rezervlerinin illere göre dağılımı Çizelge 2.7’de görülmektedir.

Ülkemizde üretilen ham perlitin küçük bir kısmı yurt içindeki genleştirme tesislerinde işlenmekte, büyük bir kısmı ise ham olarak ihraç edilmektedir(26).

Çizelge 2.6.Dünya perlit rezervleri (Türkiye Perlit Envanteri 1985)

ÜLKELER	REZERV (Milyon Ton)	DİĞER (Milyon Ton)	TOPLAM (Milyon Ton)
A.B.D.	181.4	453.6	635
Meksika	4.5	4.5	9
Yunanistan	90	90	180
Macaristan	4.5	4.5	9
İtalya	4.5	4.5	9
Rusya	453.6	907.2	1 360.8
Japonya	9	22.6	31.6
Yeni Zelanda	9	13.6	22.6
Türkiye	907.2	2 721.6	3 628.8
Diğer	22.6	27.2	49.8
<b>Toplam</b>	<b>1 686.3</b>	<b>4 249.3</b>	<b>5 935.6</b>

### 2.8.6 Ham perlit kullanılarak yapılan çalışmalar

Ham perlitin hafif tuğla üretiminde por oluşturucu olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. İlk denemelerde, kendisinin en önemli özelliği olan kütleyi ve dolayısıyla yoğunluğu azaltmayı sağlamamıştır. Çok yüksek dosajlarda bile ilave edilen ham perlit değirmende bozulmuştur. Perlitin genişmesini sağlayan etkin su, öğütülme sonucunda serbest kalmış ve perlit genişmesi olmadığından por oluşumu sağlanmamıştır. İkinci aşamada 2-4 mm veya 1-3 mm partikül boyutunda olan perlit % 5-25 olarak öğütülmüş olan kile karıştırılmıştır. Perlit ilavesinden sonra öğütme yapılmamıştır. Bozulmayan perlit tanecikleri kilin içinde kalarak por oluşumunu ve bu sayede yoğunluğun azalmasını sağlamıştır (24).

Başka bir çalışmada ham perlitin izolatör üretiminde feldispatın yerine kullanılabilecek hammadde olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmada perlitin özel yapısından dolayı öğütme süresi % 60 düşmüştür. Ham bünye özellikleriyle ilgili olarak kuru mukavemet artmış, kuruma küçülmesi azalmıştır. Pişmiş mukavemet ise % 37 perlit içeriğine kadar artmış, % 50' den sonra mukavemet düşmeye başlamıştır. Bu

Çalışma sonucunda elekto porselen bünyesinde feldispat yerine perlit kullanılabilceği doğrulanmıştır (19).

### 3.MONOPOROZUN TANIMLANMASI VE BÜNYE ÖZELLİKLERİ

Hızlı tek pişirim duvar karosu üretimine üretim sektöründe monoporoz denilmektedir. Pişirilmiş duvar karosu ürünleri için fayans ifadesi kullanılmaktadır.

Pişme aşamasında enerji tüketimini hemen hemen yarıya indirmesi monoporozun diğer yöntemlere tercih edilmesinin sebebidir. Bunun yanında ham karo bünyesi ile üzerindeki sır aynı anda pişirildiği için göz önünde bulundurulması gereken değişken sayısı artar.

Türk standartları TS-EN 87'de seramik karolar şekillendirme metoduna ve pişmiş ürünün su emmelerine göre sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırma ve atıf yapılan standartlar Çizelge 3.1'de görülmektedir (2,27).

Çizelge 3.1. TS-EN 87'ye göre seramik karoların sınıflandırılması (Türk Standartları, TS-EN 87 1995)

Şekillendirme Metodu	Grup 1 $E \leq \% 3$	Grup 2a $\% 3 < E \leq \% 6$	Grup 2 b $\% 6 < E \leq \% 10$	Grup 3 $E > \% 10$
A	Grup A1 EN 121	Grup A 2a EN 186	Grup A 2b EN 187	Grup A3 EN 188
B	Grup B1 EN 176	Grup B 2a EN 177	Grup B 2b EN 178	Grup B3 EN 159
C	Grup C1	Grup C 2a	Grup C 2b	Grup C3

- E - Su emme
- A - Ekstrüzyon
- B - Kuru Presleme
- C - Döküm

Monoporoz ürünler kuru preslemeyle şekillendirildiğinden ve % 12'nin üzerinde su emmeye sahip olduğundan TS-EN 87'ye göre B3 grubuna girerler. B3 grubu ürünler TS-EN 159'da tanımlanmıştır. Bu standarda göre B3 grubu karoların don



olabilecek şartlarda kullanılması düşünülmez. Yine standarda göre bu gruba giren karoların yüzeyleri düzgün, kabartmalı, dalgalı, dekorlu veya daha değişik olabilir. Karolar döşeme derz tırnağına sahip olabilir.

Bu standart metninde başka standartlara atıf yapılarak B3 grubu karolar tanımlanmıştır. TS-EN 159'da atıf yapılan standartlar Çizelge 3.2'de görülmektedir (31).

Çizelge 3.2. TS-EN 159'da atıf yapılan standartlar (Türk Standartları, TS-EN 159 1995)

DENEY STANDARDININ NUMARASI	ÖZELLİKLER	
TS-EN 98	Yüzey kalitesi	Karoların min. % 95'inin genel görünümü bozacak gözle görülür kusurları taşımaması gerekir.
TS-EN 99	Fiziksel özellikler % Su emme	Ortalama 10 değer % 20'yi aşacaksa imalatçı tarafından belirtilecektir.
TS-EN 100	Mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )	Min. 150
TS-EN 101	Yüzey sertliği (Mohs skalası)	Min. 3
TS-EN 104	Isı şokuna dayanıklılık	Harkot testi ile belirlenir.
TS-EN 105	Sırlı karolarda çatlama mukavemeti	Otoklav testi ile belirlenir.
TS-EN 122	Kimyasal özellikler Sırlı karolarda lekelenme dayanımı	Min. 2. sınıf olmalıdır.
TS-EN 122	Ev kimyasallarına, yüzme havuzu su temizleyicilerine dayanıklılık (HF ve bileşiklerini ihtiva edenler hariç)	Min. B sınıfı olmalıdır.
TS-EN 122	Asitlere ve alkalilere dayanıklılık ( HF ve bileşikleri hariç)	İmalatçı tarafından belirtilen kimyasallara dayanıklılık sınıfına göre önceden kararlaştırılır.

Genelde mat sırlar hidroklorik asitte kolayca aşındıkları halde sitrik asitte önemsenecek kadar aşınmazlar, potasyum hidrokside karşı dayanıklıdırlar. Tam tersine parlak sırların aside dayanımı düşükken, alkalilere karşı dirençsizdirler.TS-EN 122 buna göre tanımlanmıştır.

### 3.1. Hammadelerin Seçimi

Hammadde seçimi yapılırken sonuç üründe arzu edilen özellikler ve üretim süreci göz önünde bulundurulmalıdır. Bu seçim yapılırken, hammaddenin bulunabilirliği, homojenlik, hammadde sağlayıcısına güvenilirlik, fiat gibi hususlar da önemlidir. Her hammadde için kullanım yerine ve kullanım miktarına bağlı olarak kriterler belirlenmeli ve bu kriterlere göre seçim yapılmazdır.

Seçimi yapılacak hammaddeler plastik kil grupları ve plastik olmayan hammaddeler olmak üzere iki temel grupta incelenir. Genel olarak hammadde seçim kriterleri belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken özellikler aşağıda verilmiştir.

#### 3.1.1 Kil mineralleri

Plastik hammadde olan killer sulu karışımda yüzdürücü özellik gösterirler. Plastikliğinden dolayı şekillendirmede kolaylık sağlar ve gerekli olan ham mukavemeti sağlarlar.

Kil mineralleri ortama silisyum oksit ve alüminyum oksitleri kazandırır. Bu oksitlerin bir kısmı cam faza karışırken bir kısmı da müllit , anortit gibi fazları oluşturur.

Killerin,

- Oluşacak pişme rengi için içerdiği demir miktarı
- Karbonat içeriği
- Sülfat, karbon, pirit safsızlıkları ve organik madde içeriği
- Reolojik özellikleri
- Mevcut şekillendirme şartları altında yığınsal yoğunluğun ölçülmesiyle belirlenen sıkıştırma derecesi
- Plastiklik veya kuru mukavemeti
- Farklı pişme sıcaklıklarında pişme küçülmesi ve su emme değerleri

- Serbest kuvars miktarının tespiti için ısı genleşme katsayısı ve eğrisi
- Kimyasal ve mineralojik analizi
- Nem içeriği
- Elek bakiyesi

belirlenir.

### 3.1.2. Feldispat

Bünyeye feldispat ilavesiyle geçirgenlik artırılarak kuruma ve pişme esasındaki gaz çıkışı kolaylaşır. Ayrıca ham sıkışmayı artırırken, oluşturduğu fazlar yardımıyla pişme küçülmesini de artırır. Cam faz oluşturarak uygun poroziteyi sağlamak üzere ulaşılmaması gereken sıcaklığı düşürür.

Feldispatların,

- Tane boyut dağılımı
- Yumuşama ve erime derecesini ve bazı safsızlıkların varlığını tesbit etmek için ergime konileri
- Kimyasal ve mineralojik analizi
- 1300-1350° C'de pişme rengi

belirlenir.

### 3.1.3. Silika ve feldispatik kayaçlar

Silika ve feldispatik kayaçlar feldspatta olduğu gibi geçirgenliği artırır ve sıkışma derecesini geliştirir.

Bünyedeki kuvarsın çok küçük bir kısmı cam faza karışır. Serbest kuvars olarak kalan miktar ısı genleşme katsayısını artırır.

Bu maddelerin

- Tane boyutu analizi
- İçeriğindeki kil minerali miktarı tesbiti
- Karbonatların kontrolü
- Pişme rengi, erime özellikleri ve safsızlıkların değerlendirilmesi için 1350 °C erime konisi deneyi yapılır.

### 3.1.4. Kalsiyum karbonat ve dolomit

Genellikle ince taneli olan karbonatlar sıkışma derecesini düşürür. Ve kompozisyonun plastikliğini azaltır. Kil mineralleri ile reaksiyona girecek olan CaO ve MgO 'ı sağlarlar.Kalsiyum karbonat ve dolomit üzerinde,

- Karbonatların bozunma sıcaklığını artıracak olan kaba karbonat partiküllerin olmaması için partikül boyut kontrolü
- Safsızlık kontrolü
- Gaz çıkışının bittiği sıcaklığın tesbiti, sülfat ve safsızlık olarak bulunan diğer bazı oksitlerin kontrolü için termogravimetrik analiz
- Pişme renginin belirlenmesi
- Tam kimyasal analiz ve çözünebilir tuzların analizi yapılır.

### 3.1.5. Talk

Çok küçük miktarlarda ilave edildiğinden ham bünyenin özelliklerini etkilemez. Alkali oksitlerle pişme sıcaklığını düşürür veya mukavemeti artırır. Talkın,

- Tane boyut dağılımı
- Karbonat içeriği
- Pişme rengi
- Tam kimyasal analiz ve klorit ve talk oranlarının hesaplanması yapılır (23).

Burada anlatılan kontroller hammadde kullanımına karar verirken yapıldığı gibi üretim aşamasında da düzenli aralıklarla yapılmalıdır. Bu kontroller sonucunda belirlenen kriterlerde sağlanan hammaddeler kabul edilir. Uygunsuzluk durumunda hammadde üretime alınmaz. İncelemeler laboratuvar çapında yapılır. Ve karar verilir. En önemli aşama yığından numune alma aşamasıdır. Testler için alınan numune tüm yığınyı temsil etmelidir (10).

### 3.2. Monoporoz Bünyesi

Seramik endüstrisinde bünye yapılanması genellikle tecrübe hataları geliştirilerek iyileştirilir. Üretiminde hammaddelerin seçimi önemlidir.

Seramik hammaddelerinin pişme sıcaklığını düşürmek için cam fazını oluşturan feldispat, nefelin siyanit veya sentetik vollostonit ilave edilir. Bu ilaveler sinterleşme esnasında sıvı fazın miktarını hızla artırır. Ancak aşırı kullanımda oldukça dar bir pişme aralığı oluşturacaklarından malzemenin mekanik özelliklerinde önemli kayıplar meydana getirirler. Monoporoz üretiminde teknoloji gereksinmelerini yerine getirirken, kararlı fazın gelişimini sağlamak için yığın bileşenlerinin seçimine dikkat edilmelidir (14).

#### 3.2.1. Bünyenin tarihsel gelişimi

Güney Avrupa özellikle İtalya ve İspanya dünya fayans üretiminin büyük kısmını sağlar. 25-30 yıl öncesine kadar fayans esas olarak bireysel kil minerallerinden üretilmiştir. Süreç artıklarından tekrar kazanılan mineral içerikleri gevrekliği sağlamak için killere karıştırılmıştır.

Çeşitli sırlı ürünler kuru veya yaş öğütülerek beyaz ve pembe arasında pişme renkleriyle, yüksek porozitede ve sınırlı mekanik dirençle üretilmiştir. Bisküvi ve sır pişirimi ayrı ayrı 50-60 h ve 15-20 h olarak yapılmıştır.

Stoneware bünye düşük porozitesi ve iyi mekanik direncinden dolayı fayans üretiminde tercih edilmiştir. Fakat düzensiz pişme küçülmesinden dolayı boyut kararlığına sahip değildir.

1970'li yılların başında tek pişirim sürecine geçiş başlamıştır. Gelişimsel ilk adımda yeni bir fayans bünyesi yapılırken aynı zamanda tek pişirim sürecinin modernleşmesi, pişme zamanının kısılması ve roller fırınlara geçiş olmuştur.

Yerel hammaddeler kullanılarak yapılan yeni fayans bünyesi hızla yayılmıştır. Mekanik olarak güçlü olan bu bünye kolay sırlanabilir olması nedeniyle gerekli estetiği sağlarken pişme küçülmesi ve porozite kontrol edilebilmiştir.

Gerekli bünye bileşiminin formülasyonundan sonra yaş öğütme ve sprey kurutucu ile granül hazırlama teknolojisine geçilmiştir. Bu da preslemeyi kolaylaştırdığından mekanik özellikler iyileşmiştir.

Çizelge 3.3 . Monoporoz bünye özellikleri (Brusa vd. 1995)

<b>BÜNYE KOMPOZİSYONU</b>		
<b>HAMMADELER</b>	<b>KIRMIZI BÜNYE</b>	<b>BEYAZ BÜNYE</b>
Kırmızı Pişen Kil	53	-
Beyaz Pişen Kil	-	40
Kalsiyum Karbonat	-	12
Feldispatik kum	37	20
Kuvars	10	20
Potasyum Feldispat	-	8
<b>KİMYASAL ANALİZ</b>		
Kızdırma Kaybı	5,5	8,5
SiO <sub>2</sub>	70,5	66,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,5	14,5
TiO <sub>2</sub>	0,5	0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0	0,5
CaO	3,0	6,0
MgO	1,0	0,5
K <sub>2</sub> O	2,5	2,5
Na <sub>2</sub> O	1,5	1,0
<b>TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER</b>		
Presleme basıncı ( bar )*	250	250
Pişme Sıcaklığı ( °C )	1100	1120
Pişme Süresi ( dk )	45	45
Su Emme ( % )	14-17	16-19
Pişme Küçülmesi ( % )	0.0	0,2
Mukavemet ( N/mm <sup>2</sup> )	260	280
Termal Genleşme Katsayısı ( C <sup>-1</sup> )	208.10 <sup>-6</sup>	215.10 <sup>-6</sup>
* 1 bar =10 <sup>5</sup> Pa		

Yarı mamül özelliklerinin daha iyi olması sonuç ürün üzerinde de etkili olmuştur. Bundan sonra daha büyük ebatta fayans üretimi ve daha kısa pişme zamanlarına doğru gidilmiştir. Tek pişirim sürecin güvenilir ve daha çabuk oluşu ürünün başarısını getirmiştir. Ama yine de pişmiş fayansta problemler ve boyut farklılıkları tamamen yok edilememiştir. Kabul edilebilen sınır ve toleranslarda tanımlanmış ürün standartları ile vurgulanmıştır.

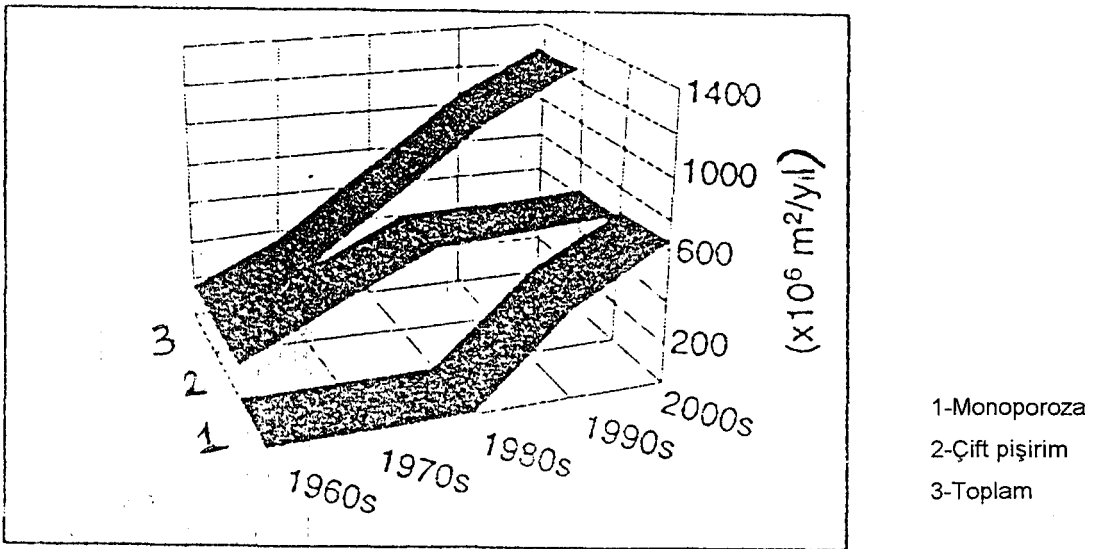
1980'li yıllarda geleneksel evsel ürünlerin kalitesinin artması ve tek pişirim teknolojisinin avantajlarının birleştirilmesi ikinci gelişimsel adımdır.

Tarihsel olarak 1982'de Gardone'deki teknik kongrede monoporoz olarak adlandırılan iç mekan fayansı için hazırlanmış yeni fayans bünyesi onaylanmıştır. Monoporoz ürünlerin porozitesi yüksek, pişme sıcaklığı düşüktür. Pişme küçülmesi sınırlı olduğundan boyutsal kararlılık fazladır.

Monoporoz bünyesi ile yapılan fayansların kalınlıkları küçültülmesine rağmen boyutsal ve mekaniksel problemi yoktur.

Monoporozla hızla dünyaya yayılırken seramik endüstrisi 1990 yıllarına tamamen iki farklı seramik bünyesi ile erişmiştir. Çizelge 3.3 de duvar karosu için hazırlanmış olan monoporoz bünyenin bileşimi, kimyasal analizi ve teknik özellikleri verilmiştir.

Duvar karosunun dünyadaki üretimi için tarihsel verilerden ve istatistiksel tahminlerden yararlanarak çizilen 1960-2000 yılları arasındaki gelişim Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Duvar karosu üretiminin dünyadaki gelişimi (Brusa vd. 1995))

### 3.2.2. Bünyenin yapılanması

Bünye reçetesi mevcut yerel hammaddelere göre değişir. Örneğin , Amerika'da düşük sıcaklıkta sinterleşmeyi sağlamak için yüksek  $Fe_2O_3$  içerikli illitik kil kullanılarak kırmızı bünyeler yapılmıştır. Amerika'da gri-beyaz bünye hammaddelerinin temelini propilit , talk ve vollastonit oluşturur. Bu hammaddeler monoporoz bünye için idealdir.

Monoporoz bünyesinde profillit (  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  ) kullanıldığı zaman gerekli termal genleşme katsayısını , kuruma ve pişme küçülmesini sağlamak için kuvars ve feldspat ilave edilir. Feldspat içermeyen bünyelerde yaklaşık % 6 CaO içeren talk kullanılır. Feldspatlı bünyelerde nispeten daha az talk kullanılır.

Vollastonit (  $CaSiO_3$  ) monoporoz bünyede kullanıldığında kararlı anortit fazının oluşumunu kolaylaştırdığı için pişmiş ürün özelliklerini olumlu olarak etkiler. Profillit ve vollastonit yüksek kızdırma kaybına sahip olduklarından kullanıldıkları bünyelerde boyutsal kararlılığı sağlamak için öğütülürler ve yüksek basınçta şekillendirilirler (10).

Almanya, Fransa ve İngiltere'de çok değişik monoporoz bünyeleri kullanılmaktadır. Düşük demirli beyaz pişen kil, kaolen, kireç taşı ve feldspat başta kullanılan hammaddelerdir (3).

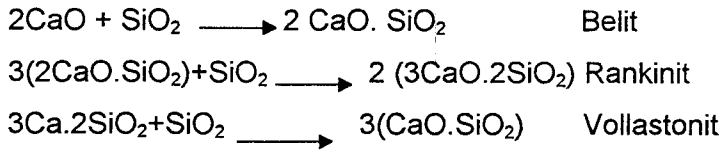
Bünye çalışmalarında en yüksek mekanik direnç değeri kil miktarının en fazla kullanıldığı yerde görülmüştür. Bunun nedeni olarak kil tabakaları kaba partiküllerin arasına yerleşerek birim hacimdeki partikül temasının arttırdığı düşünülür (14).

Fayansın porozitesi fazla olduğundan bünyede hidrate olabilen amorf ve cam fazlar pişmiş bünyenin genleşmesine neden olur. Bu da deformasyona ve sır çatlamasına yol açar. Bunun önlemek için pişmiş ürünlerde maksimum kristalin faz, minimum amorf faz istenir.

Boyutsal kararlılık, yüksek porozite ve mevcut fazların kararlılığı normal olarak bünyeye kalsiyum ve magnezyum karbonatların girmesiyle sağlanır. Bünyeye giren karbonatların kile oranı %5'den büyük olmalıdır (23).

Bünyedeki karbonatlar 900 °C de bozularak  $CO_2$  açığa çıkarırlar. Ve bünye içinde oldukça reaktif faz haline gelirler . Bu sıcaklıkta ince kuvars partikülleri ve killerden gelen alümina silikatlar da oldukça reaktif faz haline gelirler. Bu sıcaklıkta ince kuvars partikülleri ve killerden gelen alümina silikatlar da oldukça reaktiftir ve bu oksitlerle katı halde reaksiyon gerçekleşebilir. Bu durumda ve bu sıcaklıkta oldukça reaktiftir ve bu oksitlerle katı halde reaksiyonlar gerçekleşir.





Yukarıda belirtilen mineral fazların bölgesel dağılımları CaO'un zengin olduğu bölgeden SiO<sub>2</sub>'nini zengin olduğu bölgeye doğru azalan biçimdedir.

Ayrıca CaO, alümina silikatlarla reaksiyona girerek ( 2 CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. SiO<sub>2</sub>) gehlenite ve ( CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 2 SiO<sub>2</sub>) anortiti oluşturur. Eğer CaO miktarı % 10'un altında ise kararlı faz anortit, % 20'nin üzerinde ise gehlenit olur.

Büyük CaO partiküllerinin olduğu yerde gehlenit konsantrasyonunun artması maksimum sıcaklığa kadar devam eder. Fakat bu kararlı bir gehlenit fazı değildir. Reaksiyon devam ettirilirse gehlenit fazı kararlı hale gelecektir. Fakat pişme çevriminin bu aşaması buna müsaade etmez (9).

Pişme çevrimi göz önünde bulundurulursa, monoporozda kullanılan karbonatların miktarı, çift pişirimdekinden daha azdır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta bozunmasından dolayı sülfat miktarının % 0,2 den fazla olmaması istenir.

Pişmiş bünyenin beyazlığı demir oksit içeriğine bağlıdır. Demir oksit kil mineralinde kristal yapı içinde veya serbest olarak bulunabilir. Beyaz bünye için toplam demir içeriği % 2' den düşük olmalıdır (23).

## 4. MONOPOROZ ÜRETİMİ

### 4.1. Üretim Prosesinin Tanımlanması

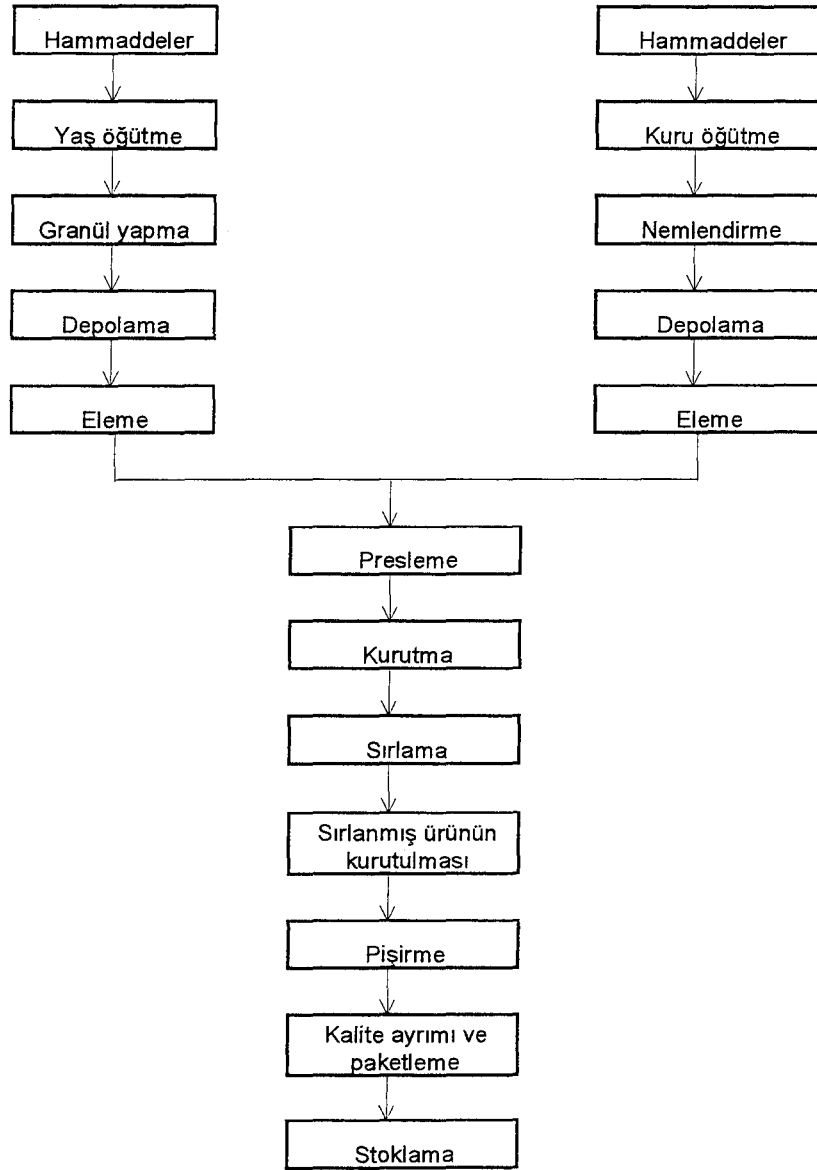
Hızlı tek pişirim yöntemi ile üretilen monoporoz duvar karosu üretiminde; belirlenmiş olan reçetedeki hammaddeler belirtilen miktarlarda tartıldıktan sonra, yaş veya kuru öğütme yapılır. İstenilen tane boyut dağılımının daha kolay yakalanabilmesi, üretim sürecinin daha basit olması ve buna benzer nedenlerden dolayı üretim sektöründe çoğunlukla yaş öğütme tercih edilmektedir. Eğer yaş öğütme ile üretim yapılıyorsa öğütülmüş çamurun kurutulup granül haline getirilmesi için sprey kurutucular kullanılır. Granül hale getirilmiş olan bünye % 5-7 rutubette kuru presleme ile şekillendirilir. Daha sonra bünyenin içerdiği nemi atarak mukavemet kazanması için şekillendirilen ham karolar kurutulmalıdır. Kurutulan bu karolar sırlanır. Sırlama işlemlerinden sonra pişirilecek olan fayansların, sırlama sürecinde bünyeye aldıkları suyun uzaklaştırılması için tekrar kurutma yapılır ve roller fırınlarda 40-60 dk sürede pişirilir. Monoporoz bünyenin üretimine ait akım şeması Şekil 4.1'de görülmektedir.

#### 4.1.1. Kuru öğütme

Kuru öğütme toz içinde % 80 'nin 60 µm altında ince tane ve % 5'in 200µm üzerinde kaba tane olacak şekilde yapılabilir. Öğütülen tozlar preslemede uygun şartları sağlamak için uygun tane boyut dağılımını yakalamak üzere hafifçe ıslatılır. Granüllere % 4-6 rutubet kazandırıldıktan sonra büyük aglomerelerin uzaklaştırılması için elenir ve preslemeye verilir.

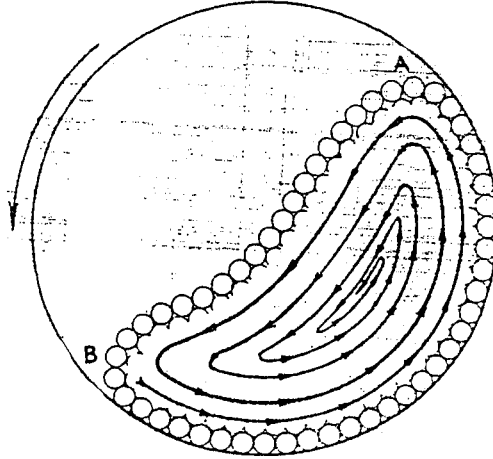
#### 4.1.2. Yaş öğütme

Bu öğütme yöntemi en yaygın olarak kullanılandır. Bu yöntemde bünye reçetesindeki tüm hammaddeler tartılarak bilyalı değirmenlere doldurulur, su ve elektrolit ilave edilerek öğütülür. Değirmende katı madde yüzdesi % 65-70 dir. Çamurun reolojik davranışına göre en uygun katı maddeyi sağlamak için kullanılacak deflokülant miktarı önceden belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Monoperox üretim akım şeması (Escardino 1993)

Bilyalı değirmen içinde çarpma ve kayma kuvvetleriyle öğütme sağlanır. Şekil 4.2'de bilyalı değirmenlerde tanelerin hareketi görülmektedir (22).



Şekil 4.2. Bilyalı değirmenlerde öğütmenin şematik olarak gösterilişi (Reed 1989)

İdeal öğütme için toplar duvarı tırmanır ve aşağı düşer. Eğer kritik dönme hızının üzerindeyse merkez kaç kuvveti ile bilyalar duvara yapışır. Kritik dönme hızı (4-1) ve (4-2) nolu eşitlik ile tanımlanır.

$$V_c = \frac{52,4}{\sqrt{r}} \quad (4-1)$$

$$V = 0,6-0,2 V_c \quad (4-2)$$

$V_c$  = Kritik hız

$r$  = değirmenin yarıçapı

$V$  = değirmenin sahip olması gereken hız

Öğütmede değirmenin % 50 si bilya ile % 30-40'ı çamur ile doldurulur. Bilya kütlesi yüksek ise kinetik enerjisi ( $E=1/2mv^2$ ) büyük olacağından yaratacağı çarpma gücü yüksek olur. Dolayısıyla hızlı öğütme sağlanır. Bunun yanında bilya boyutu küçük ise birim hacme düşen temas sayısı artacaktır. En doğru seçim farklı boyutlarda bilya kullanmaktır. Fayans üretiminde çamur değirmenlerinde filint taşları kullanılmaktadır. Değirmen cidarı ise sileks taşları ile örülerek kaplanır (15).

Son yıllarda lastik astarlı değirmenler yaygınlaşmaktadır. Lastik astarlı değirmende aşınma oranı ve gürültü daha azdır. Değirmenin iç hacmi , yani kapasitesi daha fazladır. Ancak Türkiye’de sileks fiyatı ucuz olduğu için çoğunlukta sileks astar tercih edilir (21).

Öğütme performansında en önemli parametre şarjın viskozitesidir. Eğer viskozite çok yüksek olursa çarpma ve kayma hızı azalır, öğütme geç olur. Çok düşük viskozite sprey kurutucuda büyük aglomere oluşumuna neden olabilir. Genelde öğütme sıcaklığında çamurun viskozitesi 500-2000 cp arasındadır (22).

Öğütmede birincil partiküllerin tane boyutu çok önemlidir. İyi partikül etkileşimi için 63µm elekte kabakum % 3-5 olmalıdır. Bu durumda karbonatların ve kil minerallerindeki alümina silikatların tamamen öğütüldüğünden emin olunur. Partikül boyutu küçüldüğü zaman spesifik yüzey alanı artacağından komponentlerin etkinliği artar. Bunun yanında eğer kabakum yüzdesi belirli bir limit üzerinde tutulmayıp çok düşük olursa uygun basınç ve nem içeriğinde preslemede yeterli sıkışma sağlanmaz. Bu da pişme küçülmesini artırır ve mukavemet düşer.

Eğer kabakum yüzdesi çok büyük olursa, pişmiş üründe kusurlar oluşur. Kaba partiküllerin özellikle  $\text{CaCO}_3$  'ın reaksiyona girmesi zorlaşacağından sinterleme geçikebilir. Sinterlemenin geçikmesi durumunda, sırnın ergime noktasını geçtikten sonra halâ gaz çıkışı devam ediyor demektir. Bu da sırda poroziteye, hata kaynamaya yol açar.

175 µm elektteki kabakum yüzdesinin % 0,8'in üzerinde olmaması tavsiye edilir. Aksi halde yine aynı sebepten karbonat partikülleri 125 µm üzerinde olduğu zaman iğne deliğine ve poroziteye yol açar. 125 µm tane boyutundaki karbonat partikülleri sır eridikten sonra bozunmaya başlar.

Çamur 125 veya 200 µm elekten geçirilerek kaba tanelerenin uzaklaşmasını sağlanır. Daha sonra çamur sprey kurutucuya beslenir. Burada presleme işleminin performansı için irili ufaklı aglomereler elde edilir (8).

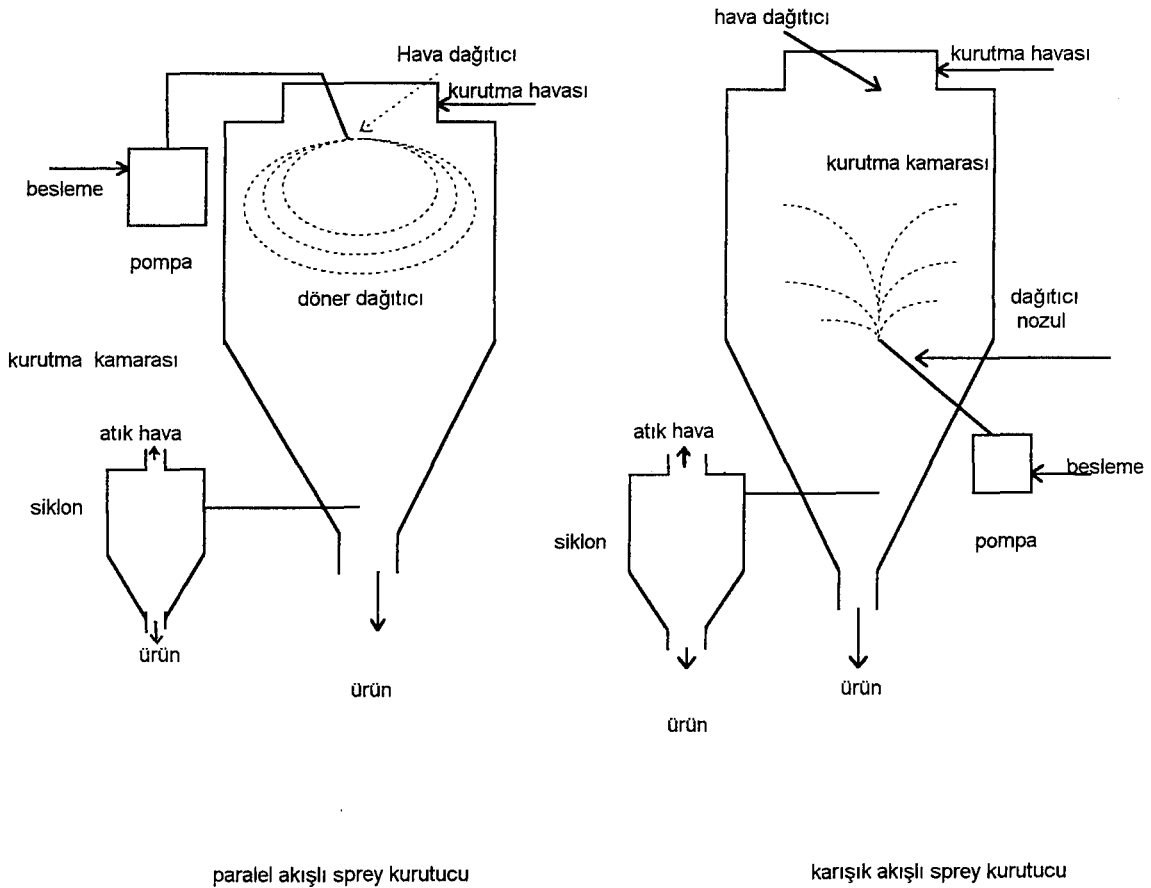
#### 4.1.3. Granül hazırlama

Sprey-kurutucu sıcak ortama spreylenen çamurun sıcak hava ile karşılaştığında ani kurutulması ve küresel granüller haline getirilmesi prosesidir. Değirmenlerde öğütüldükten sonra elenen ve manyetik ayırıcılardan geçirilen çamur

pompalar vasıtasıyla sprey kurutucu içine beslenir. İnce bir kanal boyunca hızlandırılan çamur, nozulda basınçla fışkırarak çıkarken ince damlalar şeklinde dağılır.

Şekil 4.3'de görülen farklı şekilde dizayn edilmiş iki tür sprey kurutucu vardır. İlki merkezkaç kuvvetiyle püskürtülen paralel akışlı, ikincisi nozullar ile püskürtülen karışık akışlı sprey kurutucudur.

Düşünülen buharlaşma, kurutma işleminin ilk birkaç saniyesinde olmak zorundadır. Aksi takdirde aglomere olmuş büyük granüller oluşur ve aglomereler kurutucu duvarlarına yapışır. Kurutucu ortamının 400 - 600 °C de tutulması ile bu ani kurutma sağlanabilir. Spreylenen çamur kurutma ortamında iyi dağıldığından ve yüksek spesifik yüzey alanına sahip olduğundan kurutma etkinliği oldukça fazladır. Kurutucu iyi kontrol edildiğinde 20 µm nın üzerinde granüller elde edilir. Bu da presleme işleminde akış ve sıkıştırmanın etkin olmasını sağlar (22).



Üretilen granüller spray kurutucunun altından hareketli bir bant üzerine düşer ve bant vasıtasıyla silolara beslenir. Burada nem içeriği % 5-7 olmalıdır. Endüstriyel spray kurutucuların kapasitesi 10-100 kg/h arasındadır. Isı , genellikle fuel-oil veya doğal gazdan sağlanır. Bazı seramik endüstrilerinde bünye hazırlama prosesleri Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Seramik endüstrisinde kullanılan bünye hazırlama süreçleri  
(Fugmann 1992)

Bünye tipi	Süreç	Uygulama Alanı
Plastik bünye	Filter pres	Sofra eşyası ve elektriksel porselen
Döküm Çamuru	Filter pres ve karıştırma	Sofra eşyası ve sıhhi gereçler
Granül Masse	Filter pres, kurutma ve öğütme	Fayans ve Elektriksel Porselen
	Sprey kurutucu	Fayans
	Kuru öğütme ve nemlendirirerek granül hale getirme	Fayans Elektriksel porselen

#### 4.1.4. Presleme

Karoların şekillendirilmesi hidrolik preslerde kuru presleme olarak yapılır. Şekillendirilen ürünlerin yoğunluğu ve boyutsal kararlılığı fazladır. Burada boyutsal kararlılıktan kasıt, karonun piştikten sonra her yerinde eşit miktarda küçülme olması demektir. Bu da şekillendirilen karonun her yerine homojen basınç dağılımı yapmakla sağlanır. Bu amaçla son yıllarda izostatik presler geliştirilmiştir.

Preslemenin aşamaları:

- 1- Kalıbın doldurulması
- 2- Ön presleme

- 3- İlk preslemeden sonra granüller arasındaki havanın çıkışı
- 4- İkinci sıkıştırma ile gerçek presleme
- 5- Karonun kalıptan çıkarılmasıdır.

Serbest akan granüller sürgü yardımıyla kalıba doldurulur. Doldurmadan sonra alt kalıp 2 mm aşağıya düşer. Böylece kalıptaki masse seviyesi kalıp sınırının altına iner ve kenarlardan granüllerin çıkması önlenir. Silindirin hareketiyle üretilen basınç ile ön presleme yapılır. Bu arada tanelerin ayrışması ve plastik deformasyon başlar. Bu aşamada granüllerin arasındaki boşluklarda kalan hava kalıp ile bıçak arasındaki aralıklardan dışarı çıkar. Bu yüzden bıçaklara belirli bir açı verilmiştir. Yığınsal yoğunluğa ve granüllerin davranışına göre ön presleme bir kez daha tekrar edilebilir. Ardından çok hızlı bir şekilde asıl presleme yapılır. Asıl basınç uygulandığında tüm birincil partiküller ayrışma ve plastik deformasyona uğramışlardır. Genellikle uygulanan özgül basınç 30-40 N/mm<sup>2</sup> dir. Gerçek preslemeden sonra basınç bütünü bırakılmamalıdır. Çünkü preslenen karonun üzerinden ani olarak basınç kalktığında, karo elastik büyümeye maruz kalır. Bu büyüme sonucunda çatlaklar ve kenarlarda ufalanmalar oluşabilir. Bu aşamaya ejeksiyon denir. Ejeksiyon tamamlandığında alt kalıp yukarıya kalkar. Preslenmiş karonun dışarı sürülmesiyle, alt kalıp aşağıya iner ve sonraki besleme gerçekleşir.

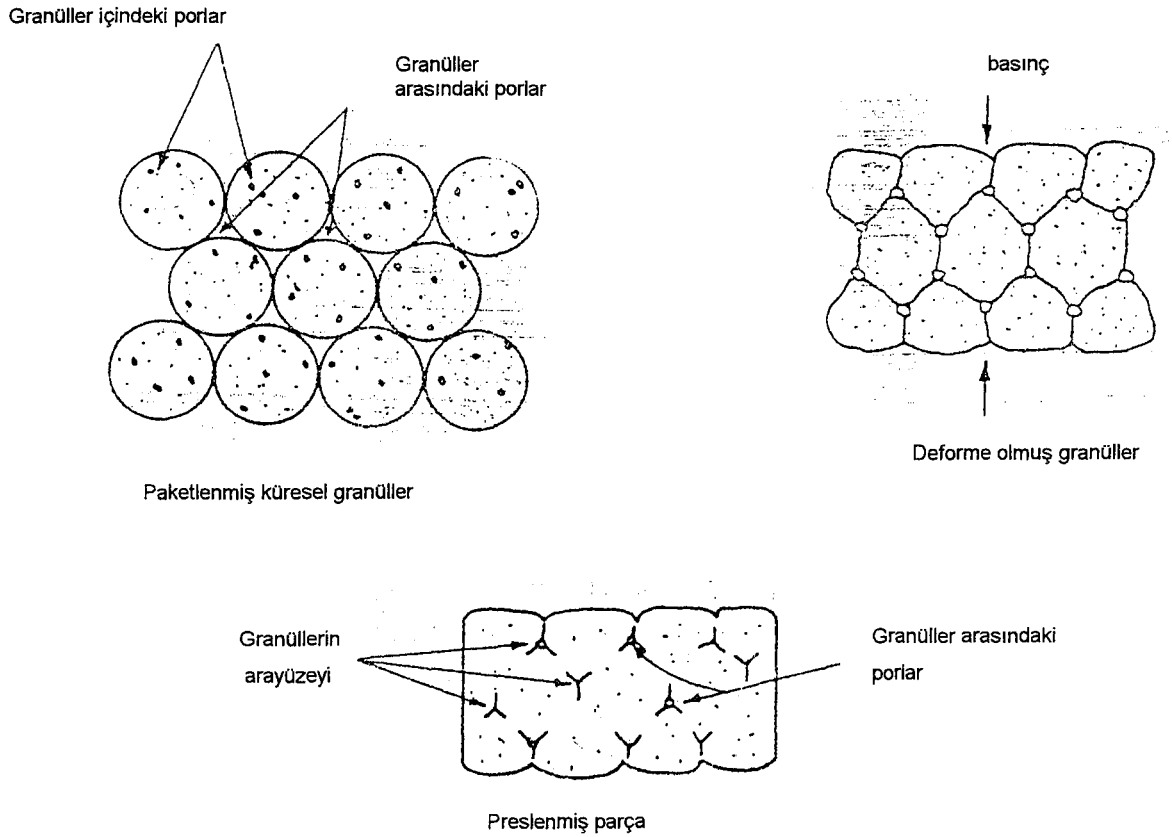
Sıkıştırma sırasında uygulanan basınç granülleri oluşturan partiküllerin birbiri üzerinde kaymasını, yeniden düzenlenmesini veya kırılmasını sağlar. Granül deformasyonu olarak adlandırılan bu süreç sonucunda granüllerin şekli değişir ve por boyut dağılımı düzenlenerek Şekil 4.4'de görüldüğü gibi daha yoğun bir paketlenme olur. Bu sayede porozite azalarak partiküller arası temas artar (22).

Preslemeden gelebilecek hatalar:

- Gönyeden sapma ; Homojen olarak presleme yapılmadıysa karonun her yerindeki pişme küçülmesi eşit değildir.
- Tabakalanma ; Presleme sırasında granüller arasında hava kaldıysa karo havalı olarak basılır. Bunun ana sebebi granül boyutu, şekli ve nem içeriğidir.
- Çatlaklar, Fazla basınç uygulandığında veya ejeksiyon sırasında basıncın ani saliverilmesiyle oluşur.



- Kirlilik, lekelenme, Bunlar ham karoda gözlenebildiği gibi kurutma ve pişirmeden sonra da görülebilir.
  - Yüzey pürüzlülüğü ; Daha çok kalıbın aşınması ile ilgilidir.
  - Köşe ve kenarlarda ufalanma ; Ejeksiyon sırasında oluşabilir.
  - Deformasyon ; Kalıp dizaynının yanlış olmasından kaynaklanır
- (10).



Şekil 4.4. Presleme aşamasında granül deformasyonu (Reed 1989)

Presleme etkinliği için en önemli parametreler granül boyutu, şekli ve rutubetidir. En uygun granül boyut dağılımı Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kuru preslemede istenen granül boyut dağılımı  
(Fugmann 1992)

Granül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	% Miktar
> 1000	< 2
1000-630	<5
630-400	<5
400-250	30-40
250-160	30-40
160-100	15-20
100-63	< 5
< 63	< 2

Uygun nem içeriği ise % 5-7 arasında olmalıdır. Bu sayede presleme esnasında gerekli plastik deformasyon oluşabilir. Rutubet çok düşük olursa granül deformasyonunu oluşturmak için yaklaşık iki katı fazla basınç uygulamak gerekir. Uygun nem içeriği sağlanırsa oluşabilecek tozular da önlenir.

#### 4.1.5. Kurutma

Preslenen karoların rutubeti % 5-7 civarındadır. Bu rutubetteki karonun mukavemetinin düşük olmasından dolayı sırlamadan önce bir kurutmaya tabi tutulmalıdır. Mukavemet kazanmasından başka, sırlama sırasında oluşan ham deformasyonun giderilmesi, sırn kurumasındaki problemlerden dolayı karo kurutulup, sırlama hattına 70-90 °C arasındaki sıcaklıkta verilmelidir.

Karo üretiminde yaygın olarak dikey kurutucular kullanılmaktadır. Bunlarda raflara dizilen karolar dikey kurutucu içinde bir tur dönerek ilk pozisyonuna gelir ve buradan sırlama hattına verilir.

Kurutma işlemi yavaş ve homojen olarak yapılmalıdır. Aksi takdirde yine karoda deformasyon ve çatlaklar oluşabilir (10).

#### 4.1.6. Sırlama işlemi ve sırlar

Karolar kurutucuda 70 °C 'nın üzerinde sıcaklıklarda ayrılırlar. Sırlama hattında fayans yüzeyi engob ve sır ile kaplanır. Monoporozda engob kullanılmasının başlıca nedeni ham karo bünyesi ile sırnın reaksiyonunu önlemek ve bünyenin rengini kapatmaktır. Ayrıca engobun ısıl genişleme katsayısı, bünye ve sırnın ısıl genişleme katsayıları arasında bir değer olduğundan bünye ve sır arasında gerekli uyumu sağlayacak bir tabaka oluşturur.

Uygulamada engob için disk veya kampana tercih edilirken, duvar karosunda sırlama çoğunlukla kampana ile yapılır. Kampana ile sırlama diske göre daha avantajlıdır. Disk ile yapılan uygulamada, düşük yoğunluktaki malzeme fayans yüzeyine damlacıklar şeklinde atıldığından yüzeyde portakal kabuğu şeklinde istenmeyen bir görüntü oluşur. Bunun yanında kampana ile sırlanan ürünlerde sır porozitesi daha düşüktür. Kampanada kullanılan sırnın yoğunluğu 1800-1900 gr/lt arasındadır. Bu yoğunluk aralığında çalışıldığında uygulama sırasında oluşan hava kabarcıkları yok olur. Ayrıca fayans üzerine düşen sırdaki su içeriği az, kuru madde yüzdesi fazla olduğundan ham deformasyon azalır. Fakat yüksek yoğunlukta çalışmak sırda reolojik problemler doğuracağından sıra deflokülant ilavesi yapılır (7).

Akıştırıcı ve bağlayıcılar bir taraftan sırnın reolojik özelliklerini düzenlerken, diğer taraftan sır tabakasınının ham bünyeye bağlanmasını sağlarlar. Bağlayıcı olarak genellikle karboksi metil selüloz ( CMC ) , akıştırmacı olarak hekzametafosfat kullanılır (10).

Toprak alkali oksitlerini fazla miktarda içeren firitlerde, suda çözünürlüğü sağlamak için daha az elektrolit ilave edilmelidir. Sulu karışımda bu katyonlar flocculant gibi davranarak viskoziteyi artırır. Fakat çözünen bu katyonların bağlayıcılarla reaksiyona girmesiyle sırnın viskozitesi ve bağlama gücü azalır. Bu iki etki birleştiğinde sırnın reolojik davranışları değişir. Bundan dolayı sır yeni hazırlandığında çökmeden kullanılabilirken, kısa bir süre içinde çökmeye başlar ve bağlayıcılık özelliği de kaybolur (8).

Tek pişirim duvar karosu için sırları oluşturan ana bileşen firittir. Bazen sır hazırlanırken fritle beraber başka kristalin hammaddeler de ilave edilir. Örneğin kaolen yüzdürücü özelliğinden dolayı çökmeyi önler. Zirkonyum silikat opaklığı,  $Al_2O_3$  matlığı artırmak için kullanılır. Teknik özelliklerle ilgi düzenlemeler firit kompozisyonunda yapılır. Sır için en önemli teknik özellik, çatlama direnci ( harkot, otoklav ), asit ve baz dayanımıdır. İlk özellik sır ve masse arasındaki ısı genleşme katsayısının uyumu ile ilgilidir. Bu özellikler hammadde oranlarındaki değişikliklerle iyileştirilebilir (10).

Monoporoz sırnın diğer önemli özelliği de yüksek sıcaklıkta (  $T > 950$  °C) ergimeye başlamasıdır. Sır ergimeye başladığında bünye gaz çıkışını tamamlamış olmalıdır. Aksi halde sır tabakası poroz olur. 950 °C de ergimeye başlayan sır 1100 °C civarında minumun viskoziteyi yakalamış olmalıdır. Maksimum sıcaklık 1150 °C olduğundan 1100-1150 °C arasında , sırlama işlemi esnasında oluşabilen özellikle iğne deliği gibi yüzey hatalarını kapatmaya vakti olması gerekir.

Genellikle kullanılan sırnın termal özellikleri şöyledir.

- lineer genleşme katsayısı  $\alpha_{-300} = 60-70 \times 10^{-7} C^{-1}$
- yumuşama sıcaklığı 850-900 °C
- ergime başlangıcı 950-980 °C
- ergime noktası 1100-1130 °C (8)

#### 4.1.6.1. Sır için tavsiye edilen bileşimler

Sırlarda yüksek sıcaklıkta ergimeyi sağlamak için erime noktasını düşüren alkalilerin miktarı nispeten daha azdır. Bu nedenle bor ve kurşun içerikleri de oldukça düşüktür. Alkali oksitlerin (  $Na_2O$ ,  $K_2O$  ) yerini, erimeyi yüksek sıcaklıkta başlatıp hızla geliştiren toprak alkali oksitleri (  $CaO$ ,  $MgO$  ) ve  $ZnO$  alır.

Beyaz opak sırlarda örtücülüğü zirkonyum silikat sağlar. Mat sırlar da yüksek miktarda zirkonyum silikat ve  $Al_2O_3$  içerirler. Zirkonyum erimiş sırn viskozitesini arttırmaya eğilimlidir. Bu etkiyi önlemek için bir kısmı  $ZnO$  ile yer değiştirir.

#### 4.1.6.2. Dekoratif uygulamalar

Tamamen estetik amaçlar için yapılan dekoratif uygulamalar çok çeşitlidir. En yaygın kullanılan uygulama elek baskıdır. En fazla 4 veya 5 elek baskı yapılabilir.

Bu yöntemde uygulanacak desen önce asetat filme hazırlanır. Uygun elek bezi çerçeveye gerilir. Sonra deliklerin tamamı emülsiyon sürülerek kapatılır. Daha sonra hazırlanan film eleğe pozlanır. Pozlama sırasında filmdeki karanlık yerlerden ışık geçmesi sağlanarak filmdeki desen eleğe aktarılır. Böylece sadece deseni oluşturan yerlerdeki delikler açılmış olur. Uygulama sırasında raglenin elek üzerinde ileri-geri hareketiyle elek üzerindeki boya açık deliklerden fayans yüzeyine aktarılarak desen oluşumu sağlanır. Değişik desen ve renklerin kullanımıyla çok farklı görünümde fayanslar yapılabilir. Bundan başka füme, kuru frit uygulaması gibi daha değişik uygulamalar yapılabilir (10).

#### 4.1.7. Sırlanmış yarı mamülün kurutulması ve ve pişirilmesi

Sırlama sırasında fayansın ortamdan aldığı nemi atması için kurutma yapılmalıdır. Sırlama sonrasında arabalara beslenen ham karolar arabalarla tünel kurutuculara beslenir. Burada kurutma süresi 3-4 saattir. Kurutucunun ısıtılması fırının soğutma bölgesinden emilen sıcak hava ile yapılır.

Monoporoz pişirimi tek veya iki katlı roller fırınlarda yapılmaktadır. Bu fırınlarda karolar tek sıra halinde rollerin dönmesiyle taşınır. Pişme süresi yaklaşık 40-60 dakikadır.

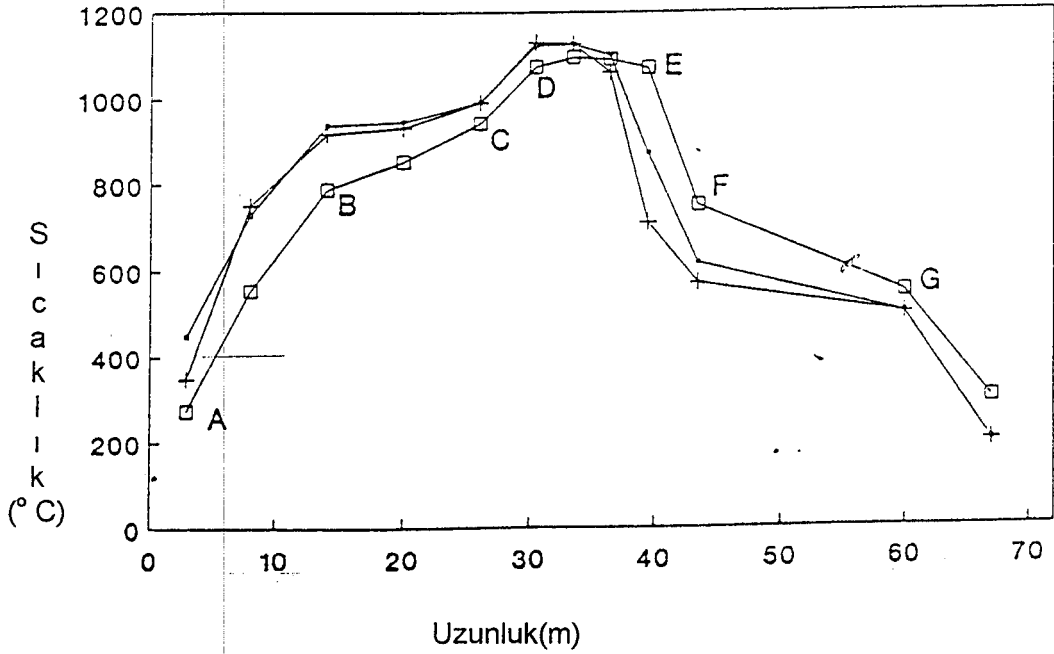
##### 4.1.7.1. Pişme süreci

Pişme esnasında bir seri fiziksel ve kimyasal değişiklikler olur. Tipik bir pişme çevrimi Şekil 4.5' de gösterilmiştir.

Pişme rejimi temelde şekilde gösterildiği gibidir. Ancak kullanılan hammaddelere, ürün özelliklerine, hatta kullanılan sırn cinsine göre değişebilir.

1 ve 2 nolu eğrilerin çizildiği sıcaklık verileri direkt olarak rollerin altındaki üstündeki termokapulların okuduğu değerlerdir. Karonun gerçek sıcaklık değişimi ise yaklaşık olarak 3 nolu eğrideki gibidir.

AB arasındaki ilk adım ön ısıtma bölgesidir. Fırın girişinde ısıtma eğrisi dik olmamalıdır. Sırlama esnasında veya çevreden adsorbe edilen nemin uzaklaşmasına izin vermek için ön ısıtma yavaş olmalıdır.



1 nolu eğri

2 nolu eğri

3 nolu eğri

• karo üstü sıcaklığı

+karo altı sıcaklığı

□ ürün sıcaklığı

Şekil 4.5. Pişme çevrimi (Escardino 1993)

BE arasında tüm fiziksel ve kimyasal geçişler sağlanır. Monoporoz duvar karosu üretiminde en önemli süreç BC arasındadır. Bu periyod boyunca karo sıcaklığı 800 - 900 °C arasında tutulmalıdır. Bu sıcaklıkta karbonatların bozunması sonucu MgO ve CaO oluşumu gerçekleşir. Ve bu aşamada CO<sub>2</sub> çıkışı olur. Bu yüzden bu bölgede sıcaklık artışı yavaş ilerler, dolayısıyla eğimi en düşük olan bölge BC

arasıdır. Monoporoz bünyesinde mutlaka karbonatlar kullanılır. Bünyedeki bu karbonat varlığı göz önünde bulundurulmalıdır.

900 °C ye gelmeden önce tüm gaz çıkışının bitmiş olması gerekir. Sır tabakası erimeye başladığında gaz çıkışı devam ediyorsa sırda yüzey hataları, özellikle iğne deliği, oluşur. Pişme süresi çok kısa olduğu zamanda CO<sub>2</sub> çıkışından dolayı kabarcık ve kraterler oluşabilir.

Yine bu sıcaklık aralığında kil minerallerinin bozulmasıyla oluşan amorf fazların kısmi sinterleşmesinin sonucunda bünyede küçülme olur. Kompozisyonda yüksek CaCO<sub>3</sub> içeriği küçülmeyi artırır. Fakat bu plastik olmayan maddelerin ilavesiyle azaltılabilir.

Tanımlanan reaksiyonlar bittiğinde rejim eğrisi CD boyunca maksimum sıcaklığa kadar ilerleyebilir. Bu periyod esnasında daha önce karbonatların ayrışmasıyla oluşan toprak alkali oksitleri , kil minerallerinden oluşan amorf fazlarla birleşerek magnezyum ve kalsiyum alümina silikatlar gibi kararlı kristalin fazları oluştururlar. Bundan başka diğer fazların sinterleşmesi devam eder. Bu periyot kristalin faz oluşumunun tamamen gelişmesi için yeterince büyük olmalıdır. Boyutsal kararlığın sağlanması ve istenilen poroziteye ulaşmak bu arada kontrol edilir. Eğer bu fazlar tamamlanmamış olursa, ürün hidrate olabilecek ara fazları içerebilir. Bunun sonucunda ürün kullanım sırasında ortam nemine veya yerleştirirken kullanılan malzemelerle reaksiyona girebilir. Böylece sır tabakasının çatlamasına neden olan bünye genişlemeleri olur. DE arasında bünye tamamen sinterleşmiştir ve sır erimiştir. Sırın tamamen eriyebilmesi ve bünye üzerinde porozitesiz ve düzgün sır tabakası oluşması için bu sıcaklıkta yeterince kalınmalıdır.

EG aralığı soğutma aşamasıdır. Soğutma üç aşamada gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıkta hızlı soğutma, arada yavaş soğutma ve en son hızlı soğutma adımlarıdır. Soğutmada 600 °C ye kadar yüksek termal şok direncine sahip olduğundan karo içinde üretilen yüksek sıcaklık değişimi karşısında çatlama olmadan hızlı soğutma yapılabilir. Bu yüzden soğutma EF arasında ortama hava üflenmesiyle ısı iletimi sayesinde hızlı soğutma gerçekleşir. F noktasından sonra 573 °C ye gelindiğinde α kuvarsın β kuvarsa allotropik dönüşümünden dolayı termal şok direnci düşer. Ve soğutma hızını düşürmek gerekir. Bu kısa sıcaklık aralığında karonun soğutulması hava üflemezsizin doğal iletim ve yayılım ile olur. Bu noktanın ötesinde karo tekrar termal şok direncine sahip olur, bundan sonra yine hızlı soğutma yapılabilir.

#### 4.1.7.2. Pişme aşamasında meydana gelen hatalar

Monopoz üretimin fırından gelebilecek en önemli hatalar sırn çatlaması ve deformasyondur. Bu hataların ikisinin de başlıca sebebi sır ve bünyenin ısısal genleşme katsayıları arasındaki farktan kaynaklanır.

Bu yüzden kullanılan hammaddelerin termal davranışlarının çok iyi bilinmek gerekir. Ayrıca bu hataların oluşumu ilk soğutma aşamasında 750 °C nin üzerindeki sıcaklıklarla gerçekleştiğinden buradaki süreyle de ayarlanabilir.

Bünyenin genleşme katsayısı kuvars ve karbonat içeriğinin fazla olmasından dolayı yüksektir. Bu değer 70-80 ,  $10^{-7}$ . °C<sup>-1</sup> arasında olmalıdır.

Pişmede olabilen diğer hatalar çok az miktarda boyutsal kararsızlık , deformasyon ve gönyeden sapma olabilir. Bu hataların başlıca sebebi, ön ısıtma bölgesinde ve yüksek sıcaklıklarda malzemenin küçülmesindeki değişimlerdir. Bu tip hataların müsaade edildiği aralık TS-EN standartlarında B3 grubu için belirtilmiştir (8).



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Kullanılan Malzemeler

Monoporoz üretiminde kullanılan hammaddeler ve bunların kimyasal analizleri Çizelge 5.1'de, ham perlitin kimyasal analizi Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Kullanılan hammaddeler ve kimyasal analizleri

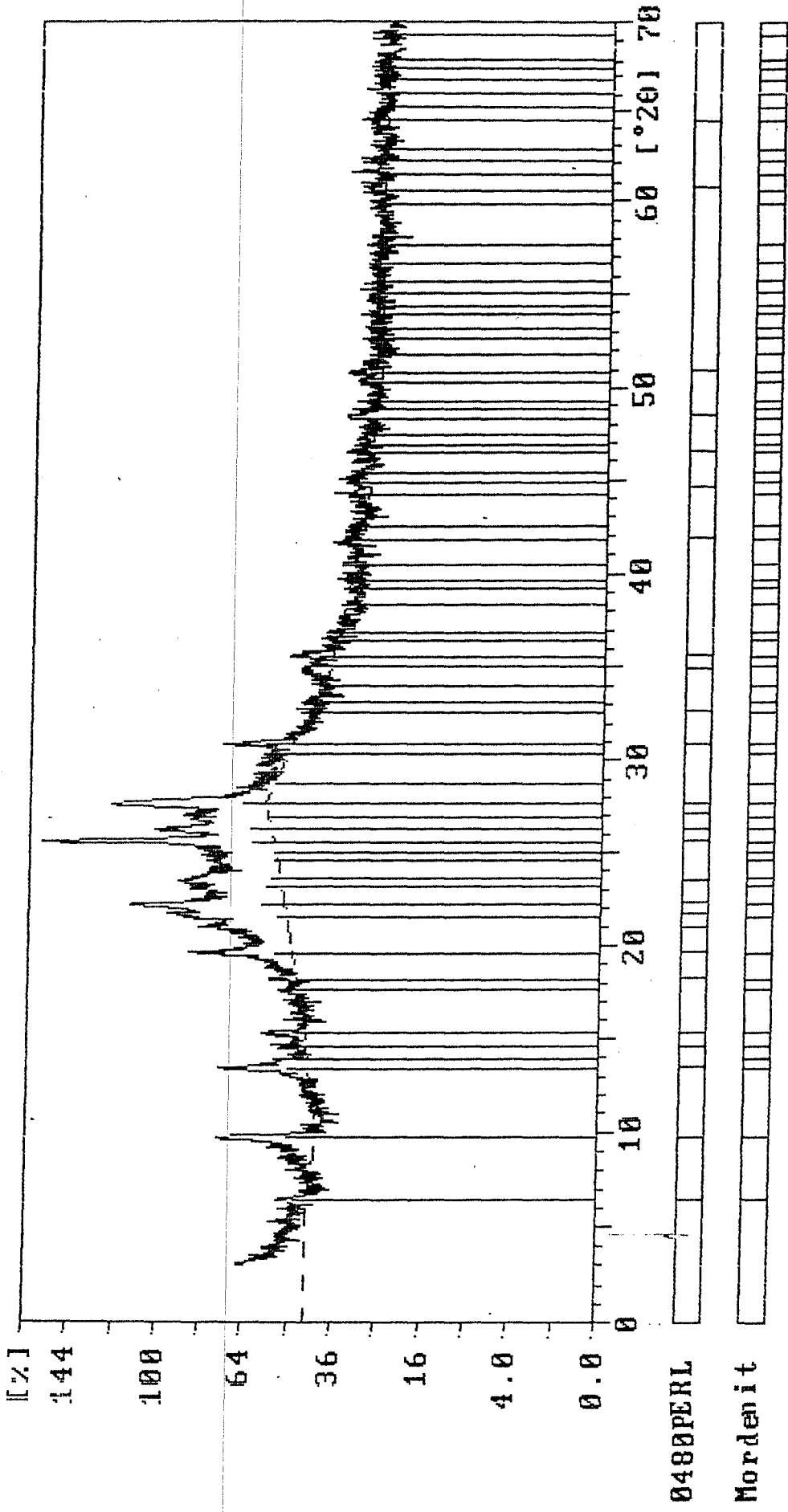
Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K.Z.	SO <sub>4</sub>
Mermer	1,39	0,70	0,13	0,13	52,89	1,72	0,04	0,04	42,45	-
Dolomit	1,08	0,80	0,03	0,02	30,49	20,9	0,13	0,04	46,00	-
Kaolen	72,22	17,53	0,41	0,81	0,28	0,30	0,64	1,34	6,10	-
Kil	56,69	26,74	1,17	2,70	0,18	0,60	0,08	2,32	9,38	0,24
Bisk. kırık	63,85	20,70	0,78	1,49	8,56	1,27	0,47	1,77	0,67	-

Çizelge 5.2. Perlitin kimyasal analizi

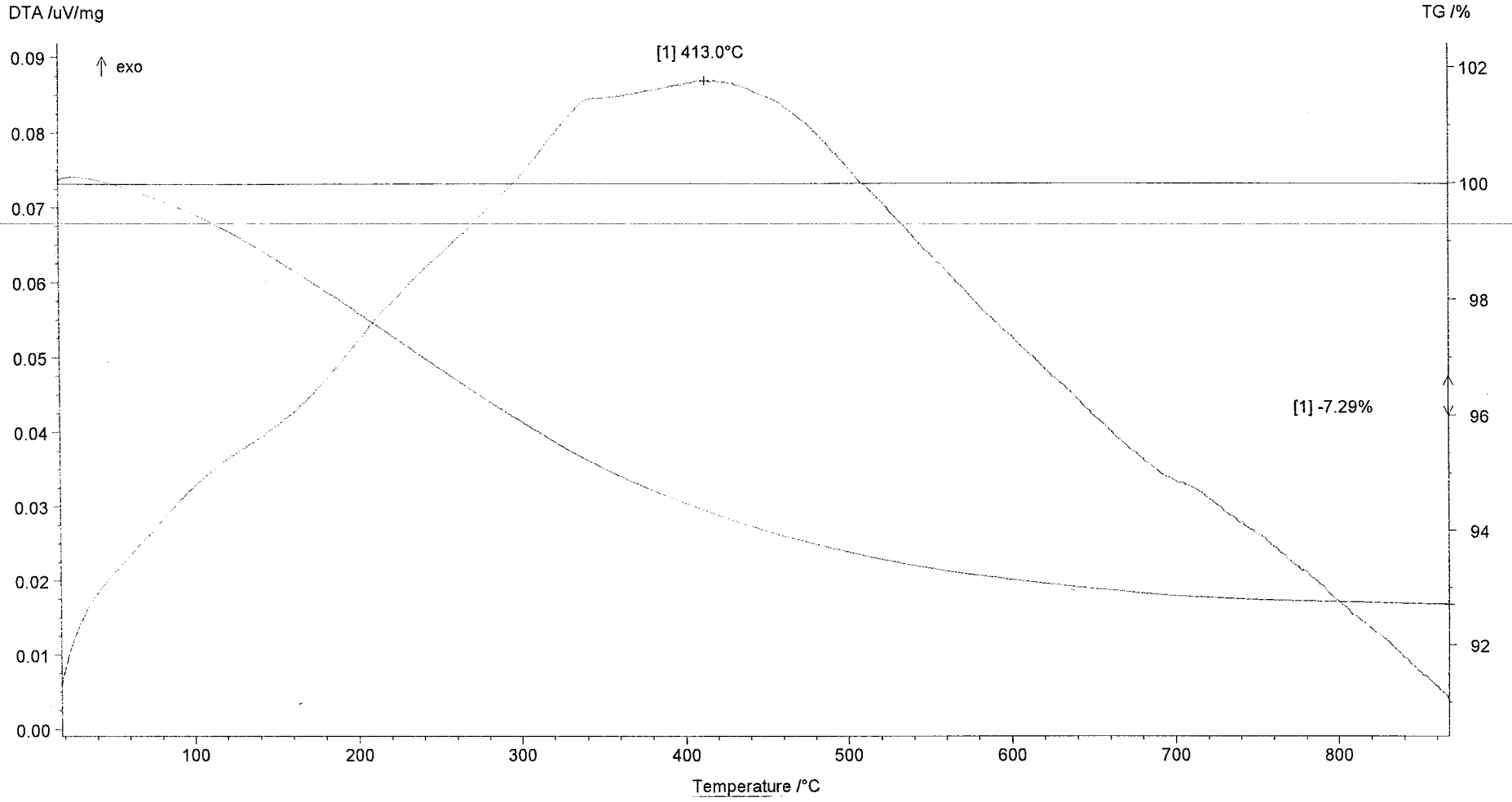
Madde	% Ağırlık
SiO <sub>2</sub>	70,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,18
TiO <sub>2</sub>	0,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84
CaO	1,40
MgO	0,21
Na <sub>2</sub> O	2,39
K <sub>2</sub> O	5,39
K.Z.	5,79
<b>Toplam</b>	<b>99,82</b>
SO <sub>4</sub>	0,06

Çalışmalarda kullanılan ham perlitin 0,63 µm elek altı numunesinden piknometre ile ölçülen yoğunluğu 2173 kg/m<sup>3</sup> tür.

Kullanılan perlitin X-ışınları difraktometresi sonucu Şekil 5.1 'de, DTA değişimi Şekil 5.2' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Perlitin X-ışınları difraktometresi



Şekil 5.2. Perlitin DTA değişimi

## 5.2. Kullanılan Cihazlar

Öğütme ve çamur hazırlama aşamasında 50 kg kapasiteli kil açıcı, 100 ve 25 kg kapasiteli iki adet çamur değirmeni 250  $\mu\text{m}$ 'lik çamur eleği kullanılmıştır. Öğütülen çamurlar 550°C'ye çıkan laboratuvar tipi SACMI spreylendirici kurutucuda granül hale getirilmiştir. Şekillendirme için DORST KN-90 pres, NANNETTI otomatik el presi kullanılmış, 250°C'ye çıkabilen HERAEUS etüvde kurutulmuş ve CARBOLITE test fırınında ile SITI F1N üretim fırınında pişirilmiştir.

Bünyenin tane boyut dağılımı RETSCH elek seti ile belirlenmiş, kuruma ve pişme küçülmelerinin tesbiti için kumpasla yapılmıştır.

Çalışmanın diğer aşamalarında NETCHZ 402 dilatometre, PHILIPS PV 3710 X-ışınları difraktometresi, NETZCH STA 409 DTA cihazı ve QUANTO CHROME multi piknometre kullanılmıştır.

## 5.3. Numune Hazırlama

Çalışmalarda monoporoz bünyesinden herhangi bir hammadde çıkarılmaksızın %0, % 5, %10, %15, %20 oranlarında ham perlit ilave edilerek 5 ayrı bünye hazırlanmıştır. Bunlar sırasıyla A0, A1, A2, A3, A4 olarak kodlanmıştır. Hazırlanan her bir numune üzerinde fiziksel testler yapılarak bünyeye etkileri incelenmiş ve tüm bileşimler perlitsiz bünye A0 ile karşılaştırılmıştır. Monoporoz bünyesi Çizelge 5.3'de görülmektedir.

Hazırlanan bünyelerden 15x15  $\text{cm}^2$  ve 4x8  $\text{cm}^2$  boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. 15x15  $\text{cm}^2$  numuneler üretim şartlarında şekillendirilmiş ve üretim hattında pişirilmiştir. Diğer numuneler ise sıcaklık ve bileşimdeki değişimin muamele ve pişme küçülmesine etkisini gözleyebilmek amacıyla 4x8  $\text{cm}^2$  boyutta şekillendirilmiş, ve laboratuvarında 1000, 1075 ve 1150°C sıcaklıklarda pişirilerek testlere hazırlanmıştır.

Çizelge 5.3. Monoporoz bünyesi

Hammadde	% Ağırlık
Mermer	10,75
Dolomit	2,00
Kaolen	40,75
Kil	40,00
Bisküvi kırığı	6,50

#### 5.4. Yapılan Deneyler

##### 5.4.1. Öğütme ve çamur hazırlama

Kimyasal bileşimi Çizelge 5.2'de görülen hammaddeler sert, orta sert ve kil olmak üzere üç guruptur. Killer 1620-1630 gr/lt yoğunlukta karıştırıcıda açılmış, sert -1 ile belirtilen mermer ve dolomit 25 kg'lık değirmende, sert-2 ile belirtilen kaolen, perlit ve bisküvi kırıkları 100 kg'lık bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütme esnasında %0,4 cam suyu, %0,2 sodyum tripolifosfat elektrolit olarak ilave edilmiştir. Daha sonra hepsi 100 kg'lık değirmende birleştirilerek homojenleştirilmiştir. Karışımın 63 µm elek

ile belirlenen kaba kumu %2 - % 2,5 civarındadır. % kaba kum (5-1) eşitliğinde verilen formül ile hesaplanabilir.

$$\% \text{ Kaba kum} = \frac{100 \times B}{M} \quad (5-1)$$

B= 100 gr çamurun 63 µm elek bakiyesi (gr)

M= 100 gr çamurun kuru ağırlığı (gr)

Hazırlanan çamurlar 250 µm elekten geçirilerek kullanılmışlardır.

#### 5.4.2. Granül hazırlama

Hazırlanan beş ayrı bileşimdeki bünye 1670-1700 gr/lt yoğunlukta sprej kurutucuda granül hale getirilmiştir.

#### 5.4.3. Elek analizi

Sprej kurutucuda granül hale getirilen bünyeye kuru elek analizi uygulanmıştır. Elek analizi yapılırken granül bünyeden 100 gr numune tartılıp RETSCH elek setine konmuş, 80 devir/sn 'ye ayarlayıp 30 dakika çalıştırılmıştır. 500, 355, 250, 150, 63 µm ve elek altında kalan bakiyeler tartılıp ağırlık yüzdesi cinsinden sonuçlar tesbit edilmiştir.

#### 5.4.4. Şekillendirme

15x15 cm<sup>2</sup> boyuttaki numuneler üretim halen üretim hattında da kullanılan KN-90 preslerde 100 bar'da basılmıştır 4x8 cm<sup>2</sup> boyutlu numuneler NANETTİ otomatik el presinde 30 bar'da şekillendirilmiştir. Şekillendirmede bünye rutubeti %5 civarındadır. Şekillendirilen numuneler etüvde 100°C'de kurulmuştur.

#### 5.4.5. Pişme deneyleri

15x15 cm<sup>2</sup> test numuneri monoporoz üretim fırınında pişirilmiştir. Fırının en yüksek sıcaklığı 1145°C, pişme süresi 48 dakikadır. 4x8 boyuttaki numuneler ise 20°C/dk ısıtma hızıyla Carbolite Furnaces HTC 1400 laboratuvar fırınında 1000, 1075 ve 1150°C sıcaklıklarda 60 dk sürepişirilmiştir.

#### 5.4.6. Fiziksel deneyler

Hazırlanan numunelerin teknik özellikleri incelenirken yapılan fiziksel deneylerde en az 8 adet numunenin ortalaması alınacak şekilde uygulama yapılmıştır.

##### 5.4.6.1. Boyut ölçümü

Hazırlanan numunelerin boyutları kumpas yardımıyla 0,01 hassasiyette ölçülerek kuruma ve pişme küçülmeleri (5-2) ve (5-3) eşitliklerinden hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kuruma küçülmesi} = \frac{\text{Ham boy} - \text{Kuru boy}}{\text{Ham boy}} \quad (5-2)$$

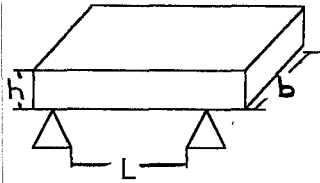
$$\% \text{ Pişme küçülmesi} = \frac{\text{Kuru boy} - \text{Pişmiş boy}}{\text{Kuru boy}} \quad (5-3)$$

##### 5.4.6.2. Mukavemet ölçümü

Boyutları ölçülen ham, kuru ve pişmiş numunelerin mukavemetleri ölçülmüştür. Deney TS-EN-100'e uygun olarak yapılmış ve (5-4) eşitliğinden mukavemet değerleri hesaplanmıştır (29).



$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (5-4)$$



$\sigma$  = Mukavemet (N/mm<sup>2</sup>)

P = Kırılma kuvveti ( N )

L = Ayakların açıklığı ( mm )

b =Kırınım boyu ( mm )

h = Numunenin yüksekliği ( mm )

#### 5.4.6.3. Su emme deneyleri

Su emme testleri TS-EN 99'a göre yapılmaktadır. Mukavemet testi yapılan numuneler tartılır ve sabit tartıma gelene kadar kurutulur. Tartım alıp 2 saat kaynatılır. Soğuması beklenir. Yüzey suyu güderi ile alınarak tekrar tartılır. Tartım sonuçlarından (5-5) eşitliği yardımıyla % su emme hesaplanır (28).

$$\% \text{ Su emme} = \frac{\text{İkinci tartım} - \text{İlk tartım}}{\text{İlk tartım}} \quad (5-5)$$

#### 5.4.6.4. Civa metodu ile yığinsal yoğunluk ölçümü

Ham ve pişmiş numunelerin yığinsal yoğunlukları ölçülmüştür. Ham ve pişmiş numunelerden 1,5 - 2 cm kenar uzunluğunda kare parçalar kesilir. Herbirinin taşıdığı civa miktarının tesbit edilmesiyle yoğunlukları bulunur. Yığinsal yoğunluk (5-6) eşitliği ile tanımlanır.

$$\text{Yığinsal Yoğunluk} = \frac{\text{Kütle}}{(\text{Numunenin hacmi} + \text{Açık por hacmi} + \text{Kapalı por hacmi})} \quad (5-6)$$

#### 5.4.6.5. Piknometre ile görünür yoğunluk ölçümü

Quanto Chrome Multi Piknometre vasıtasıyla pişmiş numunelerin görünür yoğunlukları ölçülmüştür.

Yoğunluğu ölçülecek numuneler  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  olacak şekilde pişirilmiş numunelerden kesilmiştir. Deney yapılırken, kütleleri ölçülen numuneler piknometre içindeki numune kabına yerleştirilir. Cihaz içindeki valflere helyum doldurulur ve bu değer  $\text{cm}^3$  cinsinden P1 olarak kaydedilir. Sonra cihaz çalıştırılarak basınç yardımıyla numune kabının içine helyum gazı basılır. Böylece numunedeki açık porların tamamının helyum ile dolması sağlanır. Kullanılan helyum miktarı da yine  $\text{cm}^3$  cinsinden P2 olarak kaydedilir. (5-7) eşitliğinde yerlerine konularak numunenin hacmi hesaplanır.

$$v = v_c - v_R \times [ ( P1/P2) - 1 ] \quad (5-7)$$

$v$  = Numunenin hacmi ( $\text{cm}^3$ )

$v_c$  = Numune kabının hacmi ( $\text{cm}^3$ )

$v_R$  =Referans hacim ( $\text{cm}^3$ )

P1 =Valflere doldurulan He ( $\text{cm}^3$ )

P2 =Harcanan He ( $\text{cm}^3$ )

Numunenin hacmi hesaplandıktan sonra  $d = m/v$  eşitliğinden yoğunluklar hesaplanarak görünür yoğunluk olarak kaydedilir. Görünür yoğunluk (5-8) eşitliği ile tanımlanır.

$$\text{Görünür Yoğunluk} = \frac{\text{Kütle}}{(\text{Numunenin hacmi} + \text{Kapalı porların hacmi})} \quad (5-8)$$

#### 5.4.6.6. DTA analizleri

Termokimyasal teknikler, sıcaklık değişimi karşısında maddelerde meydana gelen termodinamik değişikliklerin hesaplanması, maddelerin birbirleriyle ve

atmosferle yaptıkları reaksiyonları tesbit etmek için kullanılır. Termogravimetrik analiz (TGA) yaparken ısıtma, soğutma ve izotermal şartlar altında ağırlık değişimi gözlenir.

Diferansiyel termal analizde (DTA) termokupl toz numune ve referans ile temas halindedir. Sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak belirlenen test sıcaklığında veya herhangi bir sıcaklık aralığında numunede meydana gelen endotermik ve ekzotermik geçişleri veya oluşan reaksiyonları belirler. Entalpi değişimleri hesaplandığı zaman bu teknik diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) adını alır. Isıtma ve soğutma hızı kabın, toz numunenin ve referansın ısıl iltkenliği, numunenin tane boyutu, atmosfer şartları önemli parametrelerdir.

Termokimyasal bilgiler ısıtılan malzemelerin kimyasal analizleri , faz ve mikroyapı analizleri ile tamamlandığı zaman su uzaklaşması organik ilavelerin oksidasyonu ve buharlaşması, oluşan reaksiyonlar, camlaşma ve yeniden kristalleşme gibi değişiklikleri tanımak için kullanılır. Termofiziksel analizler ise kalsinasyon esnasında inorganik malzemelerin sinterleşmesini ve faz geçişlerini tanımlamak için kullanılır (22).

DTA analizi 0,63µm elek altı alınarak hazırlanan numuneden yapılmıştır.

#### 5.4.6.7. Dilatometre deneyleri

Seramik karoların lineer genişleme katsayısı tayini TS-EN 103'e göre yapılmaktadır (30). Dilatometre malzemelerin ısıl genişleme katsayılarını tayin eden elektronik kumandalı cihazdır. 50 mm uzunluğunda ve 5 mm çapında hazırlanmış olan numunelerden analiz yapılmaktadır. 10°C/dk hızla ısıtılan deney çubuğunun gösterdiği ısıl değişimler sıcaklığın fonksiyonu olarak grafiğe geçirilir. Bu grafikten faydalanarak istenilen sıcaklıktaki ısıl genişleme katsayısı hesaplanabilir. Malzemenin sıcaklığını 1°C arttırdığımızda meydana gelen uzama miktarı ısıl genişleme katsayısıdır ve  $\alpha_T$  ile gösterilir.

$$\alpha_T = \frac{L_T - L_0}{L_0 \times (T - T_0)} \quad (5-9)$$

$L_0$  = Numunenin ortam sıcaklığındaki boyu

$T_0$  = ortam sıcaklığı

$L_T =$  İstenilen T sıcaklığındaki numunenin  
uzunluğu

Isıl genleşme katsayısı sır ve bünye arasındaki uyum açısından oldukça önemlidir. Sırın seramik bünye üzerinde çatlaksız olarak kalabilmesi için sırın genleşme katsayısının seramik bünyeden küçük olması gerekir. Fakat bu fark çok fazla olmamalıdır.

Ayrıca dilatometre eğrilerinden kil ve kaolenlerin içerikleri hakkında fikir edinilebilir. Killerdeki serbest kuvars miktarı gösterdikleri genleşme ile saptanabilir. Kil içindeki serbest kuvarsın belirlenebilmesi için hammaddeye 1000°C'ye kadar bir ön pişirim uygulanmalıdır. Bunun gerekçesi diğer kil minerallerinin reaksiyonlarını tamamlamaktır. 500 - 600°C arasında ortaya çıkan  $\alpha$ - $\beta$  kuvars dönüşümü nedeniyle ani bir genleşme olur. Bu serbest kuvarsın niteliğini ve miktarını belirler.

Bu çalışmada her bir bileşimdeki bünye pres ile şekillendirildikten sonra belirtildiği şekilde dilatometre çubuğu hazırlanmış ve 10°C/dk ısıtma hızıyla 1200°C'ye kadar gösterdiği ısıl genleşmesi tesbit edilmiştir.

#### 5.4.6.8. X-ışınları difraktometre analizi

Bu yöntemle minerallerin minerolojik bileşimleri ve kristal yapıları, seramik bünyelerin içerdikleri fazlar ve miktarları tesbit edilebilir.

X- ışınları yeterli kinetik enerjiye sahip yüklü parçacığın hızının aniden azalması, artması veya çarptığı malzemedeki elektronları uyarması sonucu meydana gelir. X-ışınları tüpünden çıkan ışınlar kolimatörden geçerek numuneye gelirler. Numuneye gelen X-ışınları her bir kristal düzleminden farklı açılarda yansıma yapacaktır. Sonuçta şiddet pikleri  $2\theta$  difraksiyon açısının fonksiyonu olarak X-ışınları paternini oluşturur. Yansımanın olduğu yerdeki pikin hangi kristale ait olduğu (5.10) eşitliğinde verilen Bragg kanunu ile belirlenir.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (5.10)$$

Her kristalin d değeri ve yansıma yaptığı açı cihaza daha önce yüklenmiş olduğu için numune içindeki mineral ve fazlar kolayca tanınırlar.

Bu çalışmada 1150°C pişirilmiş olan 5 farklı bünye X-ışınları cihazı ile incelenmiş içerdikleri fazlar tesbit edilmeye çalışılmıştır.

## **5.5. Deney Sonuçları**

### **5.5.1. Öğütme ve çamur hazırlama sonuçları**

Bünye hazırlamada ilk aşamayı oluşturan öğütme ve çamur hazırlama sonuçları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

### **5.5.2. Elek analizi sonuçları**

Sprey kurutucuda kurutulduktan sonra elde edilen bünyelere uygulana elek analizi sonuçları Çizelge 5.5' de görülmelidir.

Çizelge 5.4. Öğütme ve çamur hazırlama sonuçları

	A0	A1	A2	A3	A4
<b>% Perlit</b>	0	5	10	15	20
<b>Viskozite (cp)</b>	650	213	310	315	610
<b>Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1680	1670	1675	1676	1670
<b>Elek bakiye (%)</b>	1,70	1,30	1,30	1,30	1,2
<b>Kuru masse (%)</b>	63,60	63,80	64,80	64,80	64,80
<b>Kabakum (%)</b>	2,47	2,1	2,2	2,0	2,2
<b>Öğünme süresi (dk)</b>	180	160	150	120	120

Çizelge 5.5. Granüllerin elek analizi sonuçları

	A0	A1	A2	A3	A4
<b>% Perlit</b>	0	5	10	15	20
<b>500 µm</b>	8,6	12,2	10,4	7,6	9,5
<b>355µm</b>	28,2	34,2	34,4	30,0	35,5
<b>250µm</b>	37,9	30,2	32,7	35,5	34,4
<b>150µm</b>	20,1	18,8	18,2	21,1	17,2
<b>63µm</b>	3,9	3,4	3,3	4,6	3,2
<b>Elek altı</b>	1,3	1,2	0,8	1,2	0,7

### 5.5.3. Boyut ölçüm sonuçları

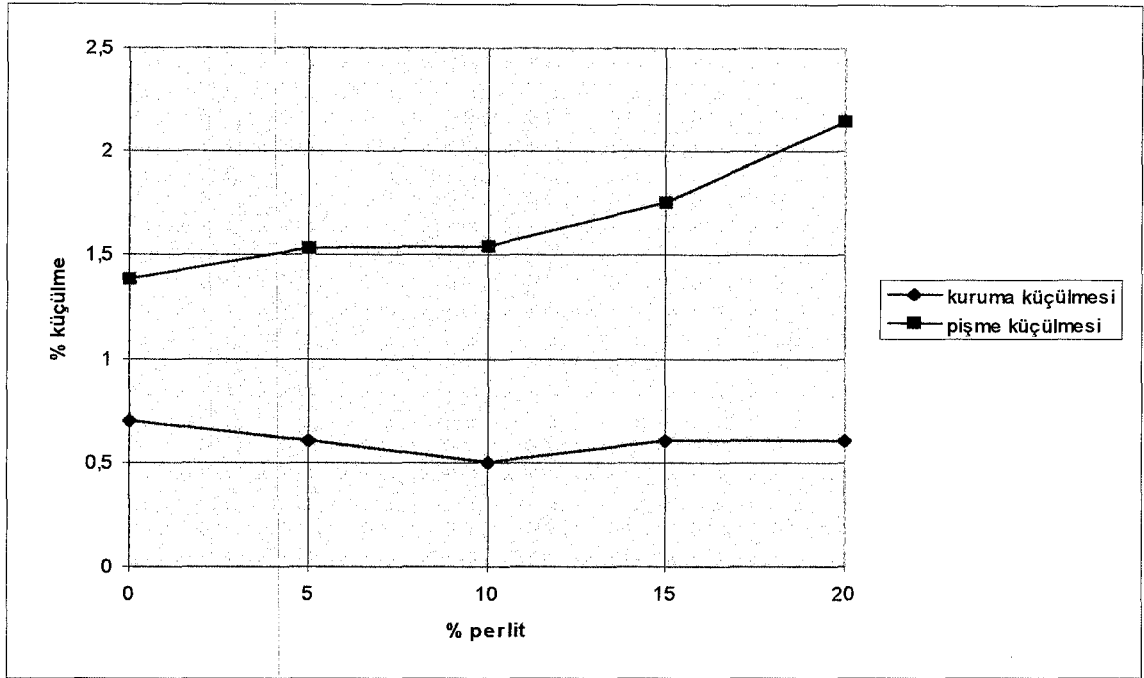
Üretim şartlarında şekillendirilip pişirilen 15x15 cm<sup>2</sup> boyuttaki numunelerin kuruma ve pişme küçülmeleri Çizelge 5.6'da 4x8 cm<sup>2</sup> boyuttaki numunelerinki ise Çizelge 5.7'de bileşime göre dağılımları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin kuruma ve pişme küçülmeleri

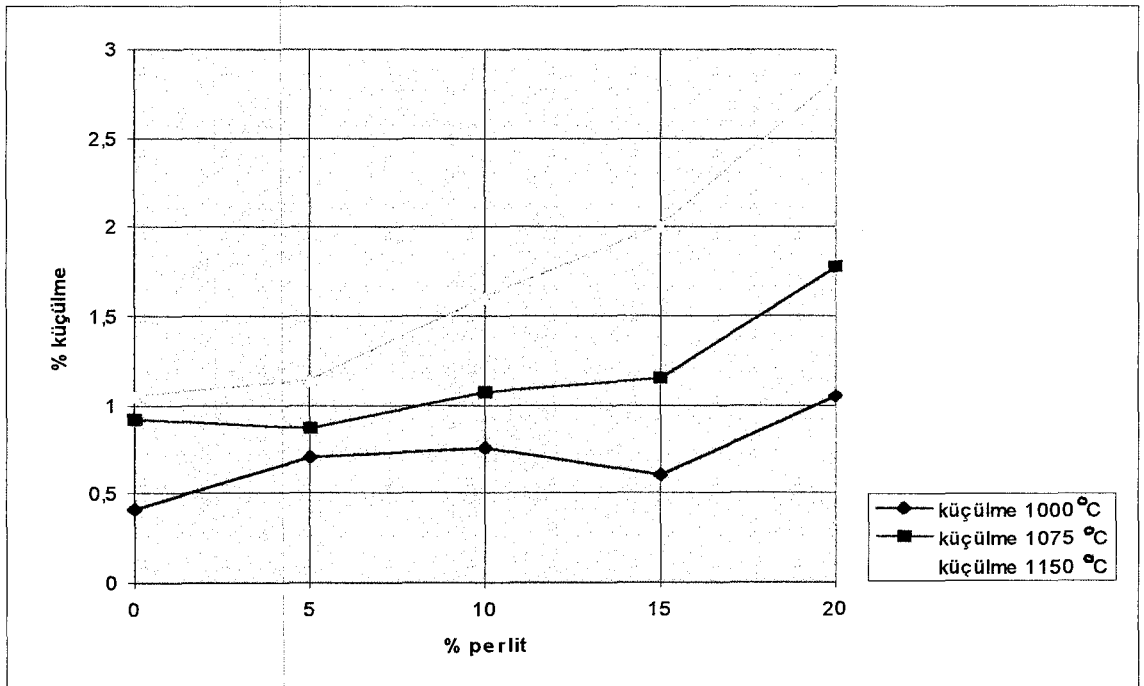
	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
Kuruma küçülmesi	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6
Pişme küçülmesi	1,38	1,53	1,54	1,75	2,14

Çizelge 5.7. 1000, 1075 ve 1150°C'de pişirilen numunelerin pişme küçülmeleri

	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
1000°C	1,38	2,34	2,54	1,92	3,51
1075°C	3,27	2,76	3,59	3,83	5,9
1150°C	4,50	3,81	5,31	6,59	9,44



Şekil 5.3. Perlit miktarı ile kuruma ve pişme küçülmesinin değişimi



Şekil 5.4. Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin pişme küçülmesine etkisi



#### 5.5.4. Mukavemet ölçüm sonuçları

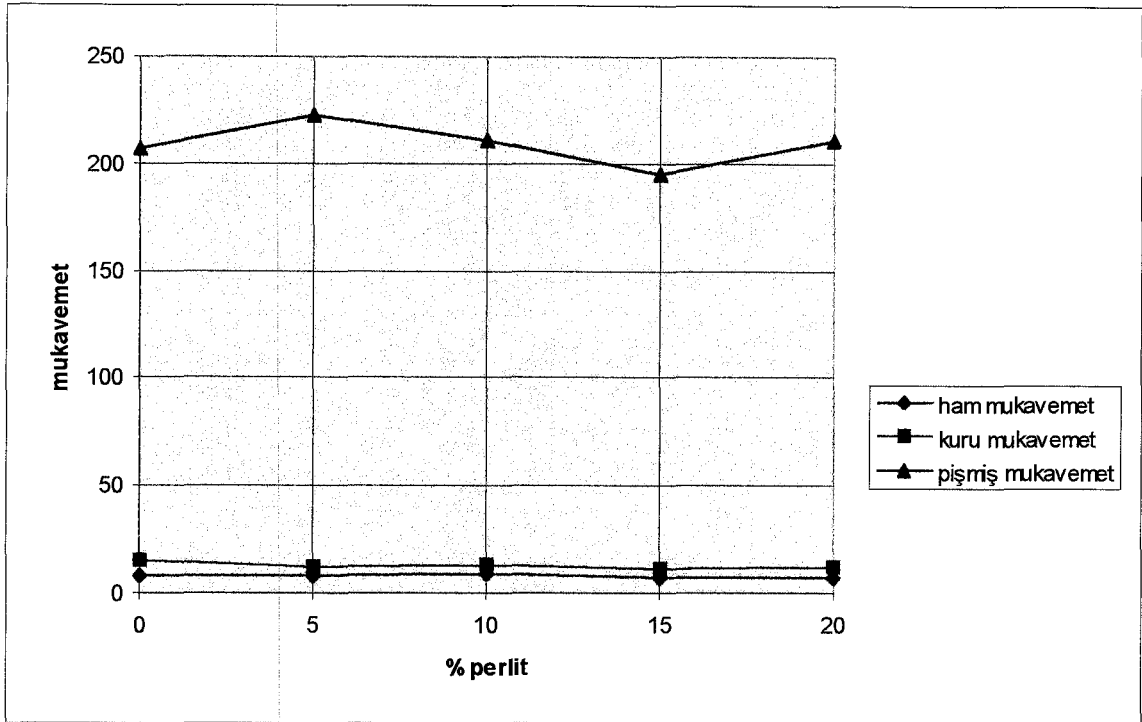
Mukavemet ölçüm sonuçları Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'de bileşimlere göre dağılımları Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin mukavemet değerleri

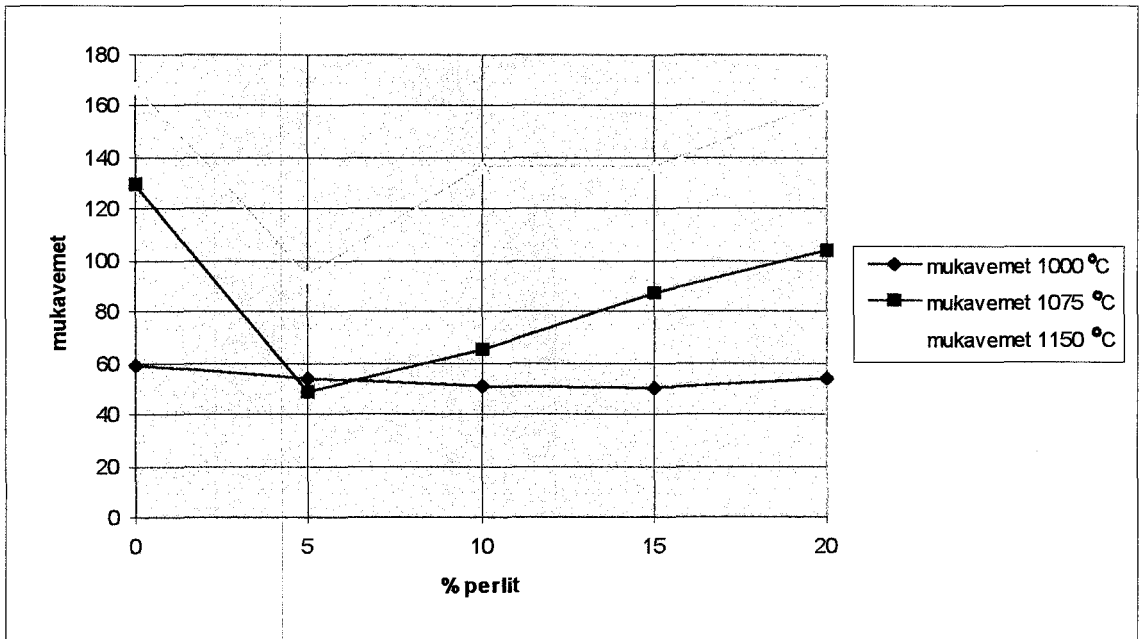
	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
Ham mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )	7,9	7,7	8,5	7,3	7,2
Kuru mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )	14,5	11,7	12,5	11,3	11,5
Pişmiş mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )	207,0	222,6	210,7	194,6	210,5

Çizelge 5.9. 1000, 1075 ve 1150°C'de pişirilen numunelerin mukavemet değerleri

	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
1000°C	59	53,4	50,6	49,6	53,8
1075°C	129,3	48,6	64,7	87,3	103,9
1150°C	167,1	94	13,9	135,9	161,2



Şekil 5.5. Perlit miktarı ile mukavemetin değişimi



Şekil 5.6. Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin mukavemete etkisi

### 5.5.5. Su emme deneyi sonuçları

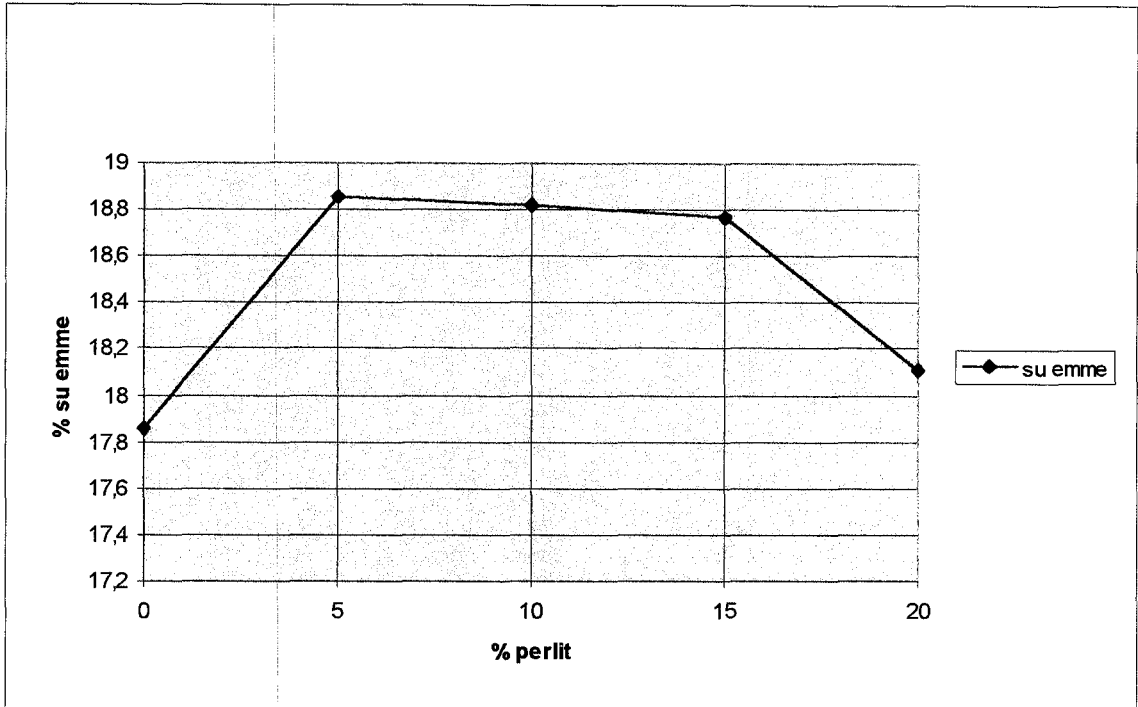
Su emme deneylerinin sonuçları Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de, bileşimlere göre dağılımları Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de görülmektedir.

Çizelge 5.10. Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin su emme değerleri

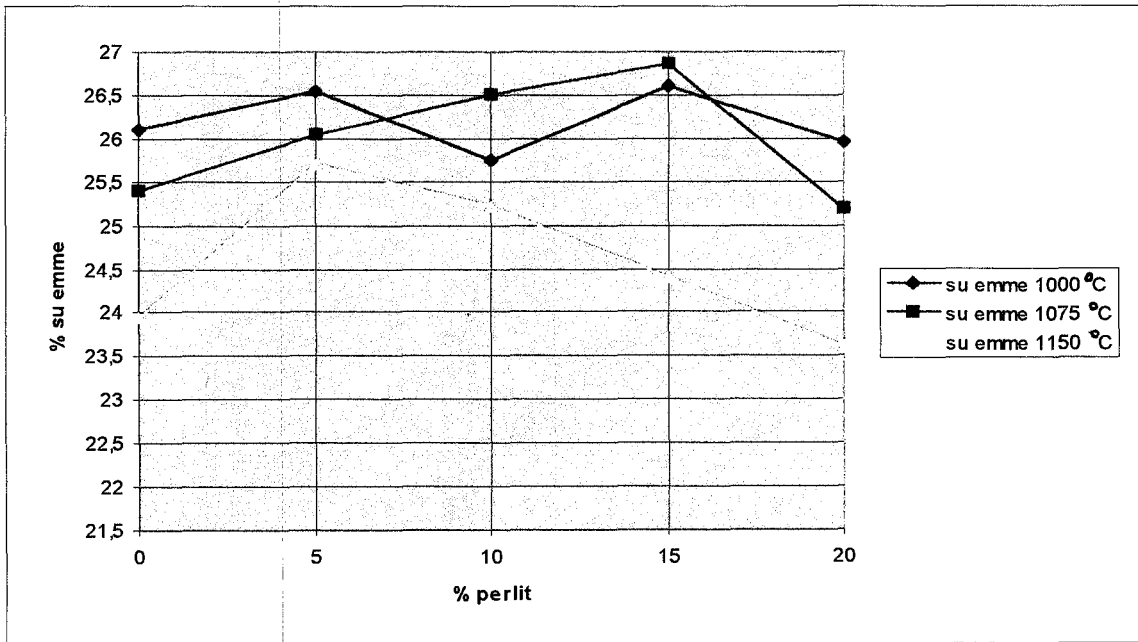
	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
% Su emme	17,86	18,85	18,82	18,77	18,12

Çizelge 5.11. 1000, 1075 ve 1150°C'de pişirilen numunelerin su emme değerleri

	A0	A1	A2	A3	A4
% Perlit	0	5	10	15	20
1000°C	26,11	26,53	25,75	26,61	25,96
1075°C	25,38	26,03	26,5	26,85	25,19
1150°C	23,94	25,30	25,22	24,41	23,61



Şekil 5.7. Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin perlit miktarına bağlı olarak su emme değişimleri



Şekil 5.8. Perlit miktarı ve sıcaklık değişiminin su emmeye etkisi

### 5.5.6. Yiğinsal yoğunluk ölçüm sonuçları

Numunelerin ham ve pişmiş olarak ölçülen yiğinsal yoğunlukları Çizelge 5.12'de görülmektedir. Yiğinsal yoğunluk ölçümü için hazırlanan numuneler üretim şartlarında pişirilmiştir.

Çizelge 5.12. Yiğinsal yoğunluk ölçüm sonuçları

	A0	A1	A2	A3	A4
<b>% Perlit</b>	0	5	10	15	20
<b>Ham yiğinsal yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,963	1,901	1,898	1,867	1,857
<b>Pişmiş yiğinsal yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,756	1,746	1,721	1,705	1,705
<b>% azalma</b>	-	0,6	1,9	2,9	2,9

### 5.5.7. Görünür yoğunluk ölçüm sonuçları

Pişmiş numunelerin görünür yoğunlukları Çizelge 5.13'de verilmiştir. Görünür yoğunluk ölçümü için hazırlanan numuneler üretim şartlarında pişirilmiştir.

Çizelge 5.13. Görünür yoğunluk ölçüm sonuçları

	A0	A1	A2	A3	A4
<b>% Perlit</b>	0	5	10	15	20
<b>Görünür yoğunluk</b>	2,68	2,66	2,63	2,61	2,61
<b>% azalma</b>	-	0,8	1,9	2,7	2,7

### 5.5.8. Dilatometre sonuçları

Herbir bünyeden hazırlanmış olan ham numunelerin 1000°C'ye kadar çekimi yapılmıştır. Dilatometrede 1000°C'ye kadar pişen bu numuneler daha sonra 700°C'ye kadar dilatometrede incelenmiştir. Ölçülen ısıl genişleme katsayıları Çizelge 5.14'de görülmektedir. Ham numunelerin sonuçları, Şekil 5.9, Şekil 5.10 Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de 1000°C'de pişmiş numunelerin sonuçları ise Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de görülmektedir.

Çizelge 5.14. 1000°C'de pişmiş numunelerin lineer genişleme katsayıları

	$\alpha_{-300} \times 10^7$ (C <sup>-1</sup> )	$\alpha_{-400} \times 10^7$ (C <sup>-1</sup> )	$\alpha_{-500} \times 10^7$ (C <sup>-1</sup> )	$\alpha_{-600} \times 10^7$ (C <sup>-1</sup> )
A0	70,73	72,27	74,91	83,59
A1	72,08	72,89	74,85	84,39
A2	71,94	72,49	74,36	82,04
A3	70,68	71,62	72,90	75,71
A4	72,25	72,77	73,79	80,10

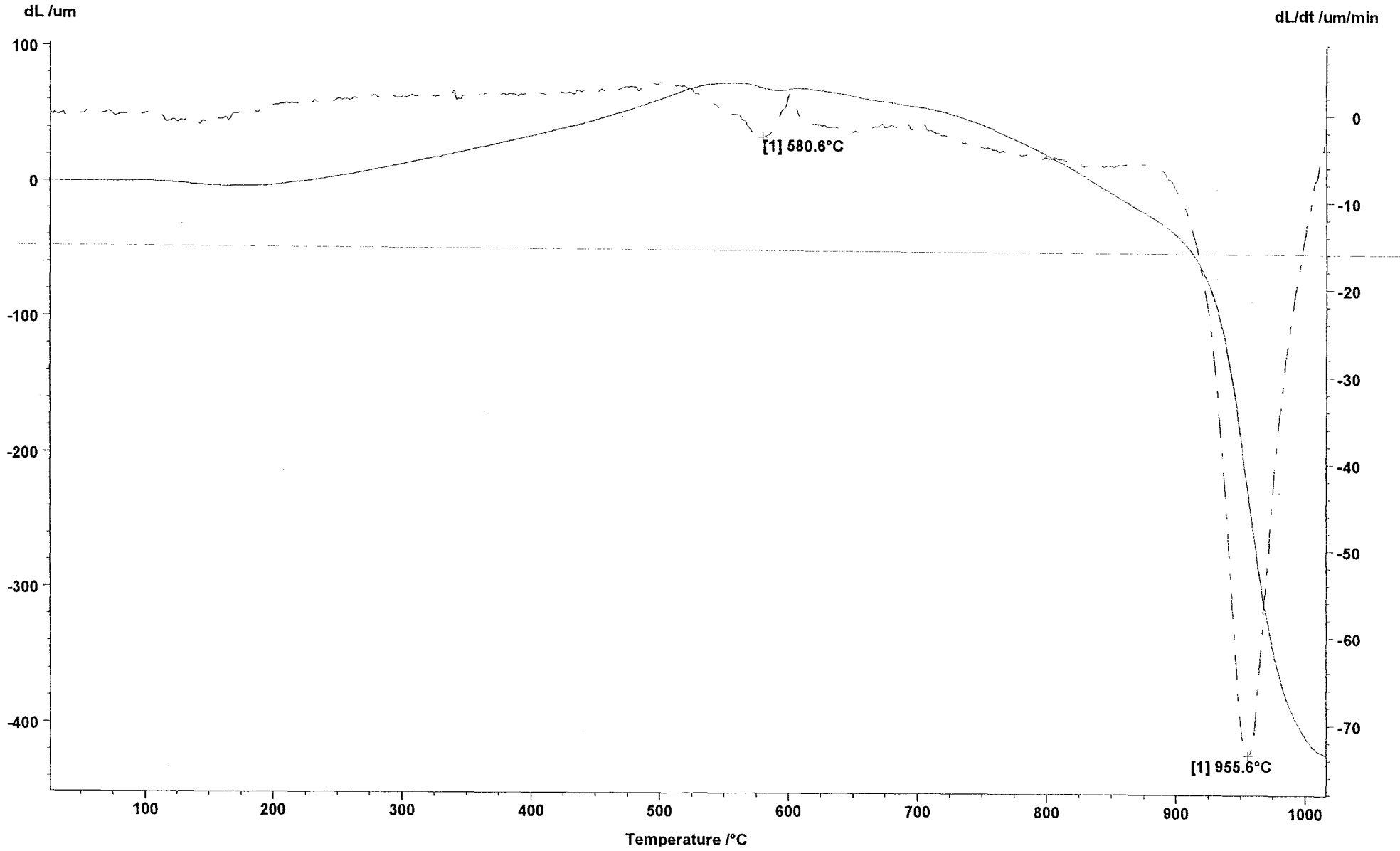
### 5.5.9. X-ışınları analiz sonuçları

Pişmiş numunelerin X-ışınları analizlerinde kuvars, kristobalit, anortit ve az miktarda hematit ve vollastonit piklerine rastlanmıştır. Her bileşimde oluşan anortit, kuvars ve kristobalit faz miktarları tesbit edilip birbiriyle mukayese edilmiştir. Burada faz miktarı mevcut fazların pikleri altında kalan alanların  $br^2$  cinsinden ölçülmesiyle tesbit edilmiştir. Ölçülen faz miktarlarının sonuçları Çizelge 5.15'de, x-ışınları analizi sonuçları Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de görülmektedir.

Bünyelerdeki anortit fazı miktarlarının karşılaştırılması 5.24 ve kuvars fazı miktarlarının karşılaştırılması 5.25'de görülmektedir.

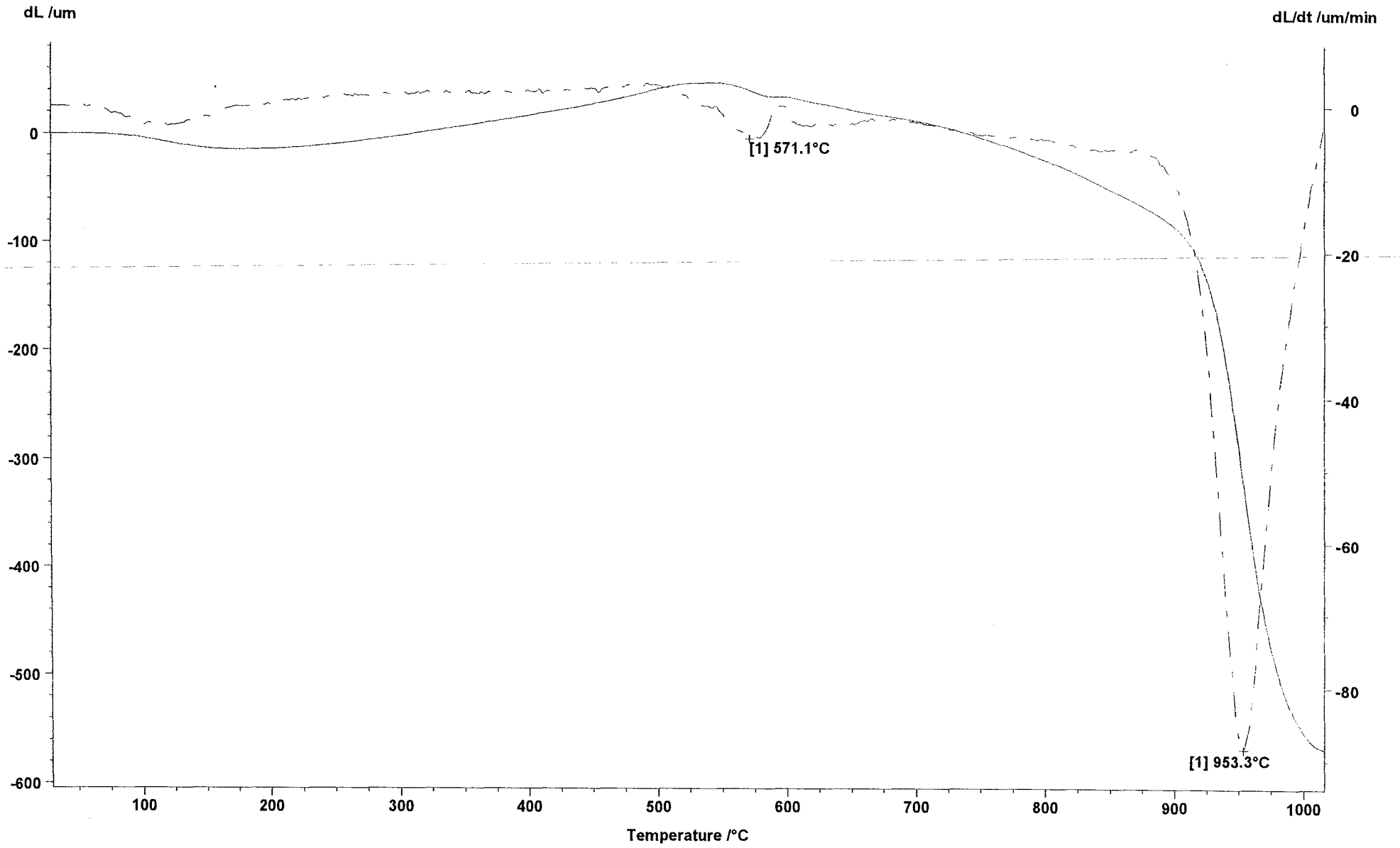
Çizelge 5.15. Bünyelerdeki kristal faz miktarları

	Anortit fazı miktarı (br <sup>2</sup> )	Kuvars fazı miktarı (br <sup>2</sup> )	Kristobalit fazı miktarı (br <sup>2</sup> )	Toplam (br <sup>2</sup> )	% kristalin faz azalması
A0	203,3	509,28	64,06	776,64	0
A1	200,24	489,66	67,97	757,87	2,4
A2	199,04	452,70	71,92	723,66	6,8
A3	194,67	424,56	73,31	692,54	10,8
A4	190,99	404,55	74,41	669,95	13,73

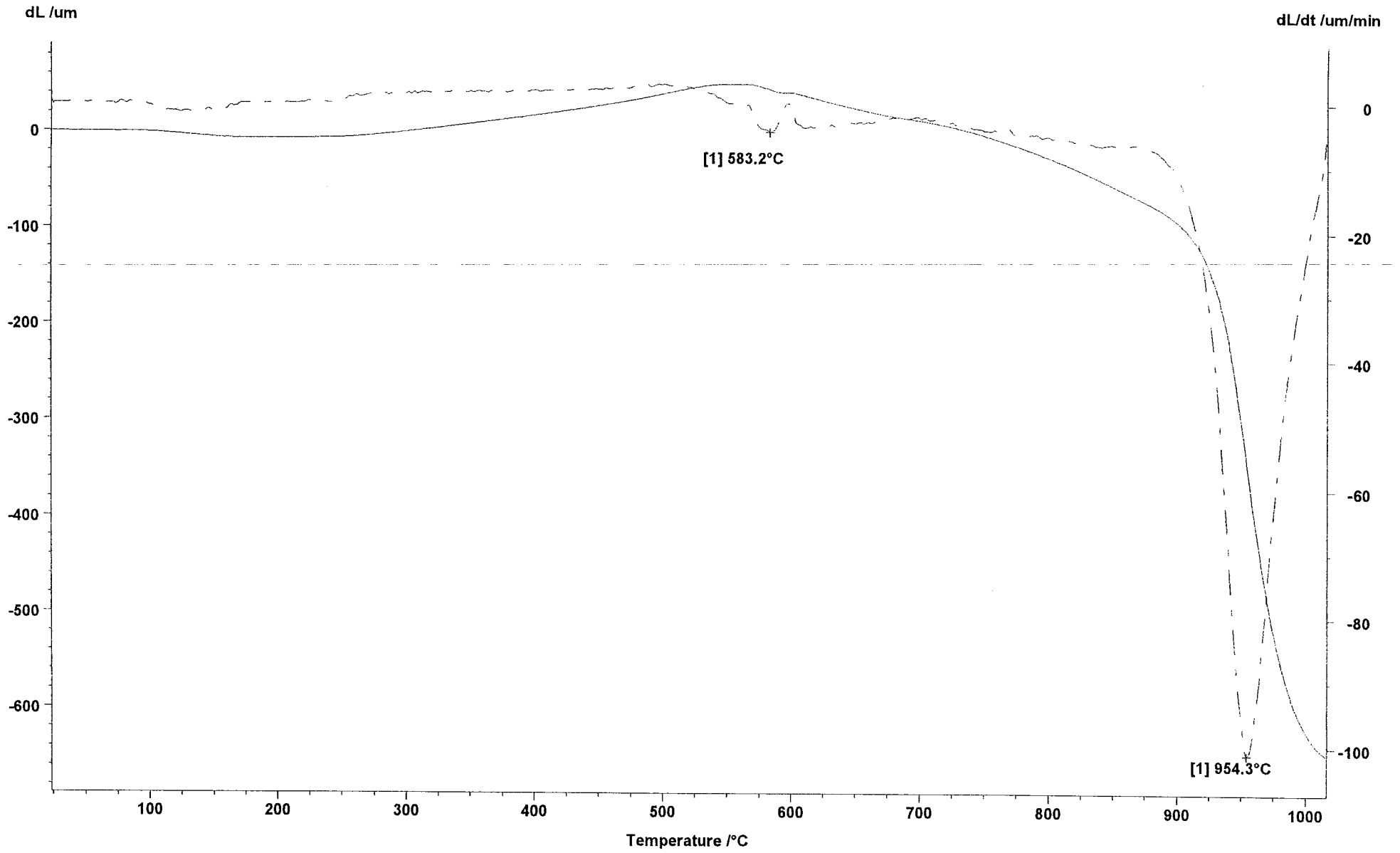


Şekil 5.9. A0 bünyesinin ham dilatometresi

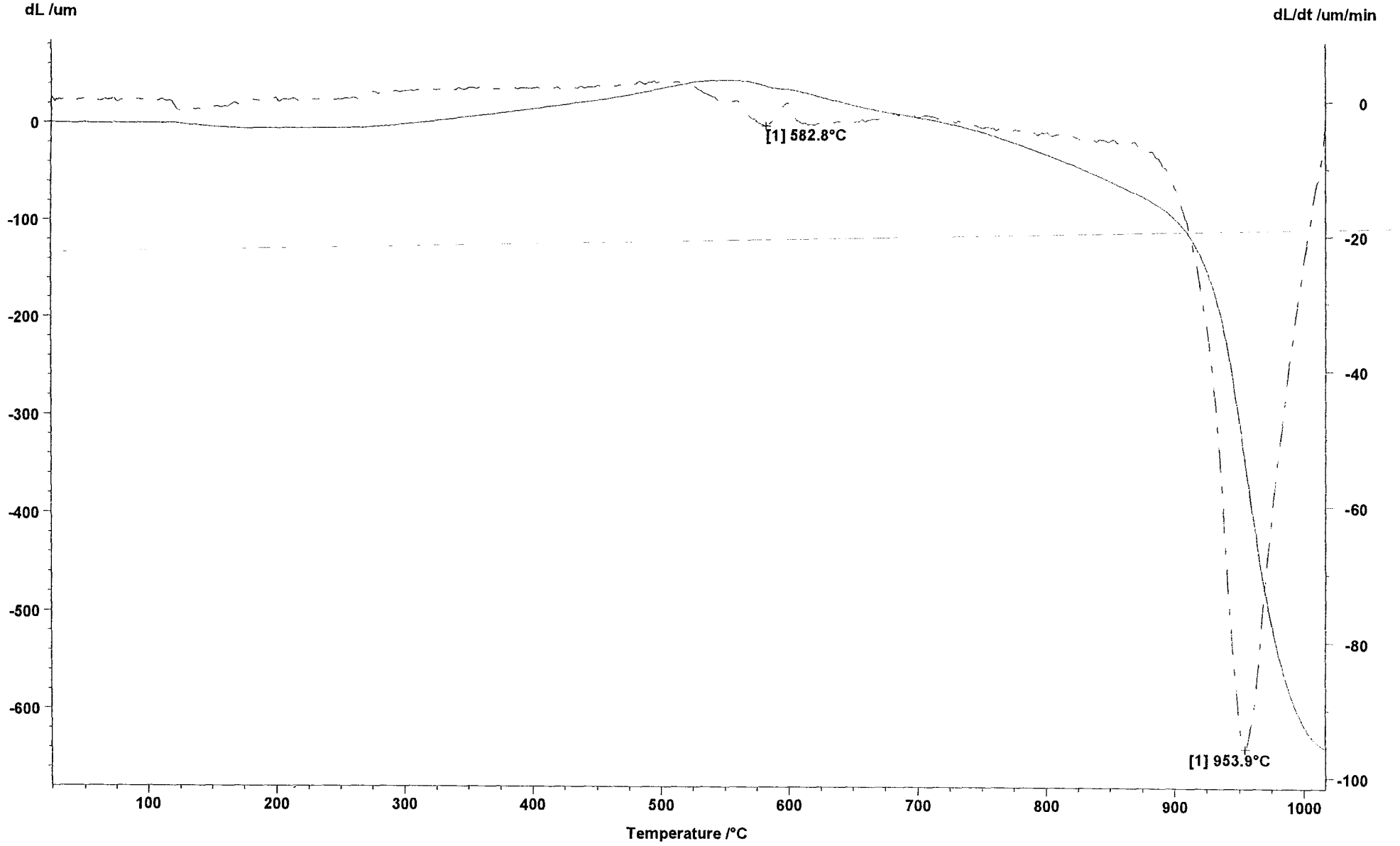




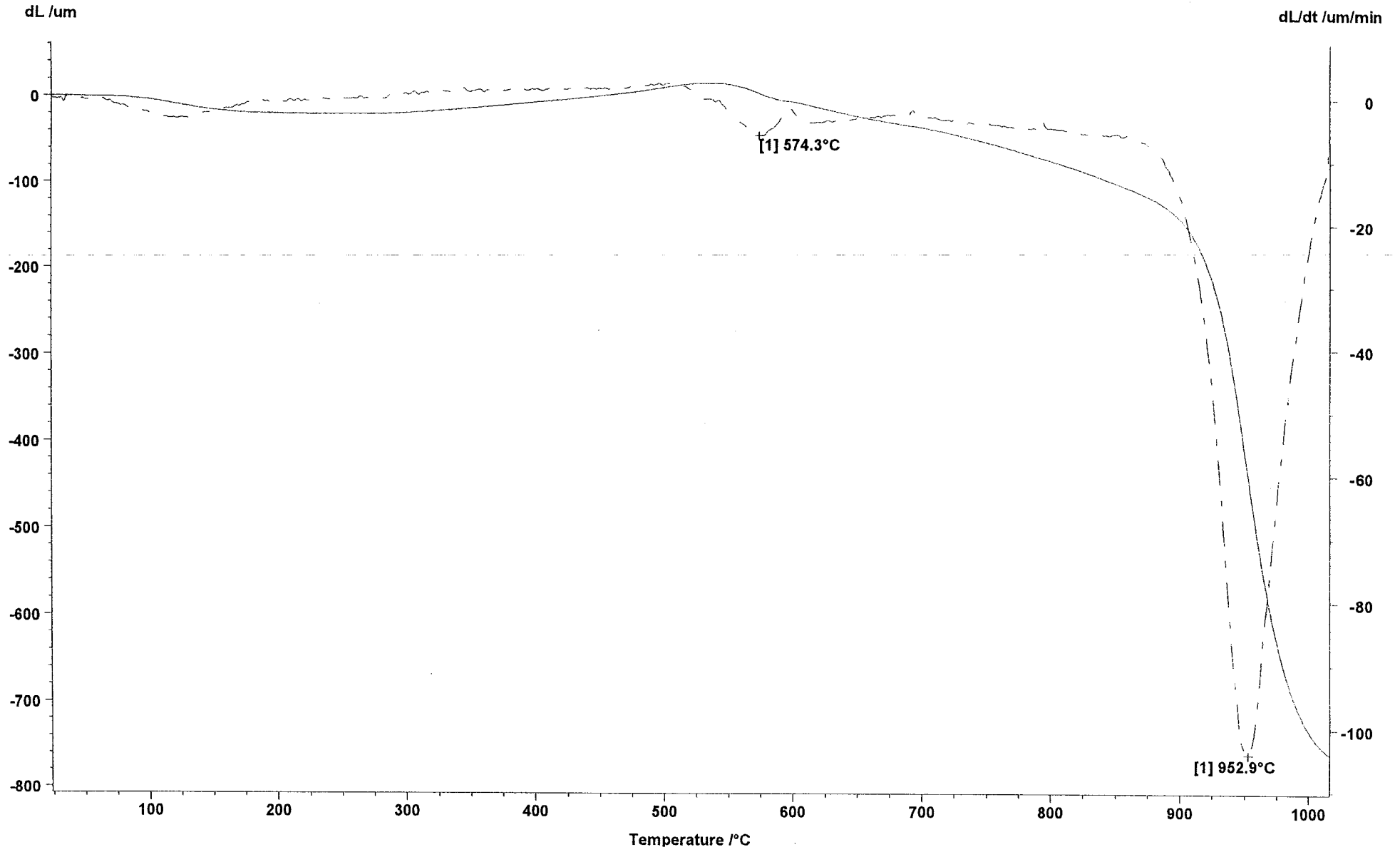
Şekil 5.10. A1 bünyesinin ham dilatometresi



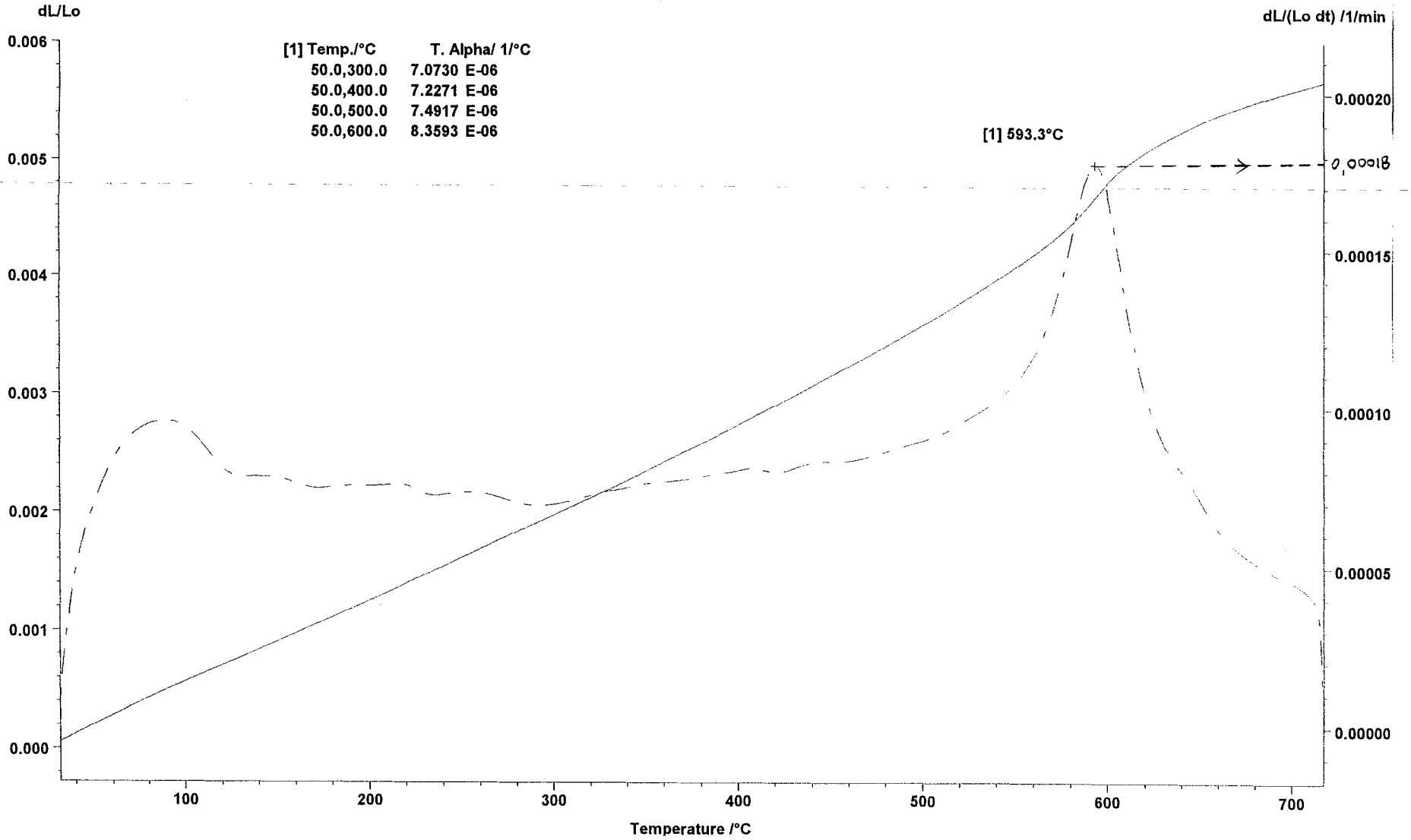
Şekil 5.11. A2 bünyesinin ham dilatometresi



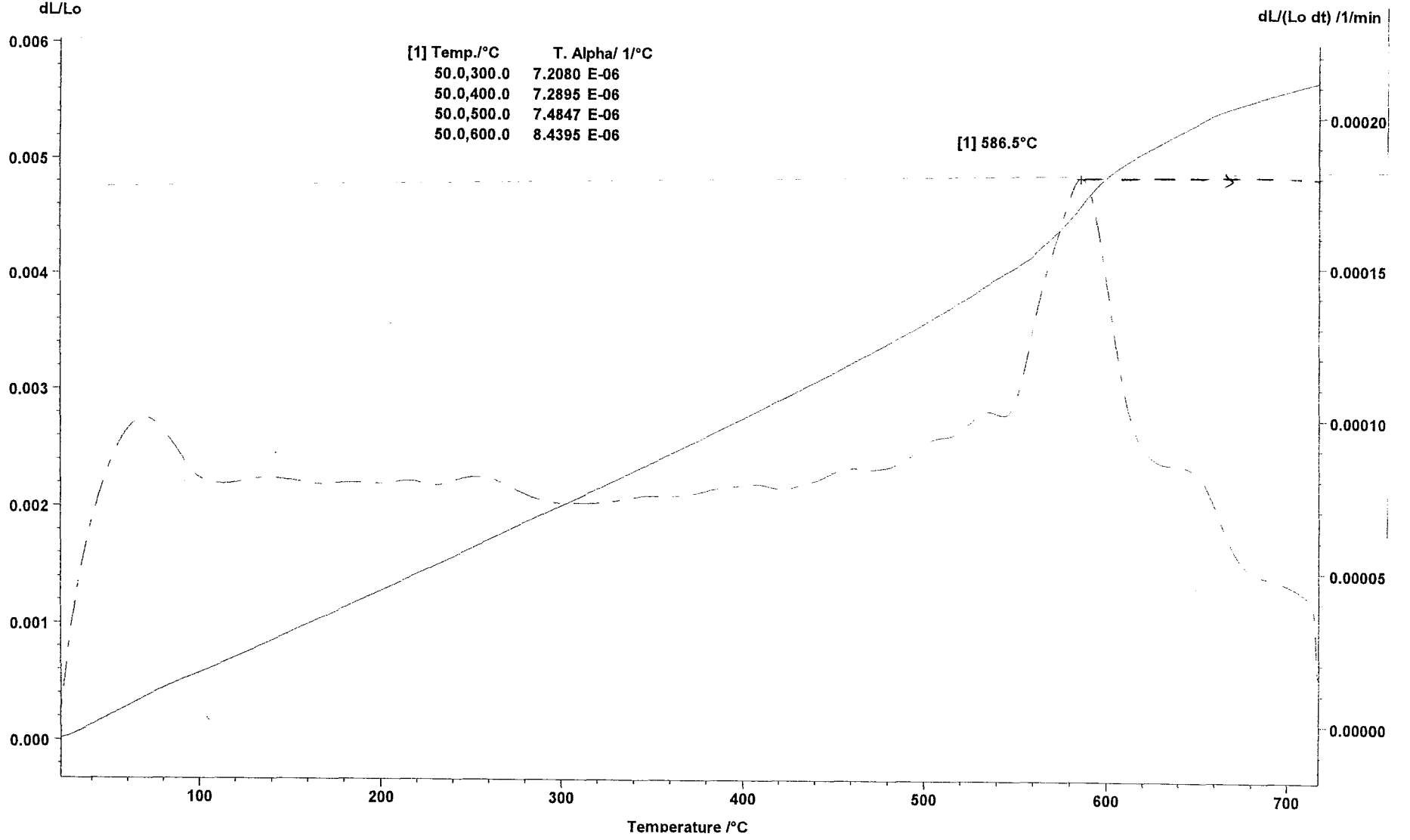
Şekil 5.12. A3 bünyesinin ham dilatometresi



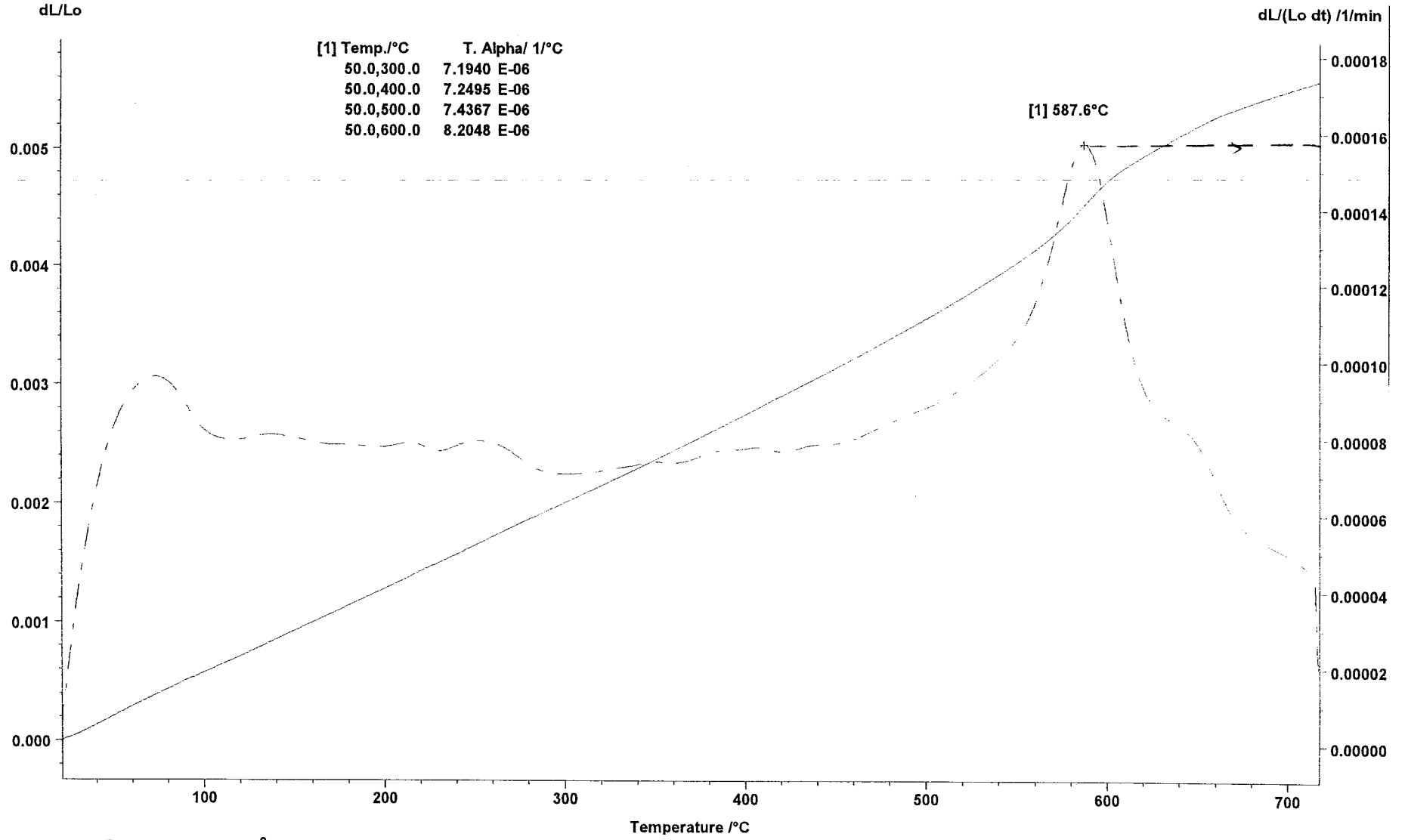
Şekil 5.13. A4 bünyesinin ham dilatometresi



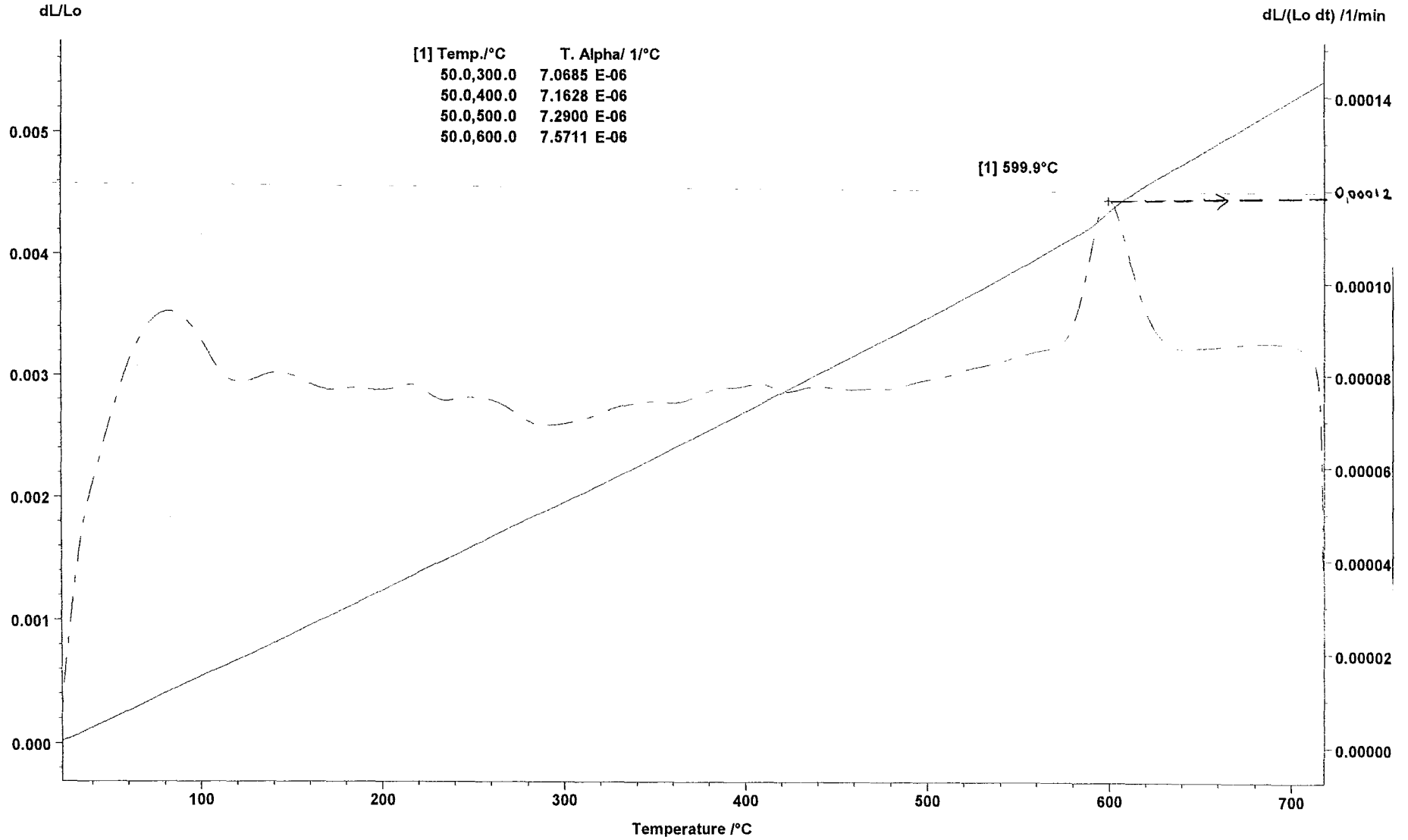
Şekil 5.14. 1000°C'de pişmiş A0 bünyesinin dilatometresi



Şekil 5.15. 1000°C'de pişmiş A1 bünyesinin dilatometresi

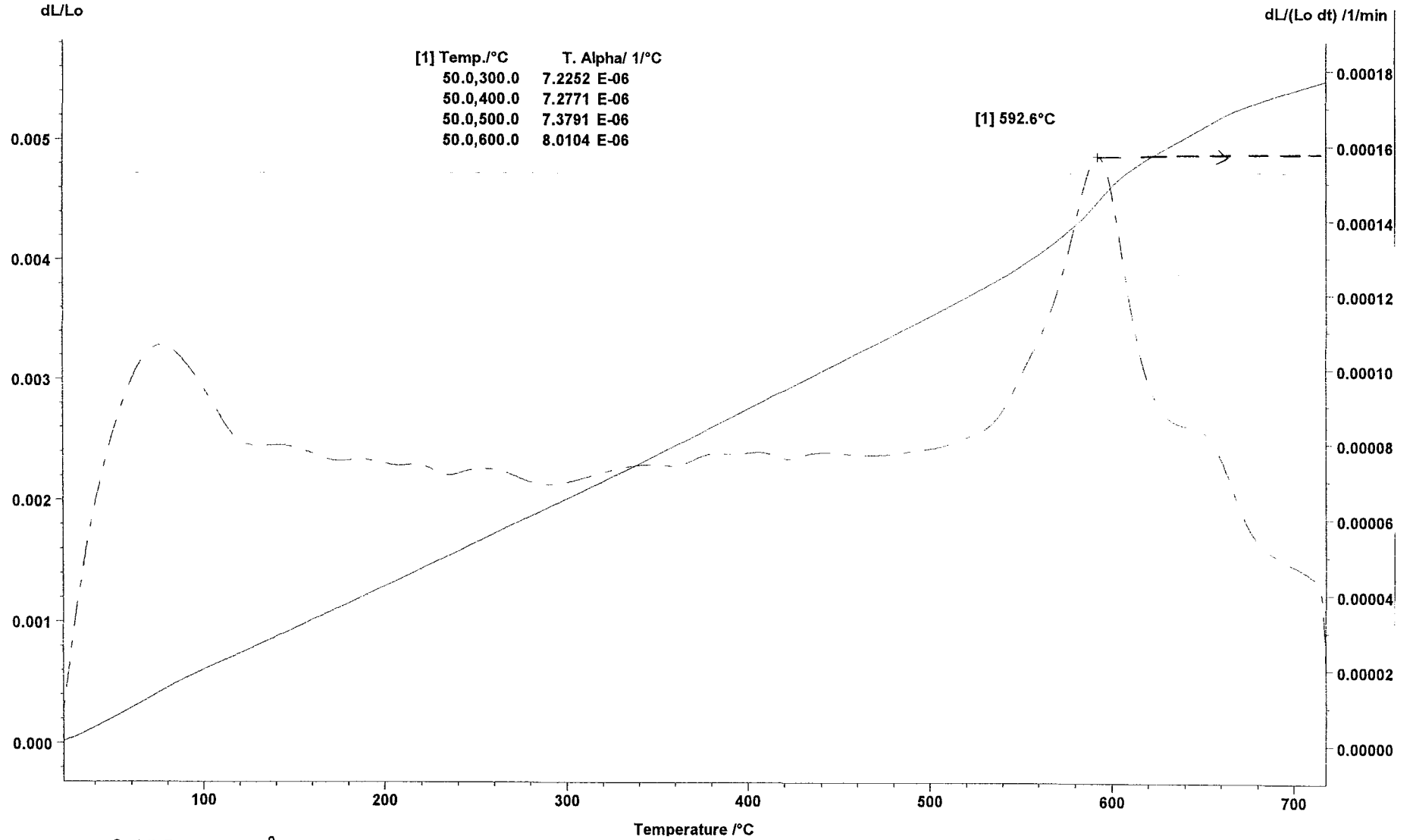


Şekil 5.16. 1000°C'de pişmiş A2 bünyesinin dilatometresi

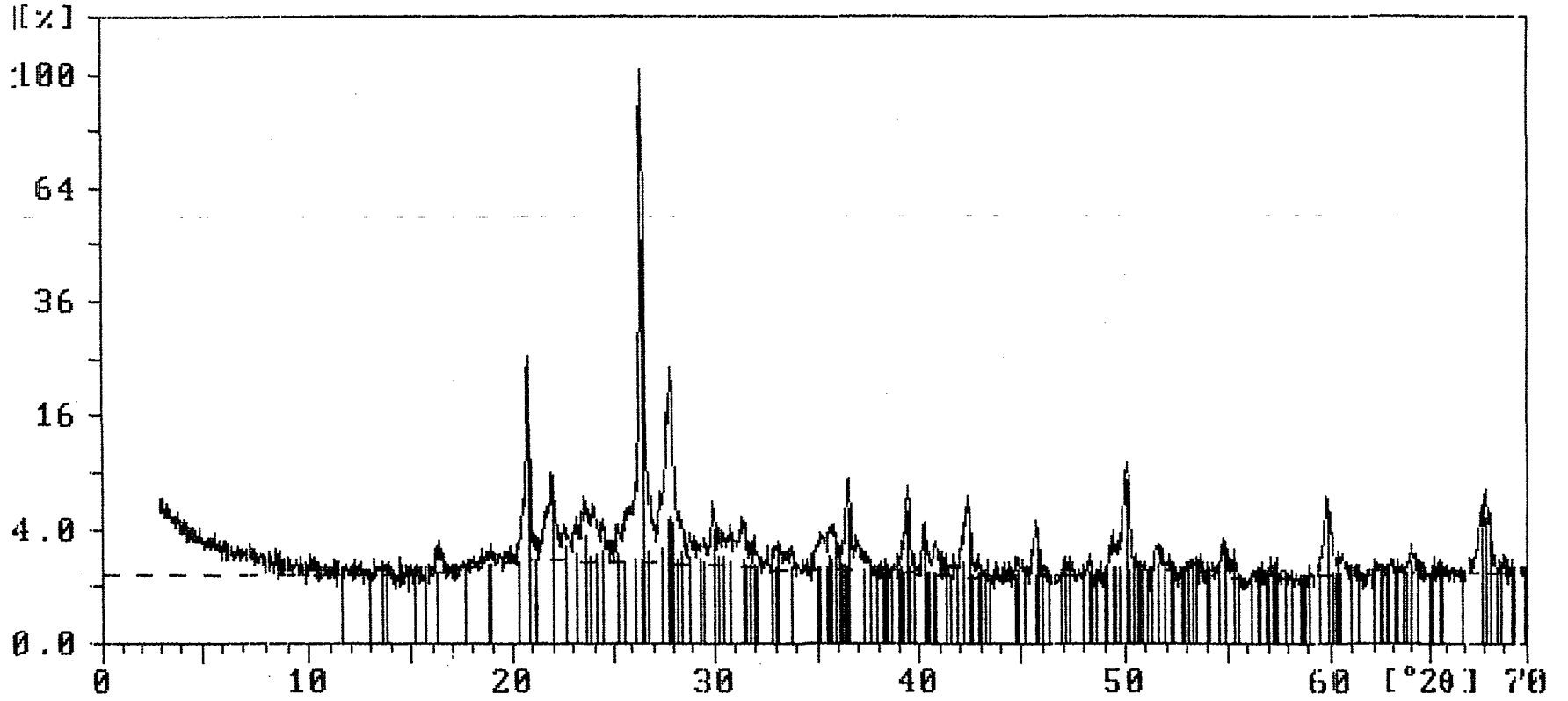


Şekil 5.17. 1000°C'de pişmiş A3 bünyesinin dilatometresi



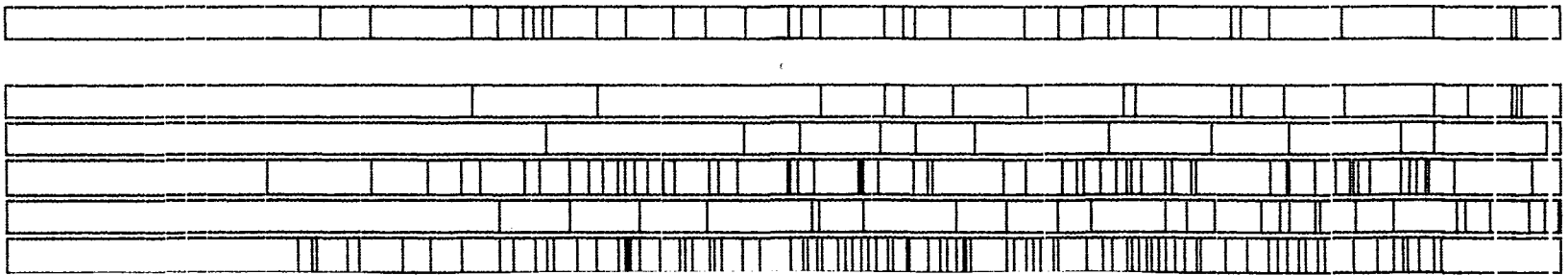


Şekil 5.18. 1000<sup>0</sup>C'de pişmiş A4 bünyesinin dilatometresi

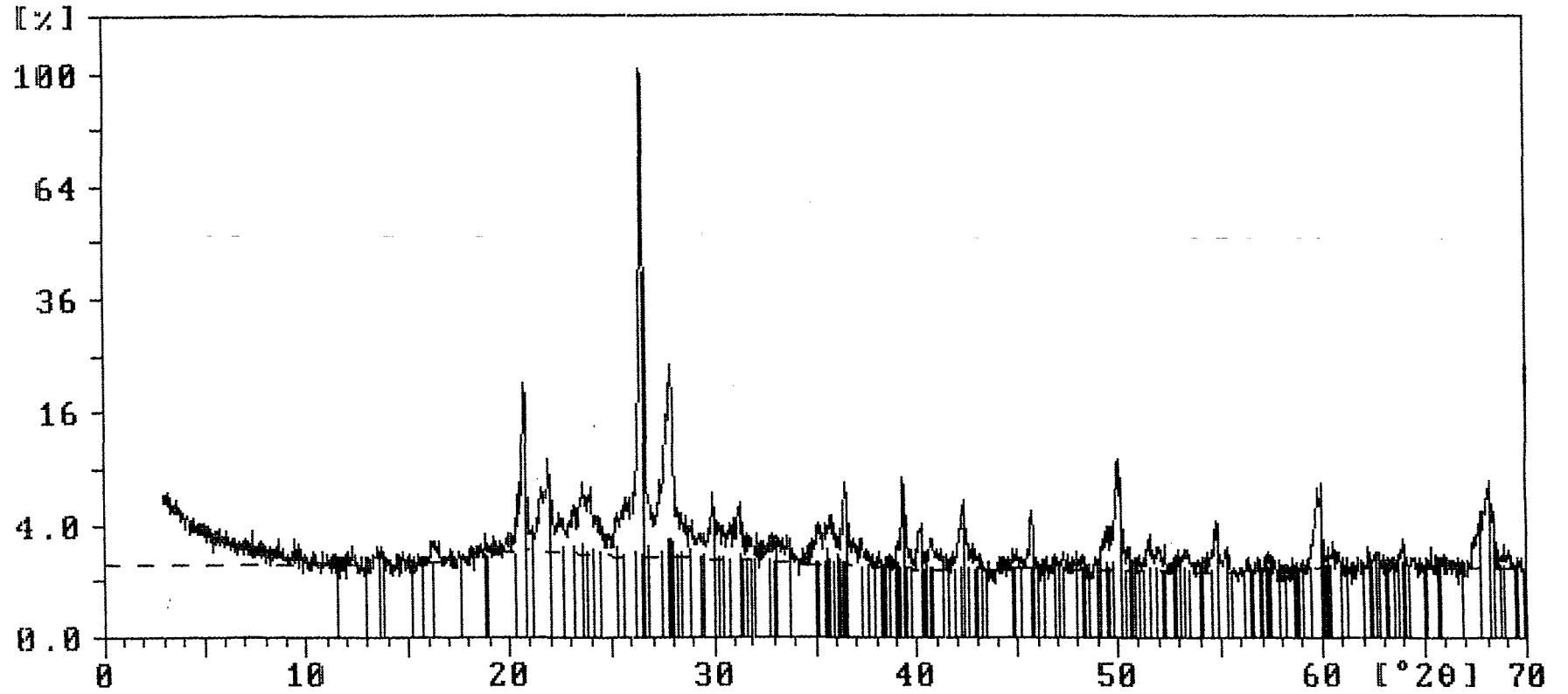


0160BFA0

Quartz,  
Hematite  
Wollasto  
Cristoba  
Anorthit

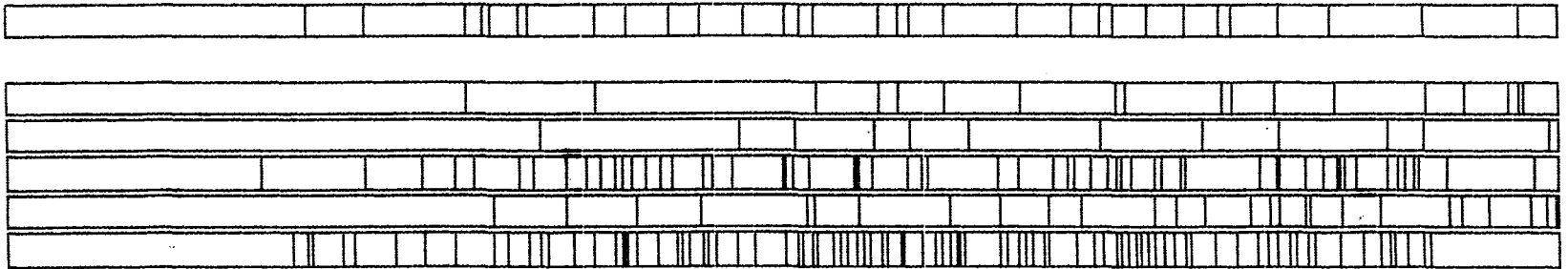


Şekil 5.19. 1150°C'de pişmiş A0 bünyesinin X-ışınları analizi

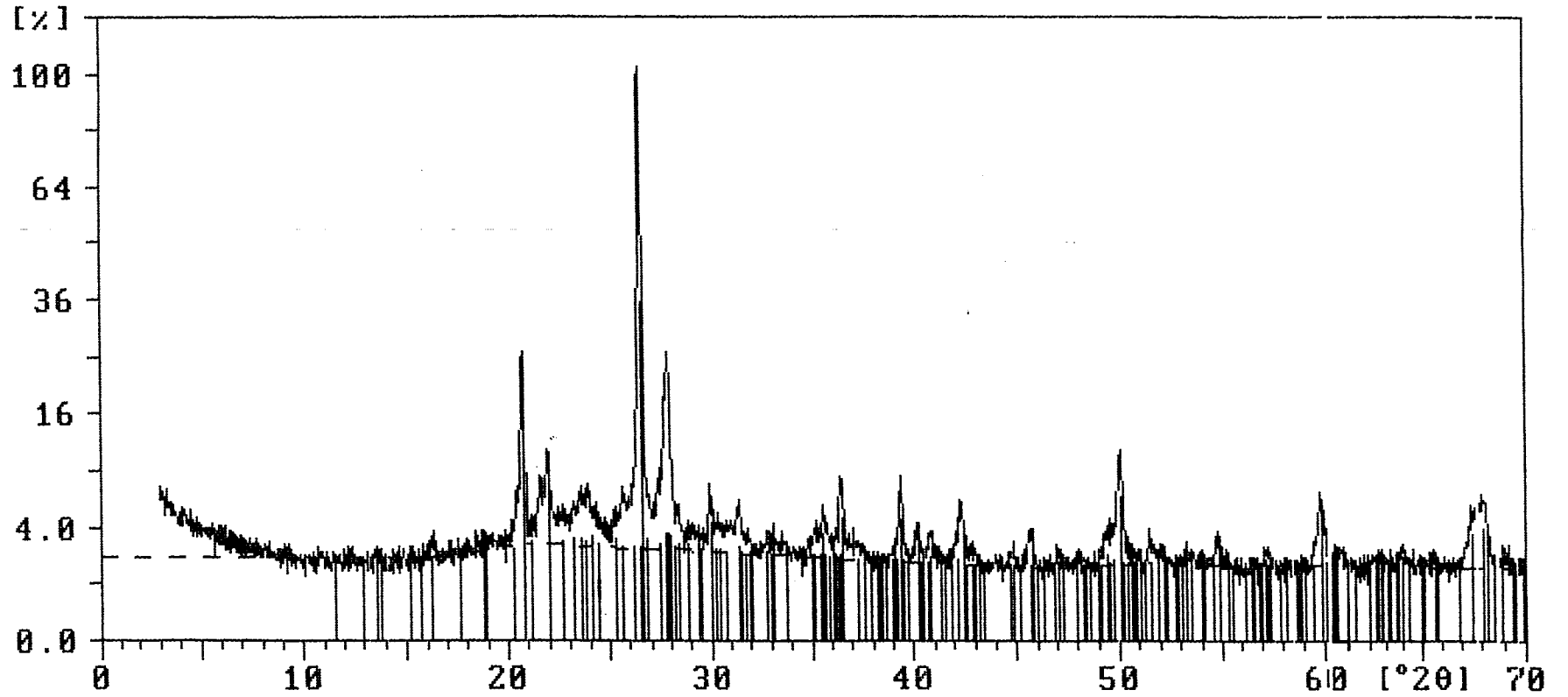


Ø161BFA1

Quartz,  
 Hematite  
 Wollasto  
 Cristoba  
 Anorthit

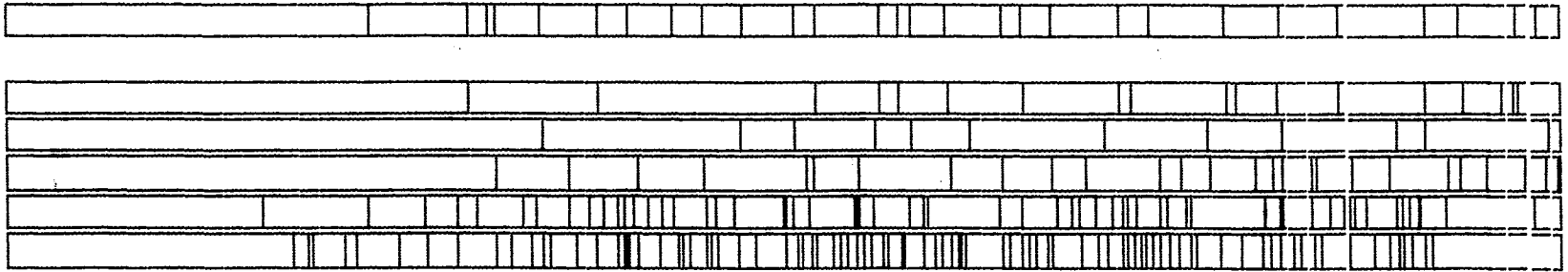


Şekil 5.20. 1150°C'de pişmiş A1 bünyesinin X-ışınları analizi

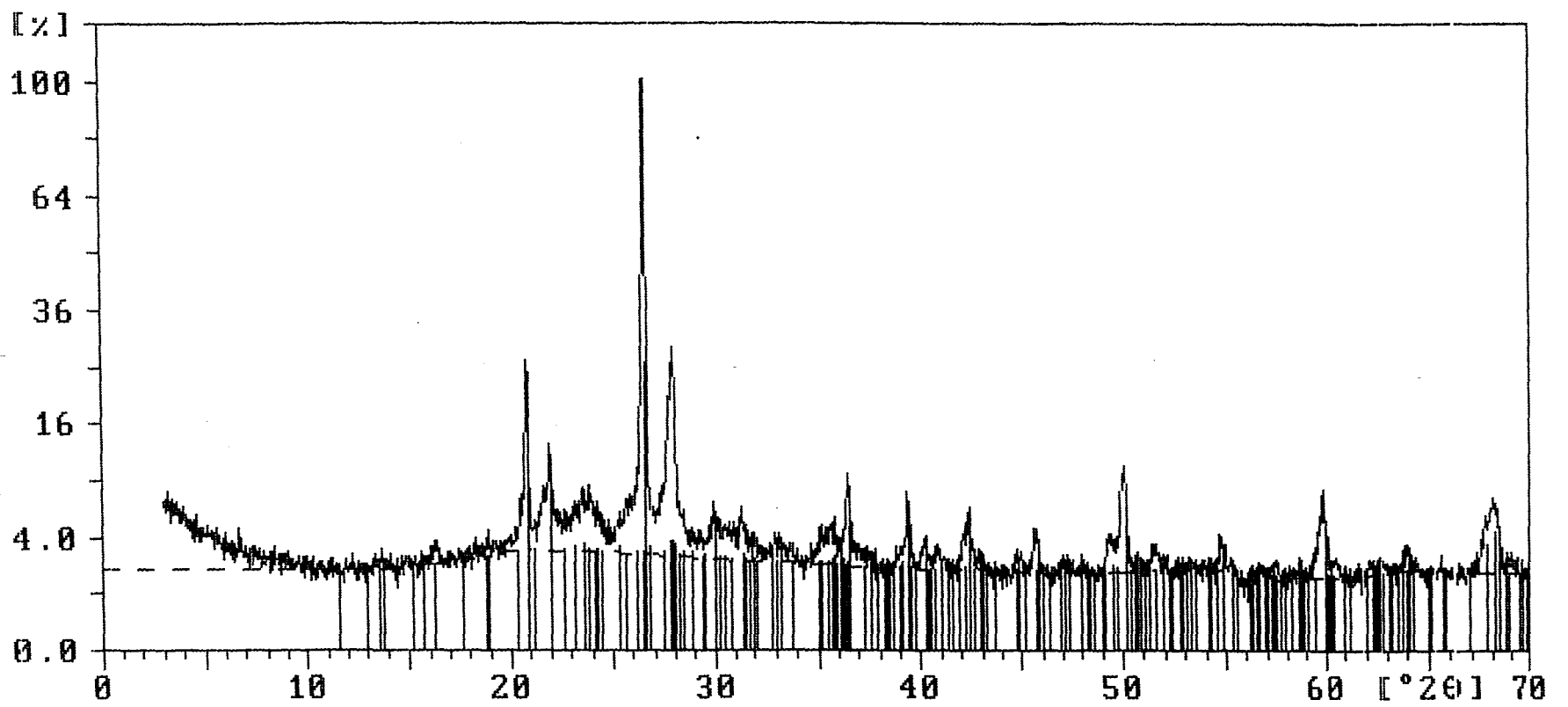


0162BFAZ

Quartz,  
Hematite  
Cristoba  
Wollasto  
Anorthit

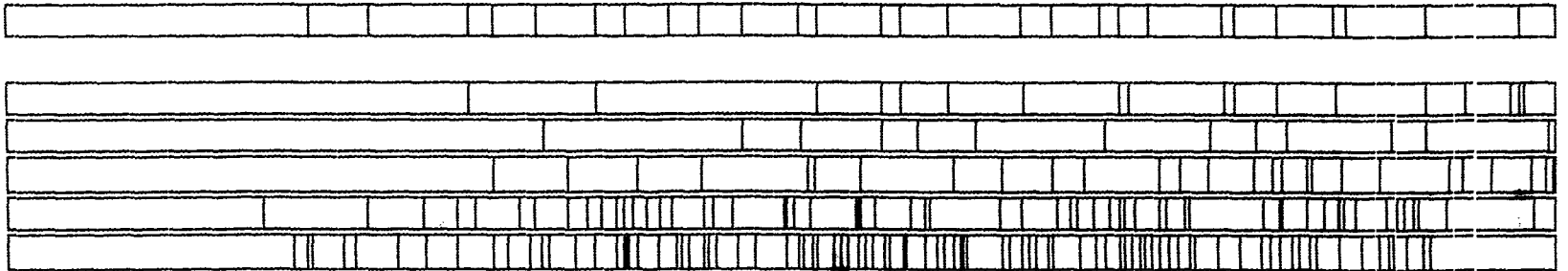


Şekil 5.21. 1150°C'de pişmiş A2 bünyesinin X-ışınları analizi

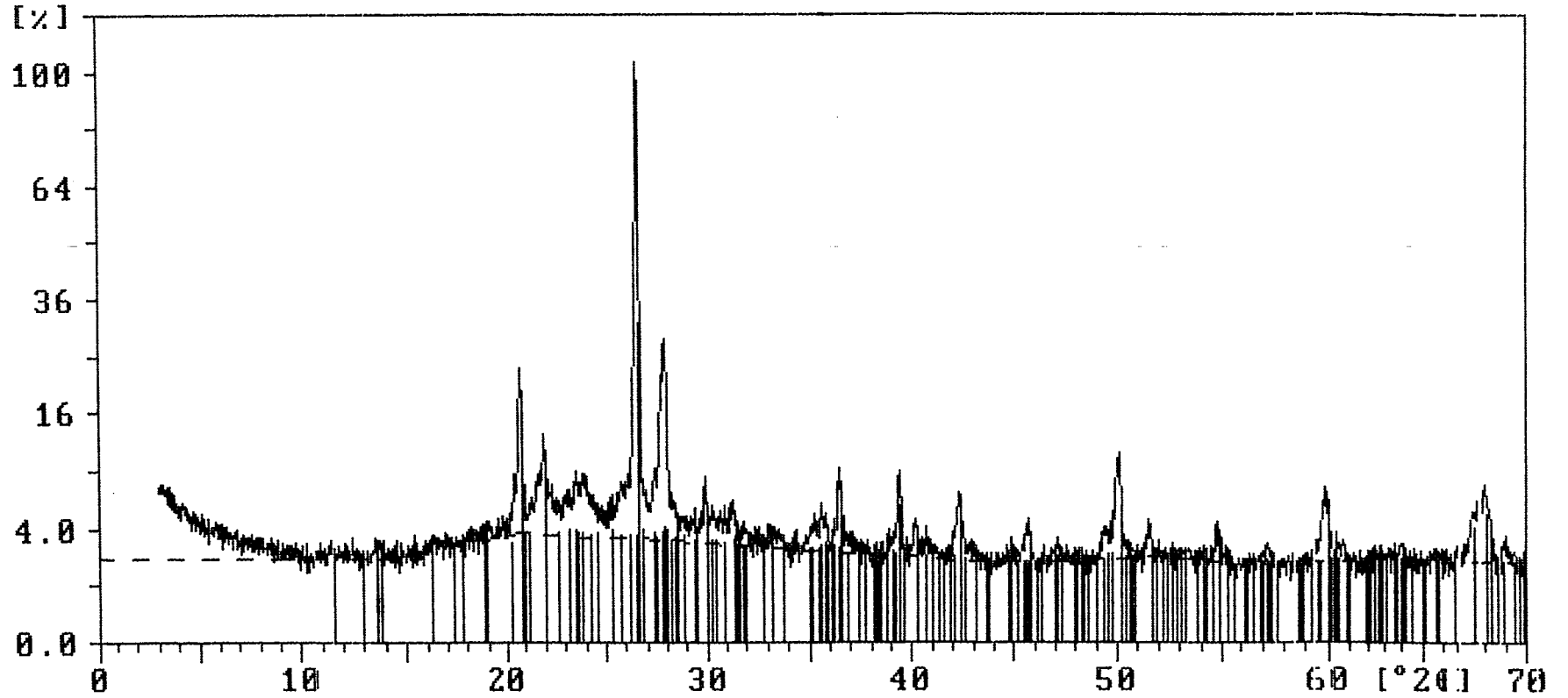


0163BFA3

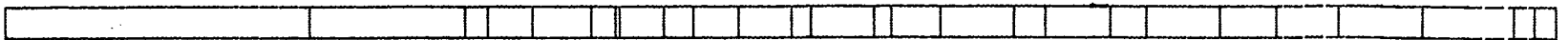
Quartz,  
Hematite  
Cristoba  
Wollasto  
Anorthit



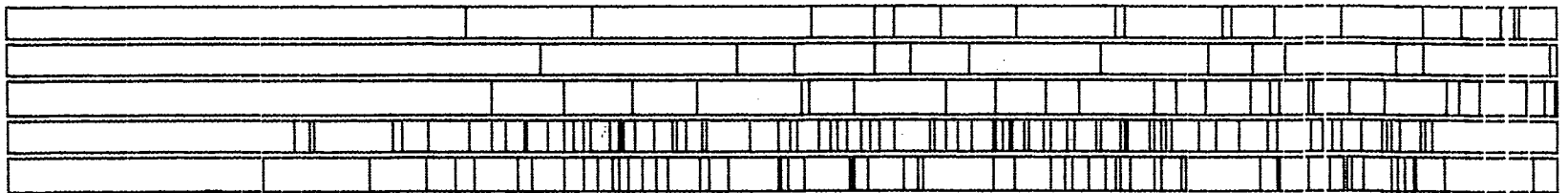
Şekil 5.22. 1150°C'de pişmiş A3 bünyesinin X-ışınları analizi



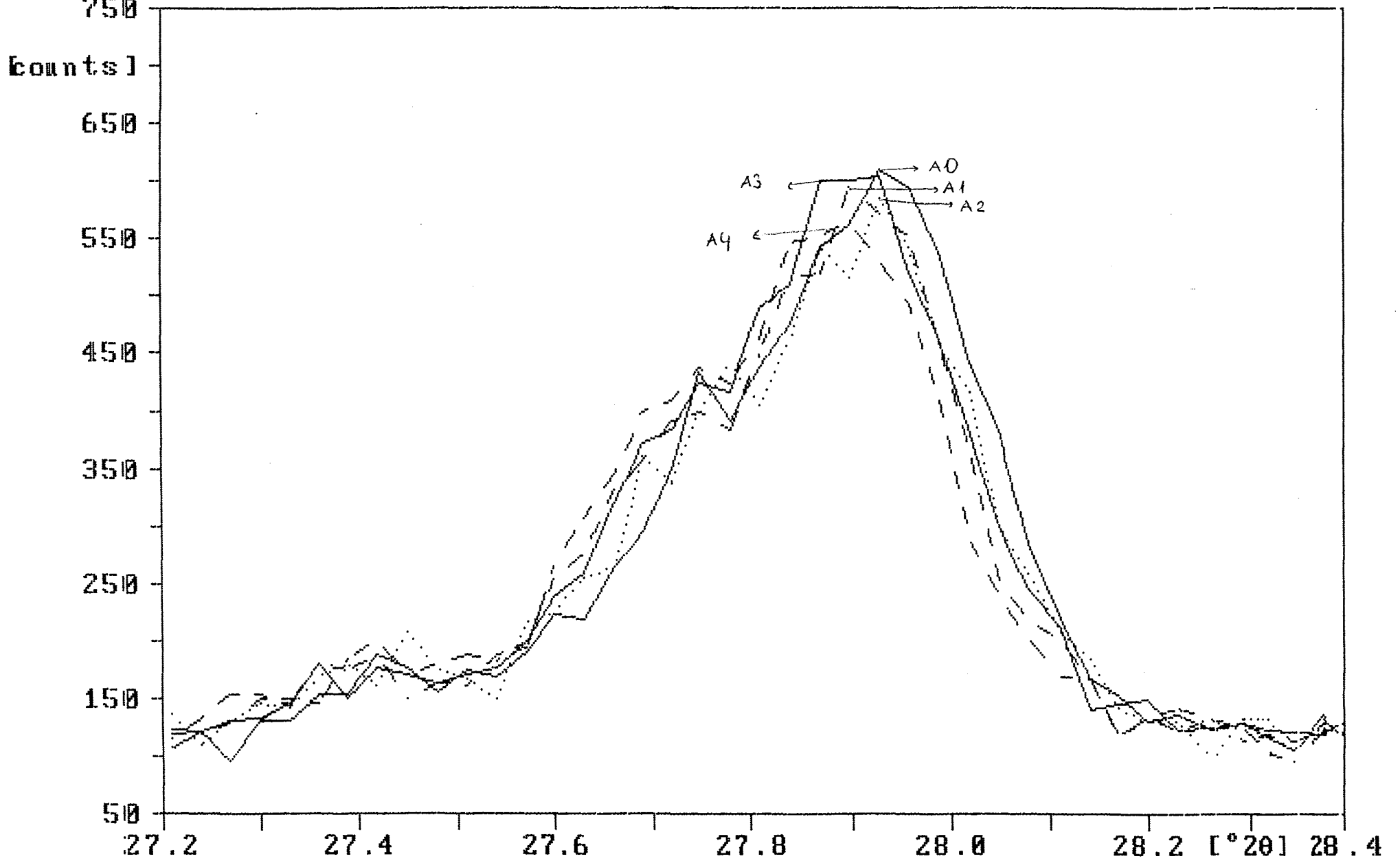
0164BFA4



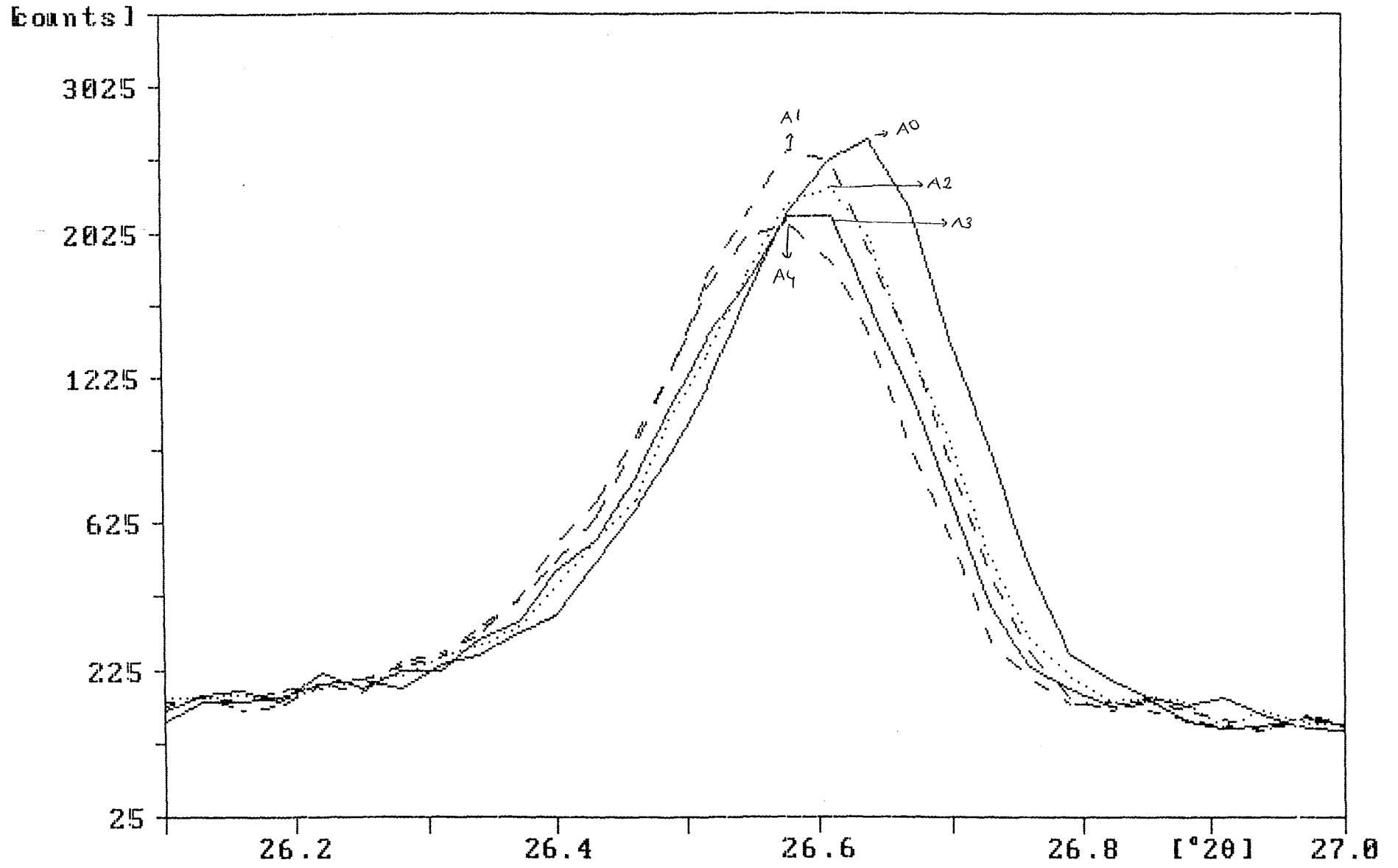
Quartz,  
Henatite  
Cristoba  
Anorthit  
Wollasto



Şekil 5.23. 1150°C'de pişmiş A4 bünyesinin X-ışınları analizi



Şekil 5.24. X-ışınları analiz sonuçlarına göre anortit fazı miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 5.25. X-ışınları analiz sonuçlarına göre kuvars fazı miktarlarının karşılaştırılması



## 6. DENEY SONUÇLARININ YORUMU ve ÖNERİLER

Toplam alkali miktarı % 7,5 - 8 arasında olan ham perlit monoporoz bünyesinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında bünyeye ilave edilmiş, üretim şartlarında hazırlanan numuneler perlit içermeyen bünye ile karşılaştırılmıştır.

Kullanılan perlitte mordenit olarak adlandırılan zeolit kristalizasyonu tesbit edilmiştir. Ayrıca perlite uygulanan DTA analizinde 413 °C 'de ekzotermik bir pik görülmüştür. Bu pik perlit bünyesindeki suyun uzaklaşmasından meydana gelmektedir. Patlatılmış perlit üretiminde 850 °C'de uzaklaşan su burada 413 °C 'de uzaklaşmıştır. Bunun sebebi, perlitin öğütme aşamasında tane boyutunun küçülmesi, böylece 850°C'de uzaklaşan ve perlitin genişmesini sağlayan gözenek suyunun serbest kalmasıdır. Yine aynı nedenden dolayı bünye çalışmalarında da ham perlit kullanıldığı halde perlit genişmesi gerçekleşmemiştir. Bu porozitede artış olmamasıyla ortaya çıkmaktadır. Yine perlit bünyesindeki suyun uzaklaşmasına bağlı olarak 850 °C ye kadar toplam % 7,29 ağırlık kaybı gerçekleşmiştir.

Tüm bünyelerin kabakum değerleri % 2-2,5 arasında olacak şekilde hazırlanmıştır. Aynı kabakum değerlerini sağlamak için gerekli öğütme süresi perlitin yumuşak ve kırılabilir yapıda olmasından dolayı perlit miktarı arttıkça azalmıştır. Bu azalma %15 ve %20 perlit ilavesinde %33' tür. Sprey kurutucuda granül hale getirilen bünyelerin tane boyut dağılımlarında da % 60'ı 250 - 355 µm arasında olacak şekilde eşit miktardadır.

Üretim şartlarında hazırlanan numunelerin kuruma küçülmelerinde değişiklik olmazken, pişme küçülmeleri perlit miktarına bağlı olarak artmıştır. Bunun yanında ham, kuru, pişmiş mukavemetlerde ve su emme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Ham yığinsal yoğunluk ölçüm sonuçlarında perlit miktarına bağlı olarak azalma görülmüştür. Ham ve kuru mukavemetlerde değişiklik olmamıştır. Bu yüzden ham yığinsal yoğunlukların azalmasına neden olarak sıkışma özelliğinin azalması gösterilemez. Bünyeye perlit girmesiyle malzemenin kütlesi azalmıştır.

Kütledeki bu azalma pişmiş yığinsal yoğunluk ve pişmiş görünür yoğunluk ölçüm sonuçlarında da gözlenmiştir. Pişmiş yığinsal yoğunluklara bakarak,

yoğunluklardaki bu azalmanın sadece kütle azalmasına değil, porozite artışına bağlı olarak da meydana geldiği söylenebilir. Daha sonra pişmiş görünür yoğunluk ölçümleri yapılarak bu konuya açıklık getirmeye çalışılmıştır. Görünür yoğunluk ölçümlerinde de aynı oranda düşüş gözlenmiştir. Bunun sonucunda yoğunluk azalmasının porozite artışına değil, kütle azalmasına bağlı olduğu görülmüştür.

Serbest kuvars miktarının belirlenebilmesi için bazı reaksiyonların ön pişirimle tamamlanabilmesi amacıyla yapılan ham dilatometre sonuçlarında değişiklik görülmemiştir. Tüm bünyelerde 570-585 °C arasında bağlı su uzaklaşmış ve 950 - 955 °C arasında karbonatların bozunmasına bağlı olarak ani küçülme gerçekleşmiştir.

1000 °C de pişmiş numunelere ikinci kez dilatometre analizi uygulanmıştır. Şekil 5.14-5.18 de görülen sonuçlarda düz çizgi numune boyundaki lineer değişimi, kesikli çizgi ise bu değişimin diferansiyelini göstermektedir. 590 °C 'de serbest kuvars miktarından meydana gelen ani genişleme diferansiyel olarak sağdaki ordinattan gözlenebilir. Perlitsiz AO bünyesinde 0,00018 olan diferansiyel değeri % 5 perlit ilavesinde 0,00017, % 10 perlit ilavesinde 0,00016 , % 15 perlit ilavesinde 0,00012 olacak şekilde azalırken, % 20 perlit ilavesinde 0,00016'ya çıkmıştır.

% 15 perlit içeren A3 bünyesinin 600 °C deki değeri haricinde ısıl genişleme katsayılarında önemli değişiklikler olmamıştır. Dilatometre sonuçlarına göre A3 bünyesi en az serbest kuvarsa sahip olan bileşimdir. Bu bünyenin ısıl genişleme katsayısındaki bu değişiklik serbest kuvars miktarına bağlıdır.

X-ışınları sonuçları bünyelerin tümünde aynı fazların olduğunu göstermiştir. Bu fazlar kuvars, kristobolit, anortit, hematit ve vollastonit fazlarıdır. Vollastonit fazı dolamitten gelen CaO ve kil minerallerinden gelen serbest SiO<sub>2</sub>'nin birleşmesiyle oluşmuştur. Bu birleşme bölüm 3.2.2. de tanımlanan reaksiyonlar boyunca gerçekleşmiştir. Faz türlerinde bir farklılık görünmediği için fazların miktarları tesbit edilmiştir. Bu tesbit sonucunda hematit ve vollastonit fazlarının çok az miktarda olduğu saptanmıştır. Diğer fazlarda ise perlit miktarına bağlı olarak düzenli bir değişiklik vardır. Bünyede perlitin artmasıyla anortit fazı ve kuvars fazı azalırken kristobalit fazında artış görülmüştür. Fakat bünyede kristobolit miktarındaki artış diğer fazlardaki azalmayı karşılamamaktadır. Faz miktarları toplandığında perlit miktarına bağlı olarak düzenli bir azalma görülmüştür. Bu sonuç perlit miktarının artmasıyla bünyedeki cam fazın artması ve kristalin faz miktarının azalmasıyla açıklanabilir. Aynı zamanda cam fazdaki bu artış daha önce açıklanmış olan kütledeki azalmaya da sebep olmaktadır.

Ayrıca bünyedeki perlit ilavesinin pişme sıcaklığını düşereceği düşünül­düğü için 1000 °C , 1075 °C ve 1150 °C de hazırlanan numuneler yine perlit içermeyen bünye ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada numuneler laboratuvar­da el presinde şekillendirildiğinden gerçek değerlere göre pişme küçülmeleri ve su emme değerleri fazla, mukavemeti ise az çıkmıştır. Bu fark perlitsiz bünye ve diğer numunelerde aynı oranda olduğu için karşılaştırma bakımından sorun yaratmamaktadır.

Bunun sonucunda beklendiği gibi pişme küçülmesi sıcaklık artışıyla arttığı gibi , perlit miktarıyla da artmıştır. 1075 °C ve 1150 °C de pişmiş numunelerde % 5 perlitli bünyenin mukavemeti azalırken su emmelerde düzenli bir değişiklik olmamıştır. % 5 perlit içeriğinde mukavemetteki bu düşüşün sebebi yine şekillendirme ile ilgilidir. Gerçek değerlendirme üretim şartlarında yapılan çalışma ile yapılmalıdır.

Bu çalışmada çıkan önemli sonuçlar aşağıda verilmiştir.

-Bünyeye perlit ilavesi sonucunda öğünme sürelerinde önemli bir azalma meydana gelmiştir. %15 ve %20 perlit ilavesinde öğünme süresi %30 oranında azalmıştır. Bunun yanında hammadde maliyetinde de önemli bir azalma görülmüştür. Bünyeye %15 perlit ilave edildiğinde maliyet %14 oranında azalırken, %20 perlit ilavesinde %19 oranında azalmıştır.

-Mukavemet ve su emme değerleri değişmediği halde pişmiş karoların kütlelerinde düşüş tesbit edilmiştir. Bu oran %10 perlit içeriğinde %1,9 iken, %15 ve %20 perlit içeriğinde % 2,7'dir. Bu da nakliye açısından önemli kazançlar getirecektir.

-Bu sonuçlar elde edilirken, pişme küçülmelerinde bir miktar artma olduğu gözlenmiştir. Bu fark üretim aşamasında kalıp hazırlanırken göz önünde bulundurulmalıdır.

-X-ışınları difraktometresi sonuçlarına göre cam fazda artış göz­lendiği için %10 ve %15 perlit içeren bünyelerin 1150°C'nin altında bir sıcaklıkta pişirilebileceği yeni bir çalışma yapılmalıdır.

-Yine cam fazı arttırma özelliğinden dolayı bünyeye perlit ilavesi yer karosu bünyesinde de olumlu sonuçlar verebilir. Bu nedenle perlit kullanımı yer karosu bünyesinde de araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. ARCASOY, A., *Seramik Teknolojisi*, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları, No:2, İstanbul, 1983.
2. British Standards Institution, EN 87, Ceramic Floor and Wall Tiles, Specification For Classification and Marking , Including Definition and Characteristics, BS6431, Part 1, 1983.
3. BRUSA, A., BRESCIANI, A., *Using a Multipurpose Tile Body*, The American Ceramic Society Bülleten, Volum. 74, No.9, 1995.
4. CORNELIUS, S., HURLBUT, Jr., *Mineroloji* (Çev. İnan, K., Tanoğlu, E), İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1982.
5. DOĞAN, Ş., *Seramik teknolojisi*, İstanbul, 1985.
6. ENGELTHALER, Msc. Phd., Z. A., *işlenmiş Perlitin Entegre Kullanımı*, Çanakkale, 1996.
7. ESCARDİNO, A., *Single Fired Ceramic Wall Tile Manufacture*, Tile & Brick, Volum. 9, No. 1, s. 14-16, 1993.
8. ESCARDİNO, A., *Single Fired Ceramic Wall Tile Manufacture*, Tile & Brick, Volum. 9, No. 2, s. 73-77, 1993.
9. FUANTE, C. D., QUERALT, I., SANFELIU, T., *Mineralogical Transformation in Fring and Their Application in Quality Control*, Tile & Brick, Volum. 6, No. 4, s. 21-23 1990.
10. FUGMANN, K: G., REH., H., *How to Produce Tiles*, Interceram, s. 1-13, 1992.
11. GÜNER, Y., *Seramik*, İstanbul, 1987.

- 12.HARBEN, P: W., *The Industriyel Mineral Handybook, a Guide to Markets, Specifications and Prices*, 1991.
- 13.Ponza ve Perlitin Jeolojisi, Ekonomisi, Ülkemizdeki Yataklar., HÖKELEK, A., İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Bitirme Ödevi, Maden Yatakları - Jeokimya Anabilimdalı, İstanbul, 1993, 90.
- 14.IBANEZ, A., PENA, P., SANDOVAL, F., GONZALEZ, J: M., *Modification of the Inert Component in Wall Tile Bodies*, The American Ceramic Society Bülletini, Volum. 71, No.11, s. 1661-1668,1992.
- 15.KARA, F., *Seramik Proses Teknikleri Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 1995.
- 16.KIRIKOĞLU, M. S., *Endüstriyel Mineraller*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1990.
- 17.KİNGERY, W. D., BOWEN, H: K., UHLMAN, D. R., *Introduction to Ceramics*, Second edition, New York, 1975.
- 18.Prinç Kabuklarından Elde Edilen Aktif Silikanın Yumuşak Porselen Üretiminde Kullanılması., KULA, S., Yüksek Lisans Tezi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 1996, 100.
- 19.MOGİLSKÍ, L., *Use of Perlit in the Production of Electrical Porcelain*, Interceram, Volum. 39, No.1, s. 24-25, 1990.
- 20.NORTON, F. H., *Elements of Ceramics*, California, 1974.
- 21.ORHUN, O., *Seramik Yer Ve Duvar Karolarındaki Gelişmeler, 2000'li Yillara Doğru Geleneksel Seramikler Teknolojisindeki Gelişmeler Ve Gelecekte Beklentiler*

*Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı*, Türk Seramik Derneği Yayınları, No:13, Eskişehir, 1995.

22.REED, J: S., *Introduction to The Principles of Ceramic Processing*, New York State College of Ceramics, Alfred University, New York, 1989.

23.SANCHEZ, E., GARCIA, J., SANZ, V., OCHANDIO, E., *Raw Material Selection Criteria for the Production of Floor and Wall Tiles*, Tile & Brick, Volum. 6, No. 4, s. 15-21, 1990.

24.STELMACH, T., *Perlit in The Production of Lightweight Bricks*, Interceram, Volum.6, No.6, s.12-15, 1990.

25.TEMUR, S., *Endüstriyel Hammaddeler*, Konya, 1994.

26.Türkiye Perlit Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, No:193, Ankara, 1985.

27.Türk Standartları, TS-EN 87, Seramik Yer ve Duvar Karoları-Tarifler, Sınıflandırma, Özellikler ve İşaretleme, Ankara, 1995.

28.Türk Standartları, TS-EN 99, Seramik Karolar-Su Emme Tayini, Ankara, 1995.

29.Türk Standartları, TS-EN 100, Seramik Karolar-Kırılma Modülü Tesbiti, Ankara, 1995.

30.Türk Standartları, TS-EN 103, Seramik Karolar-Lineer Termal Genleşme Tayini, Ankara, 1995.

31.Türk Standartları, TS-EN 159, Seramik Karolar- Toz Halinde Preslenmiş-Su Emmesi  $E > \% 10$  (B3 grubu), Ankara, 1995.

32.YERSEL, G., *Seramik Hammaddeleri Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, 1996.