

HAZİRAN, 1996

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında, bana her zaman yardımcı olup, yol gösteren Sayın hocam Prof. Serdar ÖZGEN 'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında Söğüt Seramik Sanayii A.Ş. 'de çalışma olanaklarını sağlayan Teknik Müd. Ali DÜNDAR 'a ve burada deneylerimin yapılmasında yardımcı olan diğer çalışanlara teşekkürü bir borç bilirim.

Bu arada deneysel çalışmalarımın bir bölümünün, Tübitak MAM Malzeme Araştırma Bölümünde yapılmasına yardımcı olan Sayın hocam Doç. Dr. Volkan GÜNAY 'a teşekkür ederim.

Ayrıca, gerek tüm öğrenim hayatım boyunca bana maddi, manevi destek veren canım aileme, gerekse teşvik ve desteğiyle birlikte fedakarlığını da esirgemeyen çok sevgili eşim Bilgisayar Mühendisi Oktay DUMAN 'a teşekkürü borç bilirim.

HAZİRAN - 1996

Nilüfer DUMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ	ii
ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. SERAMİK KARO ENDÜSTRİSİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU	2
BÖLÜM 3. SERAMİK KARO ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER	6
3.1. Hammaddeler	6
3.1.1. Özlü Olan Hammaddeler	6
3.1.2. Özsüz Olan Hammaddeler	8
3.2. Seramik Karo Reçeteleri	11
3.2.1. Kırmızı Karo Hammaddeleri	11
3.2.2. Beyaz Karo Hammaddeleri	11
BÖLÜM 4. HIZLI TEK PIŞIRIM KARO ÜRETİM PROSESİ	12
4.1. Genel Bilgiler	12
4.2. Öğütme ve Homojenleştirme	15
4.3. Püskürtmeli Kurutma	15
4.4. Presleme ve Şekillendirme	17
4.5. Hızlı Kurutma	17
4.6. Astarlama	18
4.7. Sırlama	18
4.8. Hızlı Tek Pişirim (Fast Firing)	19
4.8.1. Pişirme Sırasında Meydana Gelen Olaylar	20
4.8.2. Hızlı Tek Pişirim Roller Fırınları	23
BÖLÜM 5. UÇUCU KÜLLERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	27
5.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Sınıflandırılması	27
5.2. Uçucu Küllerin Oluşumu	28
5.3. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Uygulamaları	29
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
6.1. Çalışma Programı	35
6.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	35
6.3. Hammadde Karakterizasyonu	35

6.3.1. Kimyasal Analiz	35
6.3.2. Mineralojik Analiz	36
6.3.3. Tane Boyutu ve Özgöl Ağırlık Analizi	37
6.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	38
6.4.1. Harmanlama ve Kalıplama	38
6.4.2. Kurutma , Sırlama ve Sinterleme	39
6.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri	40
6.5.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme	40
6.5.2. Su Emme	40
6.5.3. Yığın Yoğunluk	41
6.5.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti	41
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	43
7.1. Hammadde Karakterizasyonu	43
7.1.1. Kimyasal Analiz	43
7.1.2. Mineralojik Analiz	44
7.1.3. Tane Boyutu ve Özgöl Ağırlık Analizi	56
7.2 Kurutma, Sırlama ve Sinterleme	65
7.3. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri	66
7.3.1. Kuruma, Pişme ve Toplu Küçülme	66
7.3.2. Su Emme	70
7.3.3. Yığın Yoğunluk	74
7.2.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti	77
BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	88

ÖZET

Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santrali atık uçucu küllerinin seramik karo üretiminde değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, çalışmada kullanılan hammaddelerin ve uçucu küllerin karakterizasyonları yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları uçucu küllerin yüksek oranlarda alümina, silis, alkali ve toprak alkaliler ile demir içerdiğini göstermiştir. %10.27 oranında tespit edilen Na_2O kullanılan feldispatın albit (sodyum feldispat) olduğunu göstermiştir. X-Işınları Difraksiyon yöntemiyle yapılan mineralojik analizlerde, uçucu küllerin çoğunlukla camsı amorf fazlar içerdiği tespit edilmiştir. Kristal faz olarak α - kuvars, dolomit, karbon ve demir bileşikleri görülmüştür. Demir bileşikler maghemit ve hematit şeklindedir. Kilin çok kompleks olan yapısının çoğunluğunu muskovit, diğer kısmını ise α - kuvars, illit ve montmorillonit oluşturmaktadır. Özgül ağırlık ölçümleri Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleri için 2.33 ve 2.41 gr/m³ olarak bulunmuştur. Kil, kuvars ve feldispat hammaddeleri için bu değerler 2.64, 2.63, 2.66x10³ kg/m³ 'tür. Uçucu küllerin tane boyutlarının 2-70 μm arasında değiştiği ve Seyitömer külünün bu aralıkta daha iri tane dağılımına sahip olduğu görülmüştür. Kil, kuvars ve feldispat için tane boyut dağılımı sırasıyla 0.5-50 μm , 0.6- 65 μm ve 0.5-65 μm 'dur.

Çalışmanın ikinci aşamasında, karakterizasyonları yapılan malzemeler değişik oranlarda azaltılıp çoğaltılmak suretiyle değişik bileşimlerde harmanlanmışlardır. Bu karışımlardan yarı kuru presleme yöntemiyle 41x8x5 mm. boyutlarında çubuk ve el presiyle 100x60x6 mm boyutlarında dikdörtgen numuneler üretilmiştir. Her iki numune grubun da 110°C 'de kurutulmuşlardır. Dikdörtgen numuneler sırlanarak 1180°C 'de pişirilerek sır ile etkileşim incelenmiştir. Çubuk numuneler ise 1100°C 'de sinterlenerek çeşitli testlere tabi tutulmuşlardır. Tunçbilek ve Seyitömer uçucu küllerinin %25 oranında kullanıldığı dikdörtgen numunelerin, pişme neticesinde sır ile etkileşimleri olumlu sonuçlar vermiş ancak sır yüzeylerinde iğne deliklerine rastlanmıştır. Sırlanan numuneler kırıldığında göbeklenme (black core) problemiyle karşılaşmıştır. Çubuk numunelerde uçucu kül ilavesi 1, 2 ve 3 nolu gruplarda toplu küçülmede artışa, 4. grupta ise kil yüzdesinin azalmasına bağlı olarak düşüşe sebep olmuştur. Herbir grupta kül yüzdesi artarken kil, kuvars ve feldispat yüzdesinin yine gruplara göre azaltılması su emme miktarında artışa, yoğunlukta ise düşüşe sebep olmuştur. Üç noktada eğme mukavemetinin 1, 2 ve 3 nolu gruplarda kül yüzdesiyle arttığı ve en yüksek mukavemet değerlerine %25 uçucu kül içeren numunelerin sahip olduğu görülmüştür. 4 nolu grupta azalan kil miktarının mukavemeti olumsuz yönde etkilendiği saptanmıştır.

Sonuçta, tüm değerler karşılaştırılarak karo üretiminde kullanılacak uçucu kül ilaveli optimum bileşimin gerek Tunçbilek gerekse Seyitömer uçucu külü içeren numuneler için %50 kil, %25 feldispat, %10 kuvars ve %15 kül bileşimi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, atık uçucu küllerin, karo üretiminde değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

APPLICATION OF THERMAL POWER PLANT FLY ASH IN CERAMIC TILE PRODUCTION

SUMMARY

Securing raw material supplies is becoming more and more important because high- grade raw materials in large quantities are less and less frequently available. This means that the use of raw materials of lesser quality must be resorted to more and more heavily and that the preparation of these raw materials is gaining an even greater significance.

A second new direction of development is the recycling of waste materials from a company's own production or such materials from other industry branches as secondary raw materials.

Fly ash, produced as waste material in coal- fired thermal power plants, present an environmental problem due to the large quantities. In our society, it is required that waste should be disposed of and got out of sight inexpensively and effectively. However, the matter cannot any longer be settled merely by storing the waste; new treatment methods must be found in which harmful environmental effects can be minimized. Utilization of fly ash has been tried for decades in many areas such as concrete, lightweight aggregate, brick, highway pavements, and so on. However, the utilization rate is still below 20% because of the difficulty in controlling the quantity of fly ash.

Fly ash originates from power plants that use coal for fuel. This fly ash is collected by the cyclones and precipitator as known arrestors and stored in bunkers. The physical and chemical properties of fly ash depends on the fuel used and the combustion condition. The fly ash has different particle size and shape. In generally, fly ash has particle size distribution between 1-100 μm . Some of the particles are spherical shaped, agglomerate and cornered shaped. No matter what type, fly ash is mainly composed of magnetic particles, unburned carbon and clean ash. If these components can be utilized for wider applications. The fly ash comprises chemically a mixture of the following oxides, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO and MgO . The use of waste materials, especially fly ash, in the ceramic body lighter than the traditional materials, because the organic material that the waste contains burns away during the firing.

This study has been investigated the possibility of using fly ash in ceramic tile production as a raw material source. For this purpose, Tunçbilek and Seyitömer power plants waste fly ashes were used.

The investigation has been carried out in two stages. In the first step of this study, the characterization of different fly ash samples which collected from Tunçbilek and Seyitömer power plants and clay, quartz and feldspar raw materials were obtained by the following analytical techniques and tests.

- Chemical Analysis
- Differential Thermal Analysis (DTA) and X-Ray Diffraction
- Specific gravity and particle size measurements

The chemical compositions of the fly ashes of Seyitömer and Tunçbilek, clay, quartz and feldspar raw materials are in Table 1., respectively.

Table 1. Chemical Analysis for used materials in the study.

Components	Seyitömer Fly Ash (wt-%)	Tunçbilek Fly Ash (wt-%)	Clay (wt-%)	Quartz (wt-%)	Feldspar (wt-%)
SiO ₂	54.87	53.96	60.24	92.02	69.44
Al ₂ O ₃	16.42	17.91	22.65	4.41	18.92
Fe ₂ O ₃	11.53	11.13	2.28	0.40	0.18
TiO ₂	0.52	1.08	1.08	0.11	0.27
CaO	4	1.63	0.92	0.69	0.56
MgO	3.92	3.95	0.67	0.10	0.08
K ₂ O	1.67	1.62	2.55	1.73	0.31
Na ₂ O	0.28	0.06	0.06	0.42	10.27
Loss On Ignition	2.85	5.72	9.69	0.13	0.04

In the second step of the study, four groups of samples whit different proportion of fly ash and other raw material (clay, quartz, feldspar) were prepared. These groups are as Table 2.

The Seyitömer and Tunçbilek power plants waste fly ashes were added to the clay, quartz and feldspar mixture separately in the range of 5-15-25 wg-% in 3 steps.

Rectangle shaped (100 x 60 x 6 mm.) and bar shaped samples (41 x 8 x 5 mm.) were prepared from each group, using semi- dry pressing method. After drying the samples at 110°C, the samples were sintered at 1100°C with 10 °C/min. heating rate. The rectangle samples which have %25 ratio of both Seyitömer and Tunçbilek fly ash were glazed. After glazing, the samples were sintered at 1180 °C.

Table 2. Mixture percentage of used materials in the study.

Sample Code	Fly Ash (%)	Clay (%)	Quartz (%)	Feldspar (%)
1	5	50	25	20
	15	50	25	10
	25	50	25	-
2	5	50	20	25
	15	50	10	25
	25	50	-	25
3	5	50	22.5	22.5
	15	50	17.5	17.5
	25	50	12.5	12.5
4	5	45	25	25
	15	35	25	25
	25	25	25	25

The following tests were carried out to evaluate the properties of the sintered samples;

- Drying, firing and total shrinkage tests,
- The water absorption testing,
- Bulk density testing,
- The three point bend strength tests.

The results of the first step of this study are summarized as follows;

- Chemical analysis results indicate that Seyitömer and Tunçbilek fly ashes contain high alumina, silica and iron, i.e. 16.42 wt-%, 54.87 wt-%, 11.53 wt-%; 17.91 wt-%, 53.96 wt-%, 11.13 wt-%. Owing to this high SiO_2 content, the fly ashes can also be used as a substitute for determining the superior properties of fly ash additive products as well as improving the ability to withstand high temperature firing. The chemical analysis result indicate that feldspar contain 10.27 wt-% of Na_2O . This result illustrated that feldspar was albit (sodium feldspar).

- X-ray diffraction study showed that the fly ash samples mainly consisted of glassy phase and the remaining crystalline phases. The Seyitömer fly ash consists of a-quartz, dolomite, anorthite, albite, biotite, carbon and iron compounds. The Tunçbilek fly ash consists of a-quartz, silimanite, dolomite, clinoenstatite, gismondine, carbon and iron compounds. Both fly ash's compounds are maghemite and hematite forms.

After fly ashes were sintered at 1100°C, α -quartz changed in to cristobolite. Clay raw material mainly consists of muscovite and α -quartz, illite and montmorillonit. X-ray diffraction of quartz raw material showed that it's structure completely constitutes α -quartz. Feldspar mainly consists of sodium feldspar and α -quartz.

- The result of the wet sieve analyses showed that particle size of Tunçbilek and Seyitömer fly ashes were greater than 45 μm . (i.e. 40.88 wt-% and 86.15 wt-%), respectively. Result of clay's particle size distribution showed that only 8.5 wt-% was greater than 45 μm . This fineness means that, in preparation clay bodies require less grinding. The particle size distribution of quartz and feldspar (i.e. 86.11 wt-% and 82.95 wt-%, respectively.) were greater than 45 μm .

In the second step of particle size analysis, particle size distribution of fine particles (under the 45 μm .) carried out in the Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer. Results of fly ashes analysis revealed size distribution between 2-70 μm . Particle size of clay, quartz and feldspar were the range of 0.5-50 μm ., 0.6-65 μm . and 0.5-65 μm ., respectively.

- The specific gravity results showed that of Seyitömer and Tunçbilek fly ashes, clay, quartz and feldspar are 2.33, 2.41, 2.64, 2.63 and $2.66 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, respectively. The specific gravity for fly ashes is higher than the average specific gravity value ($2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). This is due to the higher percentage iron oxide content.

Tests carried out on samples sintered at 1100°C have given the following results.

- In glazed samples, the interaction between masse and glaze was good but pin holes were seen on the glazed surfaces. When the sintered samples were broken, black core problem was seen. Black core problem came out when the organic materials in the tile body did not have enough combustion and oxidation.

- Changing fly ash, quartz and feldspar constituents were no changed drying shrinkage. Therefore, the total shrinkage quantity was investigated. The total shrinkage was found to be increased with 15 wt-% fly ash and 10 wt-% feldspar addition in group 1. Then, 25 wt-% fly ash and 0 wt-% feldspar addition was decreased the total shrinkage. In group 2, decreasing in quartz percentage but increasing in fly ash percentage, resulted to an increase in the total shrinkage the samples. In group 3, decreasing in both quartz and feldspar percentage, resulted to an increase, then to a decrease in the total shrinkage the samples. The total shrinkage in group 4 samples, decreasing in clay percentage, resulted to a decrease. These results were thought that, this is due to the loss of carbon in fly ash, partly decomposition of CaSO_4 and the loss of crystal water in clay.

- Increasing the addition of both Tunçbilek and Seyitömer fly ashes causes increase in water absorption. Therefore, each of group's bulk density value decreased with the increasing fly ash percentage.

- The results of three point bend strength tests showed that the strength increases with the increase in groups 1,2 and 3 whit fly ash percentage. In group 4, strength decreases with the increase clay. This due to the formation of glassy phase.

The overall results showed that, optimum mixture for tile application was 50 wt-% clay, 25 wt-% feldspar, 10 wt-% quartz and 15 wt-% fly ash. This will head to cheaper raw materials as well as minimize to pollution of the environmental.



BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Ülkemizdeki termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında büyük miktarlarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Bu külleri depolamak veya atmak büyük güçlükler doğurmakta ve çevre açısından sorun kaynağı olmaktadır. Çevre kirliliğini önlemek ve aynı zamanda ucuz bir malzeme kaynağı olarak kullanmak amacıyla termik santral uçucu küllerinin çeşitli alanlarda değerlendirilmesine çalışılmaktadır. Yapılan araştırmalar bu küllerin tuğla, çimento, beton, hafif agrega yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Diğer taraftan seramik endüstrisi (özellikle inşaat sektörüne bağlı olarak gelişen seramik kaplamalar- yer ve duvar karoları) ülkemizde son yıllarda büyük atılım gerçekleştirmiş ve seramik karo üretim kapasitesi 1994 sonu itibarı ile 90 milyon m²/yıl seviyesine ulaşmıştır. Seramiklerin üretiminde kullanılan hammaddelerin bir kısmı ithal edilmekte diğer kısmı ise ülkemizin zaten sınırlı olan ve gittikçe nitelik ve nicelik olarak daralan rezervlerinden kullanılmaktadır. Dolayısıyla seramik karo üretiminde uçucu küllerin kullanımı, hem çevreye zarar etkisinin azaltılması hemde bu büyük sektörde ucuz ve bol bir hammadde kaynağı yaratması bakımından değerlendirilmeye değer bir konudur (4).

Bu projenin amacı, Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santral atık uçucu küllerinin seramik karo üretiminde değerlendirilebilmesini araştırmaktır. Birinci aşamada, uçucu kül örnekleri ile seramik karo üretiminde kullanılan kil, kuvars, feldispat gibi hammaddelerin çeşitli karakterizasyonları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, uçucu küller bu hammaddelerle çeşitli oranlarda harmanlanmışlardır. Harmanlanmış karışımlardan presleme ile üretilmiş olan numunelere sinterleme öncesi ve sonrası çeşitli testler uygulanmıştır. Böylece gerek uçucu kül içeren optimum seramik reçetesi belirlenmeye gerekse en iyi özellikleri sağlayan proses koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır.

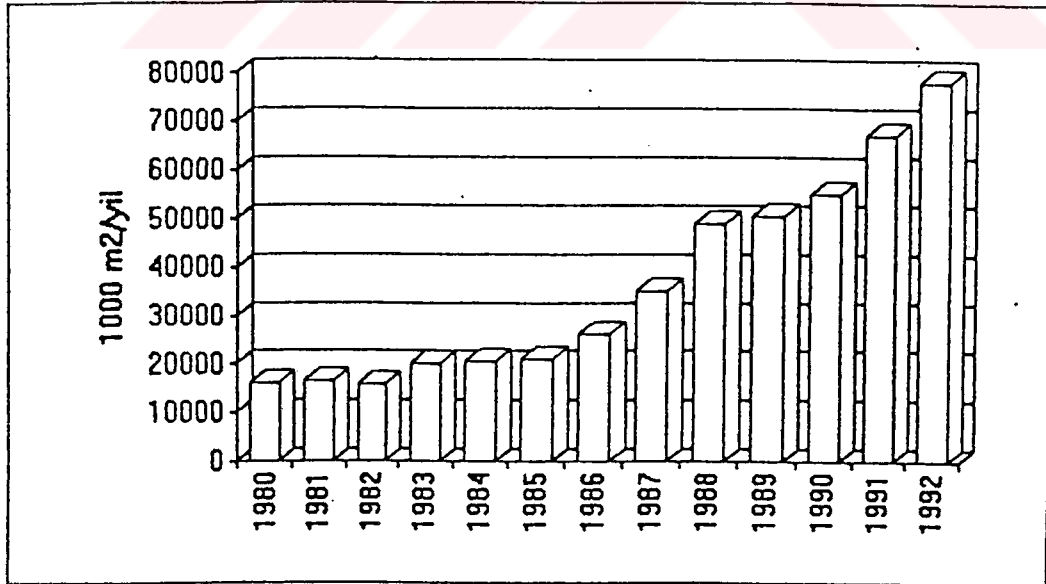
BÖLÜM 2

2. SERAMİK KARO ENDÜSTRİSİ VE TÜRKİYE 'DEKİ DURUMU

Seramik yer ve duvar karoları; kil, kuvars, feldispat gibi organik hammaddelerin öğütülüp belirli oranlarda karıştırılıp plaka halinde şekillendirildikten sonra, sırlı veya sırsız, desenli veya desensiz olarak bir veya birden fazla pişirilerek sertleştirilmesi suretiyle elde edilen, yer ve duvar kaplamasında kullanılan seramik malzemeleridir.

Seramik yer ve duvar karoları, dayanıklılık, kullanışlılık ve sağlıklı olma gibi teknik özelliklerinin yanı sıra renk, desen, kullanılacak mekana ve modaya uyum gibi estetik yanlarıyla nihayi tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılayan ürünlerdir. Seramik sanayi içinde gerek üretim, gerek ihracat, gerekse yurtiçi talep açısından önemli bir paya sahip bulunmaktadır (1).

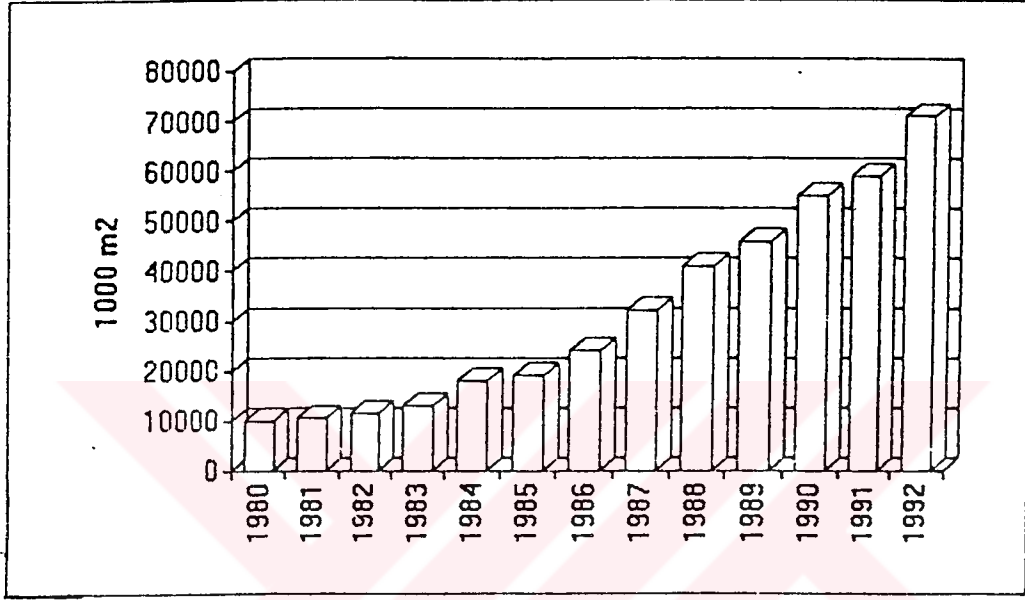
Elverişli hammadde kaynakları ve ilerlemiş insan gücünün yardımıyla Türk seramik endüstrisi son 20 yılda hızlı bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmenin en başarılı alanı ise yer ve duvar karolarında kullanılan seramiklerin üretimidir (2).



Şekil 2.1. 1980 - 1992 arasında Türkiye 'deki yer ve duvar karolarının kapasite gelişimi (3).

1980 - 1992 yılları arasındaki yer ve duvar karoları üretim kapasitesinin gelişimi

incelendiğinde üretim kapasitesinin yılda ortalama %15 büyüdüğü 1980 yılında 15.3 milyon m² iken, 1992 sonunda 78.7 milyon m² 'ye ulaştığı görülmektedir. Aynı dönem içinde yıllık ortalama üretim artış hızı %18 düzeyinde seyrederek, üretim 1980 yılında 9.8 milyon m² 'den, 1992 sonunda 71.2 milyon m² düzeyine çıkmıştır (3).



Şekil 2.2. 1980-1992 arasında Türkiye 'deki yer ve duvar karolarının üretiminin gelişimi (3).

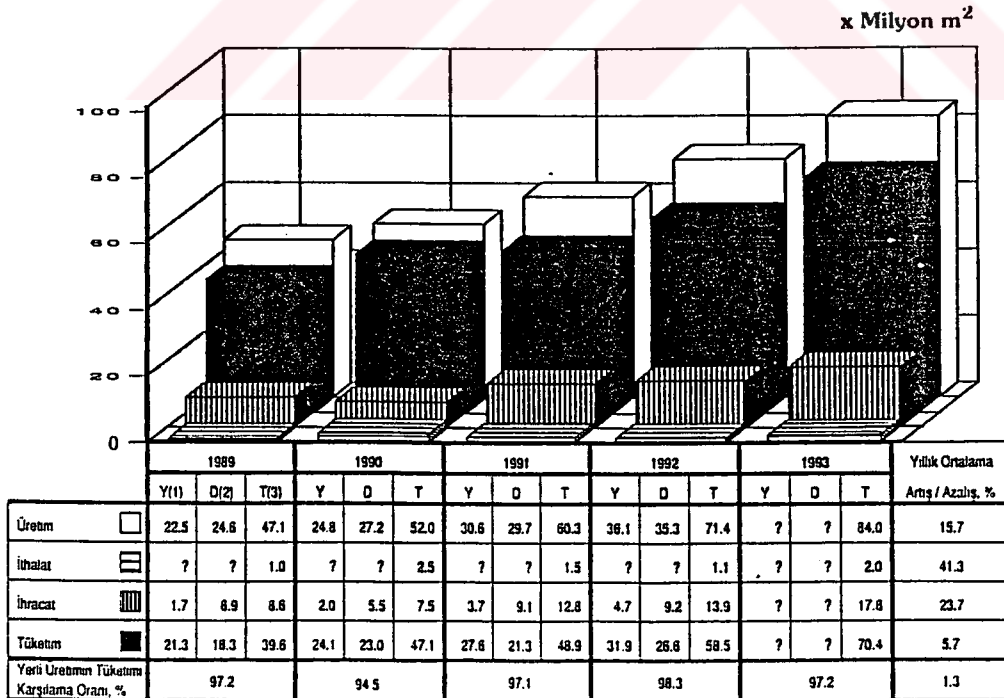
Türkiye seramik sektörünün önde gelen ürünlerinden olan yer ve duvar karoları 1993 başı itibariyle 14 büyük şirket tarafından üretilmektedir. Bu alt sektördeki şirketlerin kurulu kapasiteleri ve toplam kapasitedeki payları Tablo 2.1 'de verilmektedir (3).

Alt sektördeki kapasitenin %76.4 'ü beş büyük şirkete, sırasıyla Çanakkale, Kalebodur, Ege, Toprak ve Söğüt 'e aittir. 1993 yılı sonu itibariyle toplam sektör kapasitesinde Çanakkale ve Kalebodur Seramik %40.2 'lik bir pay ile liderliklerini sürdürmektedirler. Bu firmaları %26.6 ile Ege ve Toprak izlemektedir (4).

Yer ve duvar karoları üretim kapasitesi, inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak, son yıllarda gerçekleştirilen komple yeni yatırımlar, modernizasyon ve tevziat çalışmaları ile sürekli bir artış göstermiştir. Sektörde gözlenen bu canlılık seramik sektöründe yansımış ve özellikle yer ve duvar karoları 1992 yurtiçi satışları sırasıyla %19 ve %28 oranında artış göstermiştir (2).

Tablo 2.1. Kaplama Malzemeleri Alt-Sektöründeki Şirketlerin Kurulu Kapasiteleri ve Kapasite Payları, 1993 (4).

Firma	KAPASİTELER			Toplam Kapasitedeki Payı, %
	Yer Karosu	Duvar Karosu	Toplam	
Çanakkale Seramik Fab. A.Ş.	-	21	21.0	21.4
Kalebodur Seramik San. A.Ş.	18,5	-	18.5	18.8
Ege Seramik San. A.Ş.	8.0	8	16.0	16.2
Toprak San. ve İz. San. A.Ş.	4.1	6.1	10.2	10.3
Söğüt Seramik San. A.Ş.	3.95	5.65	9.6	9.7
Eczacıbaşı Karoseramik San. A.Ş.	2.5	2.1	4.6	4.7
Serel Seramik San. A.Ş.	3.0	1.5	4.5	4.6
Kütahya Porselen San. A.Ş.	3.0	-	3.0	3.0
Uşak Seramik San. A.Ş.	1.2	1.5	2.7	2.7
Hitit Seramik San. A.Ş.	1.15	1	2.15	2.2
Bozüyük Seramik San. T.A.Ş.	1.2	1.7	2.9	2.9
Anatolia	-	1.5	1.5	1.5
Seranit Seramik San. A.Ş.	1.0	-	1.0	1.0
Seramiksani	1.0	-	1.0	1.0
Toplam	48.6	50.1	98.7	100.0

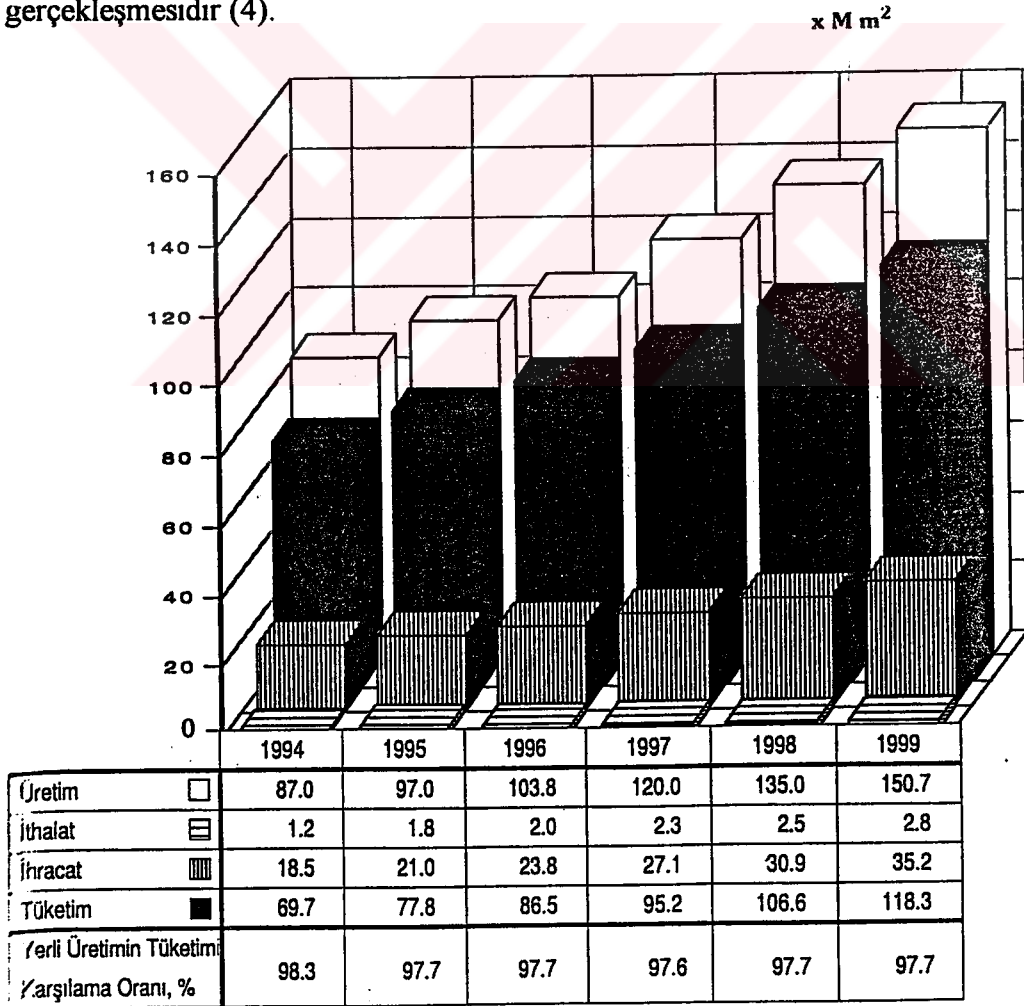


(1) Y : Yer Karoları - (2) D : Duvar Karoları - (3) T : Toplam -

Şekil 2.3. 1989-93 Yıllarına İlişkin Üretim, Tüketim, İthalat ve İhracat ile İlgili Gelişmeler (4).

Yeni modern tesislerin üretime girmesi ve mevcutların rehabilite edilmesi, ürün tasarımı uluslararası boyut kazandırılması sonucunda yüksek standartlı ürün üretimi gerçekleştirilmiş ve böylece gelişmiş ülke pazarlarında girilebilmiştir (4). Bu gelişmelerle bağlantılı olarak yerli pazar satışları ve ihracatın miktarı 1992 verilerine göre 400 milyon US-\$ oranındadır. Bu sayının yaklaşık %80'i olan 320 milyon US-\$ yalnızca yer ve duvar karolarının satışlarından elde edilmiştir (2). 1993 yılında 2 milyon m², \$. 5.5 milyon değerinde dış alım yapılmıştır. Şekil 2.3. 'de 1989-93 yıllarına ilişkin üretim, tüketim, ithalat ve ihracat ile ilgili gelişmeler görülmektedir (4).

Şekil 2.4 'de gelecek döneme ilişkin üretim tüketim dengesi projeksiyonu görülmektedir. DPT Seramik Özel İhtisas Komisyonunca yapılan ithalat ve ihracata ilişkin tahminler düşük görülmektedir. Gelişmeler ihracatın bunun çok daha üzerinde gerçekleşeceği yönündedir. Beklenti ihracatın üretimin %50'si oranında gerçekleşmesidir (4).



Şekil 2.4. Gelecek Döneme İlişkin Üretim-Tüketim Dengesi Projeksiyonu, 1994-99 (4).

BÖLÜM 3

3. SERAMİK KARO ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

3.1. HAMMADDELER

Seramik karo üretiminde kullanılan hammaddeler özlü ve özsüz hammaddeler olmak üzere iki kısma ayrılırlar.

3.1.1. Özlü Olan Hammaddeler

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurudukları zaman verilen şekli muhafaza eden hammaddelerdir (4).

A) Karbonatlı Killer: Kalsitin yüzdesi % 20 'yi geçmemelidir. İllit - krolit ve illit - kaolin içerir. Pişme sonrası verdiği renk turuncudur.

B) Vitrikiye Olabilen Plastik Killer: Hemen hemen hiç karbonat içermezler. Kil mineralleri illit-klorit şeklindedir. Sisteme plastiklik kazandırır. Pişme rengi kırmızıdır.

C) İllit-Killer: Kil matriksi az miktarda illit içeren kaolinittir. Pişme rengi beyazdır.

D) Kaolinitik Killer: Refrakter özelliğe sahiptir. Plastikliği büyük ölçüde tane boyut dağılımına bağlıdır (6).

Hızlı Tek Pişirim teknolojisine uygun bu hammadde bileşimlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1 'de verilmiştir.

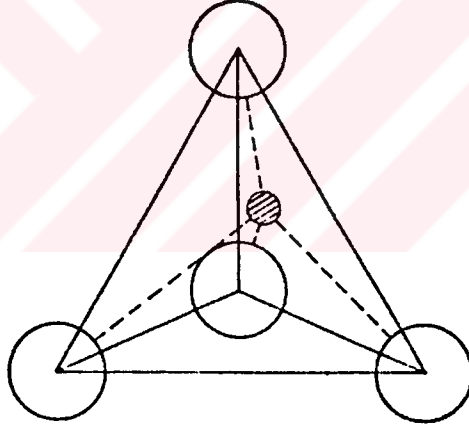
Tablo 3.1. Hızlı-Tek Pişirim Teknolojisine Uygun Bazı Hammadde Bileşimlerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (6).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.
A) Karbonatlı Killer	55/65	12/15	0.1/0.5	1/3	8/10	1/2	1/2	0.5/1.5	12/15
B) Vitrikiye Olabilen Killer	60/65	15/20	0.1/0.5	3/5	1/2	0.5/1	2/3	1/1.5	6/8
C) Beyaz Plastik Killer	55/65	22/29	0.5/1	0.5/1	0.5/1	0.1/0.5	1/2	0.5/1.5	6/8
D) Kaolinitik Killer	50/60	25/30	0.5/1	0.5/1	0.1/0.5	0.1/0.5	0.5/1	0.5/1	7/12

Fiziksel Özellikler	A	B	C	D
Kurutmadan önceki kırılma yükü (kg/cm ²)	8/15	10/20	10/30	6/10
Kurutmadan sonraki kırılma yükü (kg/cm ²)	15/30	15/40	20/40	15/20

1100°C'de Pişirme Sonrası	A	B	C	D
% Porozite	8/12	2/6	5/10	15/20
% Büzülme	2/3	4/6	3/5	2/4
Pişırmenden sonraki kırılma yükü (kg/m ²)	180/220	200/300	180/250	80/120

Kil mineral grupları silikat yapısındadır. Tüm silikatların yapıtaşı, ortada silisyum iyonunun bulunduğu dört oksijen iyonlu bir tetraedr yapıdır (5). Merkezdeki her bir +4 değerli silisyum iyonu, -2 değerli dört komşu oksijen iyonunun birer negatif valansları ile birleşir (7). Oksijen iyonlarının arasına sığabilen Si iyonu, bozulmaz bir özellik gösteren (SiO₄)-⁴ tetraedri oluşturur (5). Şekil 3.1 'de (SiO₄)-⁴ tetraedr yapısı görülmektedir (7).



Şekil 3.1. (SiO₄)-⁴ tetraedr yapısı

Kil mineral grubuna giren mineraller şöyle sıralanabilir (5):

a) Kaolinit Grubu

Nakrit, Dikit, Kaolinit	(Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O)
Halloysit	(Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 4H ₂ O)
Allofan	(Al ₂ O ₃ . mSiO ₂ . nH ₂ O)

b) Montmorillonit Grubu

Pyrophyllit	$(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$
Montmorillonit	$(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O})$
Beidellit	$(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O})$
Nontronit	$((\text{Al,Fe})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O})$
Saponit	$(2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$

c) İllit Grubu

Muskovit	$(\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$
Biotit	$(\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$

3.1.2. Özsüz Olan Hammaddeler

A) İnert Malzeme İçeren Hammaddeler

Çok ince öğütölseler bile su ile kolayca şekil verilemeyen, şekil verilse bile bir dış etken ile şeklini kaybedip dağılan hammaddelerdir (5).

Feldispat

Kil ve kaolenlerin anaç kayası olan feldispat, bünyesindeki alkaliler ile kil ve kaolene göre ergime derecesi düşük olan bir seramik hammaddesidir. Seramik ürünleri oluşumunda, feldispat, bünyedeki alkali oranına bağlı olarak sinterleşme ve camlaşmayı sağlar (8). Bu alkalilerin mevcudiyeti feldispatlara oldukça düşük ergime noktası verir. Böylece cama veya sıvıya dönüşürken kil ve kuvars katı madde olarak kalır. Ergimiş feldispat katı maddeleri ergitip onlarla reaksiyona girer. Feldispat delikleri doldururken yüzeyssel gerilim onları tedricen ayırır (9,10). Feldispat mineral grupları şöyle sıralanabilir (5):

a) K-Feldispat/orthoklas	$(\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$
b) Na-Feldispat/albit	$(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$
c) Ca-Feldispat/anorthit	$(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$
d) Ca,Na-Feldispat/plagioklas	$(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2) +$ $(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$ değişken
e) Ba-Feldispat/oligoklas	$(\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$
f) K,Ba-Feldispat/hyalofan	$(\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2) +$ $(\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$ değişken
g) Cs-Feldispat/pollucit	$(\text{Cs}_2\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2)$ değişken

h) Li-Feldispat/spodumen ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$)

Kuvars

Diğer seramik hammaddelerine göre doğada daha saf bulunan kuvars, pişme sonrası büzülmeyi azaltmak yada ortadan kaldırmak için bünyeye katılmaktadır. Ayrıca yapının genleşme katsayısını ayarlayan ana elementtir (6). Seramik hammaddelerinin hepsi ısı karşısında hacmen küçülmelerine rağmen kuvars, kristal dönüşümleri nedeniyle hacmen büyür. Kritik geçiş sıcaklıklarında, geçiş ısıları gereken hızda olmazsa, sır ve massede çatlamlar ve parçalanmalar meydana gelebilir. Kuvarsın ısısal hacim değişimleri aşağıda olduğu gibidir(8):

<u>Hacim Değişimi</u>			
α Tridimit	117°C	α Kristobalit	0.20
β Kristobalit	180-240°C	α Kristobalit	2.80
β Kuvars	573°C	α Kuvars	0.82
α Kuvars	1000°C	α Kristobalit	15.40
α Kuvars	1000°C	Amorf SiO_2	15.50
α Kuvars	1200°C	α Tridimit	16.00
Amorf SiO_2	1200-1400°C	α Kristobalit	0.90

Kuvars, hidrojen florür (HF) hariç tüm asitlere dayanıklıdır. Alkali ve metal oksitlerle ısıtılınca su camını oluşturur (6). Flint ve Diatomit kuvars mineralleri olarak bilinir (10).

B) Diğer Seramik Hammaddeleri

Seramik çamurlarında özüzleştirici olarak kullanılan diğer hammaddeler şunlardır(5):

Kalsiyum Karbonat (CaCO_3)

Kalsiyum Karbonatın erime noktası (2700°C) oldukça yüksektir. Ancak başka bir madde ile karışımında, pişme sırasında birleştiği maddenin erime noktasını yükselteceğine düşürür (5). Çamurun içinde çok ince ve homojen olarak dağılmış ise camlaşma başlangıcını kısaltır. Düşük sıcaklıkta (950°C) uçarak geriye CaO kalır, buda sinterleşmeye yardımcı olarak sır ile çamur arasındaki ana tabakanın daha iyi oluşmasına katkıda bulunur (11).

Magnezit (MgCO_3)

Magnezit bir magnezyum karbonat minerali olup 651°C 'de erir ve 1100°C 'de kaynamaya başlar. 500°C 'nin üzerinde parlak bir alevle yanarak MgO 'e dönüşür (12). Magnezit, kuvars ile ısıtıldığında magnezyum silikati (MgSiO_3) meydana getirir. Çamurun pişme sırasında sinterleşmesini ve sağlamlaşmasını sağlar (11). Saf MgCO_3 'in sinterleşme ve erime noktaları birbirinden uzakta bulunur. Bu özelliğinden de yararlanarak, ateşe dayanıklı (1600°C 'nin üzerinde) magnezit ve kromit tuğlaların yapımında kullanılır (5).

Dolomit ($\text{MgCO}_3.\text{CaCO}_3$)

Kalsiyum karbonat ile magnezyum karbonatın doğadaki yaklaşık aynı molekül oranlarındaki şekli dolomit adını alır. Dolomit, karo çamur ve sırlarında CaO ve MgO ihtiyacının birlikte doğduğu hallerde kullanılır (8).

Talk ($3\text{MgO}.4\text{SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$)

Talk ısı karşısında magnezyum silikat ($3\text{MgO}.\text{SiO}_2$) ve amorf SiO_2 kristobalit kristali haline geçer. Amorf SiO_2 nedeni ile talk katılmış ürünlerin talk oranına göre küçülmeleri azalır (8). Seramik duvar karolarında talk % 50 'ye kadar kullanılır ki buda, gecikmeli çatlamayı oldukça azaltır (9).

Wollastonit ($\text{CaO}.\text{SiO}_2$)

Erime sıcaklığı 1540°C olan wollastonit, karo çamur ve sırlarında kullanılır (12). Çamurda eritici özellik göstererek çamurun pişme sıcaklığını düşürür. Pişirme sırasında gaz çıkarmadığından tek pişirim çamurlarında düşük sıcaklıklarda başarı ile kullanılır.

Aynı zamanda wollastonit çamurları sıcaklık değişikliklerine karşı dirençlidir. Karo üretiminde büzülmeyi azalttığı için mermer yerine kullanılır (5).

3.2. SERAMİK KARO REÇETELERİ

Hızlı-Tek Pişirim için temel olarak iki çeşit hammadde karışımı vardır (3).

3.2.1. Kırmızı Karo Hammaddeleri

Bu karışımlara kırmızı karo hammaddeleri denmesinin nedeni pişme sonrası renklerinin kırmızı olmasıdır. Bu karışımlar bir veya daha fazla kil ile birlikte % 20-25 (ağırlık) inert faz (feldispat,kuvars) kullanılarak oluşturulmaktadır. Karışımda kullanılan Fe_2O_3 miktarı toplam ağırlığın % 4-8 'i kadar olmalıdır. Kuvars ve feldispat büzülmeyi azaltmak için kullanılmaktadır. Kullanılan killer çoğunlukla illit ve kaolinitik esaslıdır. Karbon ve kükürt miktarı ise, gazların uzaklaştırılması için az zaman olduğundan mümkün olduğunca az bulunmalıdır.

3.2.2. Beyaz Karo Hammaddeleri

Pişme renkleri beyaz olduğundan bu isim verilmiştir. Bu tip karışımların içerdikleri bileşimler genel olarak şöyledir:

- % 30-40 ağırlığında kaolinitik tipte beyaz killer yapıya plastiklik ve pişirme öncesi mukavemet kazandırır. Kullanılan killerin Al_2O_3 miktarı ağırlığın % 19-25 'i kadardır.

- % 35-45 ağırlıklı düşük ergime sıcaklığı olan mineraller. Genelde albitçe zengin, ortoklaz yönünden fakir feldispatlar kullanılır. Bunlar yapının sinterleşme sıcaklığını büyük ölçüde düşürürler. Pişirme süreleri 20-30 saatten, 40-50 dakikaya düştüğünden katı hal reaksiyonlarını hızlandıran Na_2O ve K_2O miktarları önemlidir.

- % 20-30 ağırlık kuvars ve feldispat kullanılarak maliyet azaltılır.

- % 1-1.3 ağırlık Fe_2O_3

Tablo 3.2. Kırmızı-Beyaz Hammadde Karışımlarının Ortalama Bileşimleri (13).

	Kırmızı Tip Yapılar (% ağı)	Beyaz Tip Yapılar (% ağı)
SiO_2	66 - 68	71 - 73
Al_2O_3	16 - 17	16 - 17
Fe_2O_3	6 - 7	1 - 1.3
TiO_2	0.5 - 1	0.5 - 1
CaO	0.2 - 0.6	0.2 - 0.6
MgO	0.2 - 0.6	0.2 - 0.6
Na_2O	1.5 - 2.5	1.5 - 2.5
K_2O	2 - 3	2 - 3

BÖLÜM 4

4. HIZLI TEK PİŞİRİM KARO ÜRETİM PROSESİ

4.1. GENEL BİLGİLER

1970 'li yılların başında yaşanan petrol krizi seramik teknolojisinde çok önemli gelişmelere neden olmuştur. Özellikle yer ve duvar karoları alt sektöründe, başta pişirme olmak üzere tüm proseslere ilişkin makina ve teçhizatla maliyet düşürücü, kaliteyi iyileştirici ve verimi artırıcı gelişmeler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi çift pişirim yönteminden tek pişirime geçiştir. Böylece yer ve duvar karoları üretiminde önemli bir maliyet unsuru olan yakıt sarfıyatı çok aşağılara çekilmiştir (4).

Daha iyi refrakter malzemelerin kullanıldığı, proses akışının bilgisayarlarla daha hassas bir şekilde kontrol edildiği ve Roller tabir edilen silindirik refrakter çubukların kullanıldığı hızlı tek pişirim fırınları, karonun hem altında hemde üstünde ısıtma sağlayarak ve iki pişirim eğrisi uygulayarak pişirmenin daha kolay olmasını sağlayabilirler. Özellikle 1980 'lerin başından itibaren hızla yaygınlaşan hızlı- tek pişirim teknolojisi günümüzde toplam karo üretiminin % 90 'ını gerçekleştirmektedir (3).

Hızlı- Tek Pişirim teknolojisine geçilerek üretimde pekçok avantajlar sağlanmıştır (14):

- 1) Fırının enerji tüketimi çok düşüktür. (Tünel fırınında 1300-1500 kcal/ kg olan enerji değerleri günümüzde bu teknoloji sayesinde 360 kcal/ kg 'a kadar düşürülmüştür.)
- 2) Çok kısa sürede pişirim yapılmaktadır.
- 3) Karonun altında ve üstünde ısıtma sağlayarak, prosesin tüm aşamalarını bilgisayarlarla kontrol ederek çok kontrollü ve esnek pişirim uygulanmaktadır.
- 4) Ekipmanların maliyeti düşüktür.
- 5) Fabrika üretimi yüksek, üretim maliyeti düşüktür.
- 6) Çok değişik boyutlardaki karo pişirimine imkan vermektedir.
- 7) Porların küçük çaplı olmasından dolayı yüksek mekanik özellikler elde edilmektedir.
- 8) Refrakter sektörüyle koordinasyon sayesinde yüksek sıcaklığa dayanıklı seramik elyaf kullanarak fırınların konstrüksiyonu basitleştirilmiştir.

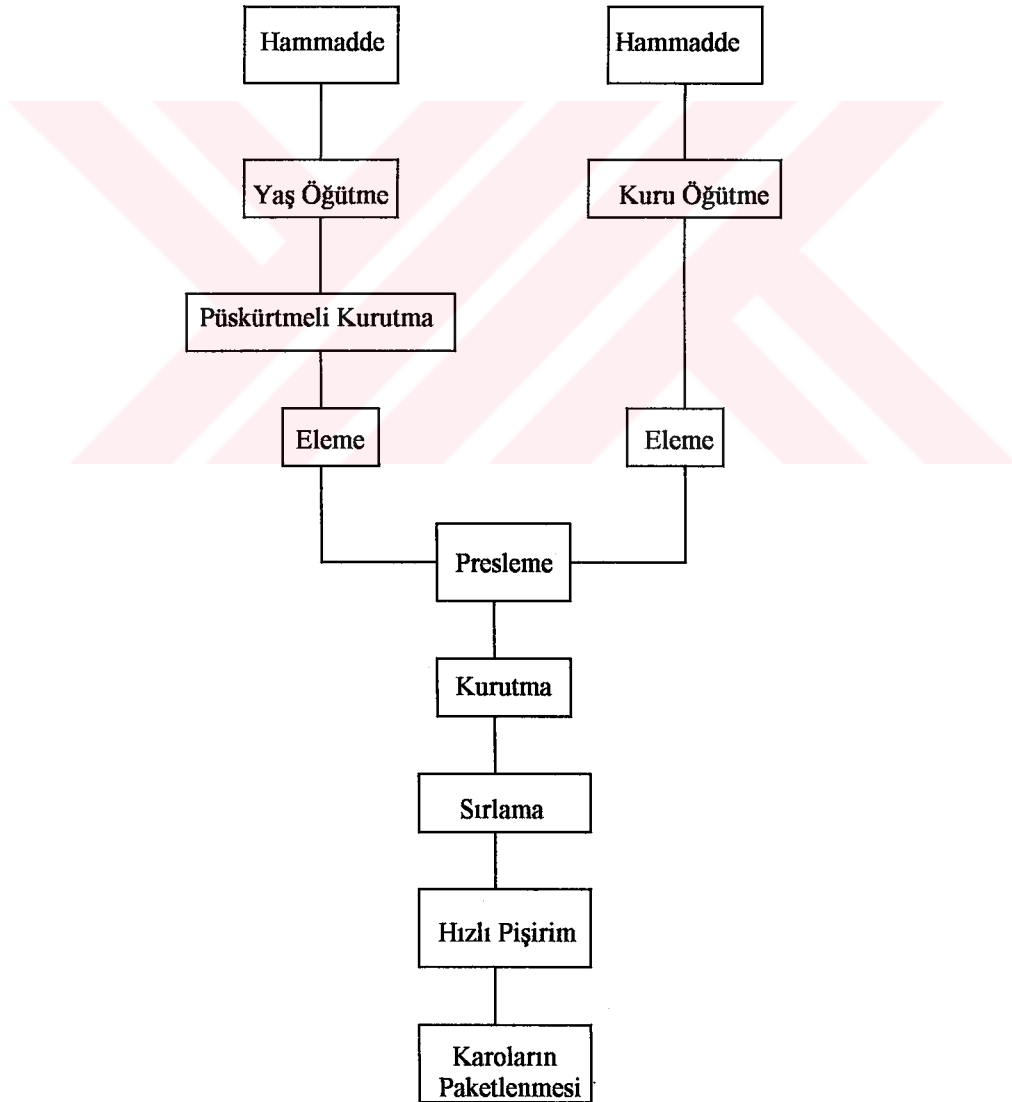
9) Kontinü üretim tek pişirim olduğundan devamlı bir üretim hattı oluşturmak suretiyle sürekli üretim sağlanmaktadır.

10) Fırın duvarları içindeki termal gradyan $\pm 2^\circ\text{C}$ muhafaza edilir. Böylece, renk gölgelenmeleri ve boyut varyasyonları önlenir.

11) Kalite kontrol sayesinde verimsiz üretim önlenmiş olur.

12) Temiz fırın ortamı vardır.

Hızlı tek pişirim teknolojisinin en fazla uygulandığı alan karo üretimidir. Bu amaçla kullanılan modern tesis değirmen, püskürtmeli kurutucu, pres, hızlı kurutucu, sırlama bölümü, Roller fırını ve kalite kontrol - kalite ayırım gibi standart donanımlardan oluşur (6). Şekil 4.1. 'de tek pişirim karolarının üretim proses 'i, Şekil 4.2. 'de ise bu proses 'in akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.2. Tek Pişirim Üretim Prosesinin akış diyagramı (3).

4.2. ÖĞÜTME VE HOMOJENLEŞTİRME

Öğütme geleneksel bilyalı değirmenlerde yaş yada kuru olarak yapılmaktadır. Ancak hızlı tek pişirim teknolojisinde hammadde karışımlarındaki taneler çok büyük yada hammadde karışım bileşenlerinin fiziksel özellikleri (sertlik, boyut, özgül ağırlık) birbirlerinden çok farklıysa yaş öğütme tercih edilmektedir.

Reçeteyi oluşturan hammaddeler karıştırılıp, tane boyutu 30 mm. olacak şekilde kırılırlar. Kırma işlemini, karışımın su ve elektrolit (süspansiyondaki katı miktarını artırır) ilavesiyle bilyalı değirmenlere beslenmesi izler (13).

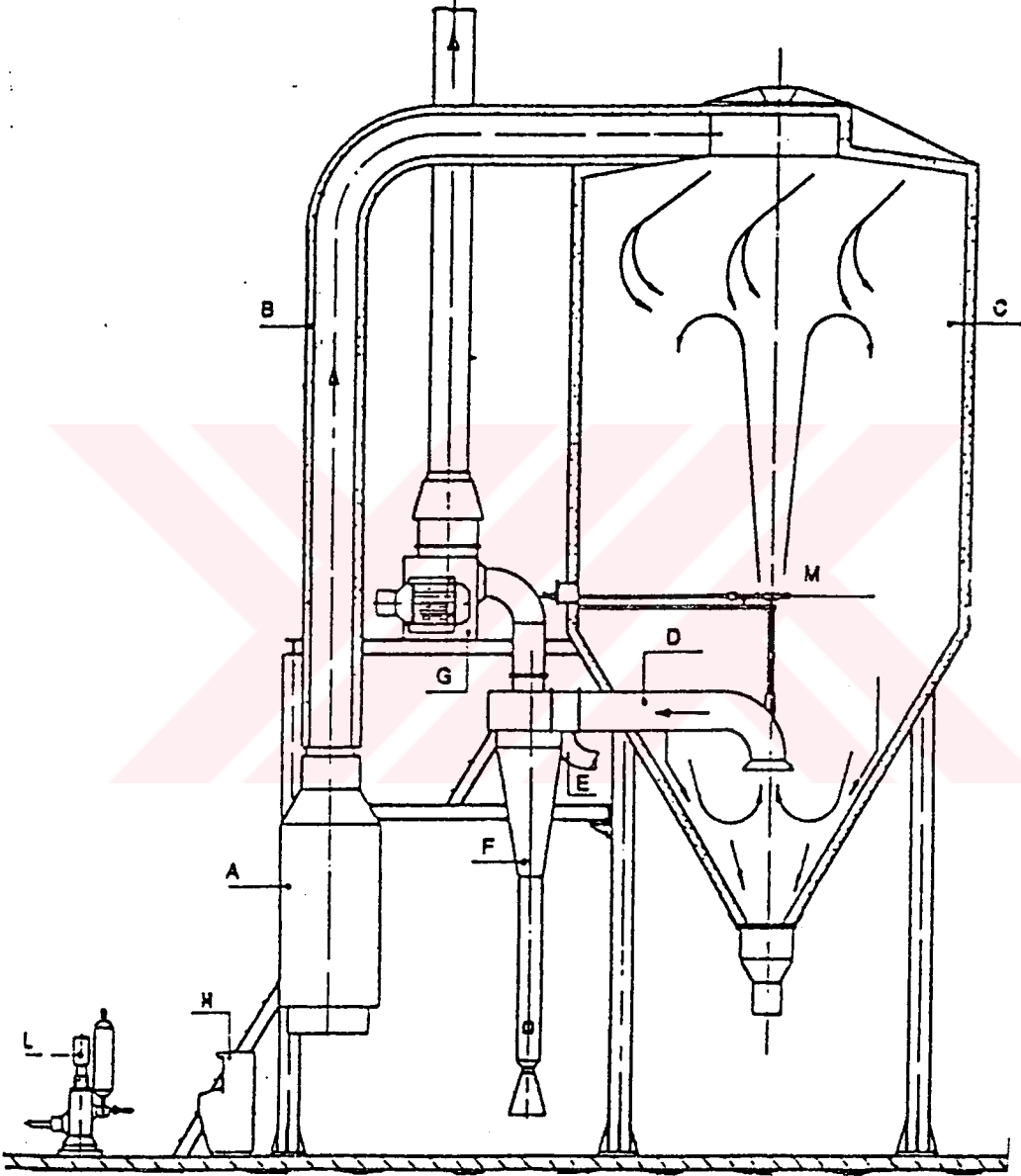
Kırma ve öğütme işlemi sırasında yeterince küçük iriliğe gelemeyen hammaddeler, organik maddeler veya çeşitli nedenlerle çamura karışmış metal ve diğer yabancı maddelerin ayıklanması için sisteme yerleştirilmiş bulunan eleklerle sevk edilirler (8). Böylece 125-200 μm 'den büyük olan taneler karışımdan ayrılır (13). Eleme sistemine paralel bulundurulmuş elektro veya tabii mıknatısların bulunduğu bölgede ise ufak manyetik demir parçaları tutulur (8).

4.3. PÜSKÜRTMELİ KURUTMA

Püskürtmeli kurutma bir çözüldiden yada süspansiyondan suyun yada başka sıvıların uzaklaştırılması için uygulanan bir işlemdir. Seramik karo üretiminde direkt püskürtmeli kurtucular kullanılmaktadır (Şekil 4.3) (3).

Değirmenlerden alınan çamur, 30 Bar'lık pompa basıncı ile presleme için uygun küresel şekilli tanelerin elde edilmesi için püskürtmeli kurutuculara gönderilir. Sulu çamur 600-700 °C de gönderilen sıcak hava ile temas ettirilir. Bu sırada sularını kaybeden zerrecikler tabana düşerler ve kururlar. Kurutulmuş bu toz çamur bantlar vasıtasıyla silolara alınır. Burada 12-36 saat depolanarak üniform nem dağılımı sağlanır (11). Püskürtmeli kurutmayla kurutulmuş toz partiküllerinin nem miktarının sabit tutulması çok önemlidir. Çünkü nem miktarındaki değişim preslenmiş yapıyı olumsuz etkiler ve son üründe istenmeyen değişimlere sebep olur (Şekil 4.3) (13).

Kurutulmuş toz partiküllerinin tane boyut dağılımı, %70 'i 250-400 μm olacak şekilde ayarlanmalıdır (2). Üflenmiş sıcak havanın sıcaklığı ve basıncı değiştirilerek değişik çapta ve boyutta partiküller elde edilebilir. Kurutuculardan çıkan tozların özgül ağırlıkları 1000-1015 gr / lt arasındadır (3).



Şekil 4.3. Püskürtmeli Kurutma Sistemi (3).

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| A) Isıtıcı | F) Toz Tutucu Sistemi |
| B) Sıcak Hava Püskürtücüsü | G) Elektrofán |
| C) Kurutma Kulesi | H) Elektrik Kontrol Kabini |
| D) Gaz Çıkış Borusu | I) Toz Pompası |
| E) Valf | J) Enjektör (Püskürtme Memesi) |

4.4. PRESLEME İLE ŞEKİLLENDİRME

Püskürtmeli kurutma sonrası, 1000 μm açıklığa sahip eleklerden geçirilerek yapışmış empürileri ve iri taneleri uzaklaştırılmış % 4-6 neme sahip kuru çamur şekillendirilmek üzere hidrolik preslere gelir (16).

Hidrolik presler hidrolik basıncı deformasyon kuvvetine dönüştürerek şekillendirme yaparlar. En büyük avantajları presleme kuvvetinin her aşamada sabit olmasıdır (3). Preslerin basınç değişimi genellikle 250-350 kg/cm^2 arasındadır (8). Bu basınç ile 6-15 kg/cm^2 lik mukavemete sahip bünyeler elde edilir (3).

Preslemeden sonra genişlemenin fazla olması çatlamalara sebep olur. Bu çatlamar ancak fırında piştikten sonra görülebilir. Bu nedenle masse kompozisyonu hazırlanırken hammaddelerin bu özelliklerine dikkat etmek gerekir. Pres basıncı masse rutubeti ile orantılı olmalıdır (11).

4.5. HIZLI KURUTMA

Preslemeden çıkan, şekillendirilmiş karolar bant vasıtasıyla kurutmaya gelirler. Burada pişme öncesi bünyedeki suyun uzaklaştırılması ve yapının mukavemetinin artırılması sağlanır. Çünkü suyun uzaklaştırılmasıyla, pişirim sırasında porlardaki suyun ısınması ile aniden oluşan aşırı hacim genişmesi sonucu oluşan çatlama ve parçalanmalar önlenmiş olur (8). Kurutma ile bünyenin hacmi % 0.5-1'e düşürülür (3). Hızlı-Tek pişirim teknolojisindeki kurutma cihazları ile kurutma işlemi 40-80 dakika gibi kısa sürelerde gerçekleştirilir. Hızlı kurutucular yatay ve dikey olmak üzere iki çeşittir (6).

Dikey Hızlı Kurutucular karoların hızlı tek pişirimle üretiminde en sık kullanılan kurutuculardır. Bir bant veya çubuk vasıtasıyla kurutucuya gelen karolar, yükselip alçalmak suretiyle dikey hareket eden ve 10-15 raftan oluşan sepetlere yüklenir. Karolar bu düşey hareketle homojen olarak kurutulmuş olurlar. Kurtucuların sıcaklıkları 150- 180°C ve kurutma süresi 35- 80 dakika arasındadır (3).

Yatay Hızlı Kurutucular ile karolar bir bant vasıtasıyla fırın içinde hareket ederek kurutulmaktadır. Karoların ilerleme yönüne ters yönde ilerleyen sıcak hava malzemeyi ısıtarak bünyenin nemini kaybetmesini sağlar. Kurutma süresi 8-15 dakika, fırın sıcaklığı da 100- 120°C arasındadır (11).

4.6. ASTARLAMA

Seramikte astar olarak kullanılan madde, esas ürünü oluşturan çamur üzerine çekilen ince çamur tabakasıdır. Astarın sırdan ayrılan yönü, sır gibi camı olmayışı tersine topraksı ve mat oluşudur (5). Sırlarla astarların ortak noktaları ise, yüksek sıcaklıklarda cam fazının oluşumudur (1000°C). Astar, bünye ile sır arasında kararlı bir ara katman oluşturarak alttaki ürüne su geçirmezliği, direnç gibi fiziksel özellikler kazandırır (6).

Astar hammaddelerinin % 20-30 'unu frit, geri kalan kısmını feldispat, kuvars, kaolen, zirkon, alüminyum oksit gibi seramik hammaddeleriyle CMC ve STP gibi elektrolitler oluşturur. Öğütme zamanı elek bakiyesiyle kontrol edilir. 10000 Mech /cm^2 'lik elekte elek ağırlığı 1470 gr /cm^2 olmalıdır.

Kurutmadan 100°C 'de çıkarak sırlama bandına giren mamülün sıcaklığı astarlama kısmına gelinceye kadar $60-65^{\circ}\text{C}$ 'ye düşer. Sırlama bandına giren mamülün öncelikle üstündeki tozların atılması için hava püskürtülür. Ardından da su püskürtülerek astar atılır. Parçanın yüzeyinde oluşturulan rutubetli tabaka astarın daha iyi oturmasını sağlar (11).

4.7. SIRLAMA

Yer karosu sırasında sır hammaddelerinin % 20-40 'lık kısmını frit, geri kalan kısmını ise feldispat, kuvars, mermer, kaolen, zirkonyum silikat, alüminyum oksit gibi seramik hammaddeleri ile sodyum tripolifosfat (STP) ve karboksi metil selüloz (CMC) gibi elektrolitler oluşturur (11).

Pişme sırasında sırn erimesi tek bir noktada olmayıp, sırı oluşturan silikat karışımının sinterleşmesine bağlı olarak, kimyasal bir reaksiyon boyunca yavaş yavaş olur. Sıcaklığın etkisiyle sinterleşme giderek cama dönüşür ve sır akışkan olur (5). Hızlı tek pişirim için sır hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, sır yumuşamaya başlamadan bünyedeki yabancı maddelerin yakılmasıdır (3).

Sır bileşenleri sırn son estetik ve mekanik özelliklerini belirleyen unsurlar olduğundan sır reçetesi oluşturulmadan önce her bir bileşenin sırn kimyasal ve fiziksel özelliklerini nasıl etkilediğini bilmek önemlidir (3). Bu bileşenlerden olan frit, önceden eritilip hazırlanarak sıra ilave edilen camdır. Zehirli maddeleri, diğer maddelere

bağlayarak zehirsiz hale getirmek, suda çözünen maddeleri, suda çözünmez silikatlara dönüştürmek, sırlara daha düşük pişme sıcaklığı sağlamak, renk veren oksitlerin sır içinde daha iyi dağılmasını sağlamak ve boyama gücünü arttırmak fritin bünyedeki fonksiyonlarıdır (5).

Yukarıda genel bilgilerle açıklanmaya çalışılan sırın reçedeki hammadde oranına göre tartılmasından sonra, öğütölme işlemi bilyalı değirmenlerde yaşı olarak yapılır. Sırın istenilen incelikte olduğunun anlaşılması için 10000 Mech/cm² 'lik elekteki elek bakiyesine bakılır. Elek bakiyesinin % 0.4-0.6 arasında olmalıdır (5).

Sır öğütüldükten sonra gerekli kalite kontrol ve kimyasal testleri yapmak için membran pompalar yada sıkıştırılmış hava vasıtasıyla bekletme tanklarına alınır. Çok yavaş dönen karıştırıcılarla burada homojenize edilir. Bu aşamada elektrolit ilavesi yapılır. Tanklardan alınan sır bünyeye tatbik edilmeden önce titreşimli eleklerden ve manyetik tutuculardan geçirilir. Böylece tüm hazırlama aşamalarında sıra karışan serbest demir tanecikleri ve iri tanelerle diğer empüriteler uzaklaştırılır. Artık sır uygulamaya hazırlanmış olur (3).

Astarlama yapılmış parçaya hemen sırlama yapılır. Hızlı tek pişirimde en çok kullanılan sırlama yöntemi Çan-Akıtma yöntemi olarak ta bilinen akıtma yöntemidir. Bu yöntemle, çan şeklindeki sırın akıtma cihazından bir perde şeklinde akarak karo yüzeyini kaplaması sağlanır. 1.85-2 gr/cm² yoğunluğa sahip süspansiyon kullanılarak akıtma sırasında kabarcıkların, hava boşluklarının oluşması önlenir (13).

4.8. HIZLI-TEK PİŞİRİM (FAST FIRING)

Tek pişirimin en hassas safhası hızlı pişirme safhasıdır (16). Hızlı pişirim için yapılardan istenen özellikler şöyledir (13):

- 1) Kurutma zorunludur. Karonun fırına girmeden önceki nem içeriği %1 'den az olmalıdır.
- 2) Kurutma işlemi sonucunda karo sıcaklığı 60-70 °C olmalıdır. Bu son kurutma aşamasının verimini arttırdığı gibi sırın bünyeye daha iyi bağlanmasını sağlamaktadır.
- 3) Yapı fırına girmeden önceki taşımalara ve gerilmelere dayanabilmek için yeterli kuru mukavemete sahip olmalıdır. (Bunun için reçetenin %70 'i kil ve kaolen gibi plastik hammaddelerden oluşmaktadır.)

- 4) Atomizasyondan önce tane boyut dağılımı şöyle olmalıdır;
 % 8-12 600 µm 'luk elekte kalmalıdır.
 % 80-85 200-400 µm 'luk elekte kalmalıdır.
 % 9-11 75-200 µm 'luk elekte kalmalıdır.
- 5) Atomizasyondan sonra yapının nem içeriği % 5-6 olmalıdır.
- 6) Vitrifikasyon % 1-2.5 oranında olmalıdır (3).

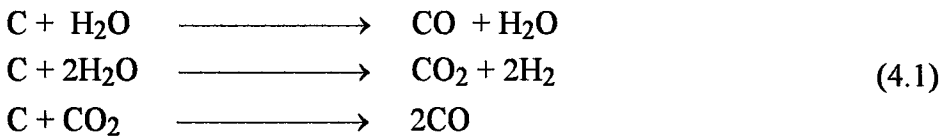
4.8.1. Pişirme Sırasında Meydana Gelen Olaylar

Hızlı pişirme sırasında ürünlerin bünyesinde oldukça karmaşık kimyasal dönüşümler ve faz dönüşümleri oluşur (11).

A) Kimyasal Dönüşümler

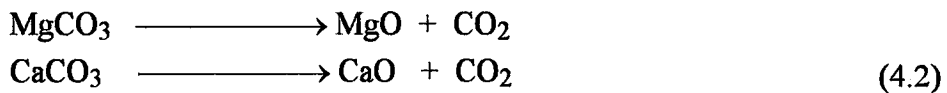
KARBON

Organik safsızlıklar yaklaşık 400 °C 'de bozunarak CO₂, CO ve H₂O verip bünyede serbest karbon bırakırlar. Su buharı uzaklaştırılıp oksijen gözenekler içine girmeye başladığı zaman karbonun yanması gerçekleşir. Bu yanma ve bozunma, ürünleri sinterleşme başlamadan önce terk etmezse ya black core veya kısmen erimiş ve sinterleşmiş bünyeden çıkan gazların oluşturduğu hava kabarcıklarına ve kraterlere sebep olur. Aşağıda belirtilen kimyasal reaksiyonlar ile 1000 °C 'de su buharı ve CO₂ içeren bileşiklerde serbest karbonun varlığı önlenmiş olur;



KARBONATLAR

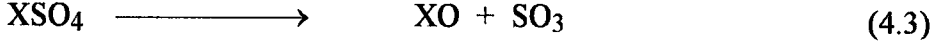
400-1000 °C arasında bozunarak gaz ve oksit ürünlerine dönüşürler. Sıcaklık ile birlikte bu gazlar bünyede şişen ve kabaran gözenekler oluştururlar.



SÜLFATLAR

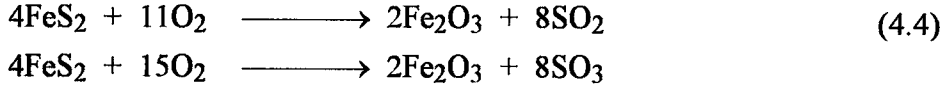
Seramik hammaddelerinde bulunan sülfatların (MgSO₄, CaSO₄, K₂SO₄, Na₂SO₄ gibi) bozunması sonucunda açığa çıkan SO₃ gazı fırın atmosferinde

yoğunlaştığı zaman sırları etkileyerek yüzey bozunmalarına sebep olur. Çamur bünyesini camlaşmaya geçene kadar terk etmezse şişme ve kabarmalara sebep olur.



PIRİT

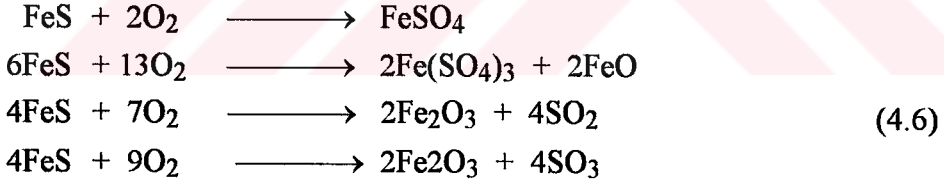
Isı etkisi altında yeterli oksijenin bulunduğu ortamda bozunarak demir oksit ve kükürt dioksit verir;



ortam oksitleyici olmasa bile, 425 °C 'de pirit bozunur;



Kükürt buharı fırın atmosferi içindeki oksijenin bünye içinde yayılmasına fırsat vermeden birleşir. Geride kalan demir sülfür artan oksijen miktarına göre aşağıdaki reaksiyonları verir;



KARBON-KÜKÜRT

Eğer karbon ve kükürt hammaddede beraber bulunuyorlarsa pirit önce tutuşabilir bile karbon önce yanar. Karbon yanınca kadar kükürtün kendi yanması için demir sülfat oluşma olasılığı artar.

DEMİR OKSİTLER

Genelde tüm seramik bünyeler demir 3 oksit içerir. Bu yüzden getireceği renk değişiklikleri ve pişme süreçlerinde neden olacağı oksijen çıkması gözönüne alınmalıdır. Eğer bünye demir 3 oksidin bozunmasından önce sinterleşirse çıkan gaz bünyeyi terk edemeyeceğinden şişme meydana gelir.

Tablo 4.1. Kil Empüritelerinin Ayrışma Reaksiyonları (14).

Ayrışma Sıcaklığı	Reaksiyon
350-450	$\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{FeS} + \text{SO}_2$
500-800	$4\text{FeS} + 7\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$
560-775	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_2$
>350	$\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$
250-920	$\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$
600-1050	$\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
400-900	$\text{MgCO}_3 \longrightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
>800	$\text{FeCO}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{CO}_2$
1250-1300	$\text{CaSO}_4 \longrightarrow \text{CaO} + \text{SO}_3$

B) Faz Dönüşümleri

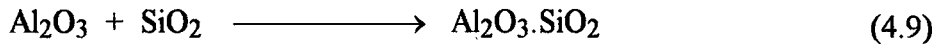
Organik maddelerin yanışı ve karbonat ile sülfatların bozunumu egzoterm bir reaksiyondur. Bu sırada seramiği oluşturan kil ve kaolenlerin bünyesinde de çeşitli reaksiyonlar oluşmaktadır. Kaolinit 550 °C ısıda kimyasal suyunu kaybederek meta kaolinit haline dönüşür;



Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyondur. Fırın sıcaklığı 850 °C'ye yükseldiğinde;



meta kaolinit Al_2O_3 'e dönüşür. Al_2O_3 asitlerde çözünebilir. Isı 900 °C 'ye yükselince Al_2O_3 tekrar SiO_2 ile birleşir ve silimanit oluşur ve böylece artık Al_2O_3 asitler ile reaksiyona giremez hale gelir.



Isının yükselmesi ile 1000 °C 'a ulaştığında $3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$ (Mullit) oluşur. 1000 °C 'de artık seramik bünyesinde kristal yapı oluşmaya ve sıcaklık yükseldikçe kil ve kaolenden dolayı mullit yüzdesi giderek artmaya başlar. Mullit kristalleri, seramik bünynenin mekanik sağlamlığını sağlar (11).

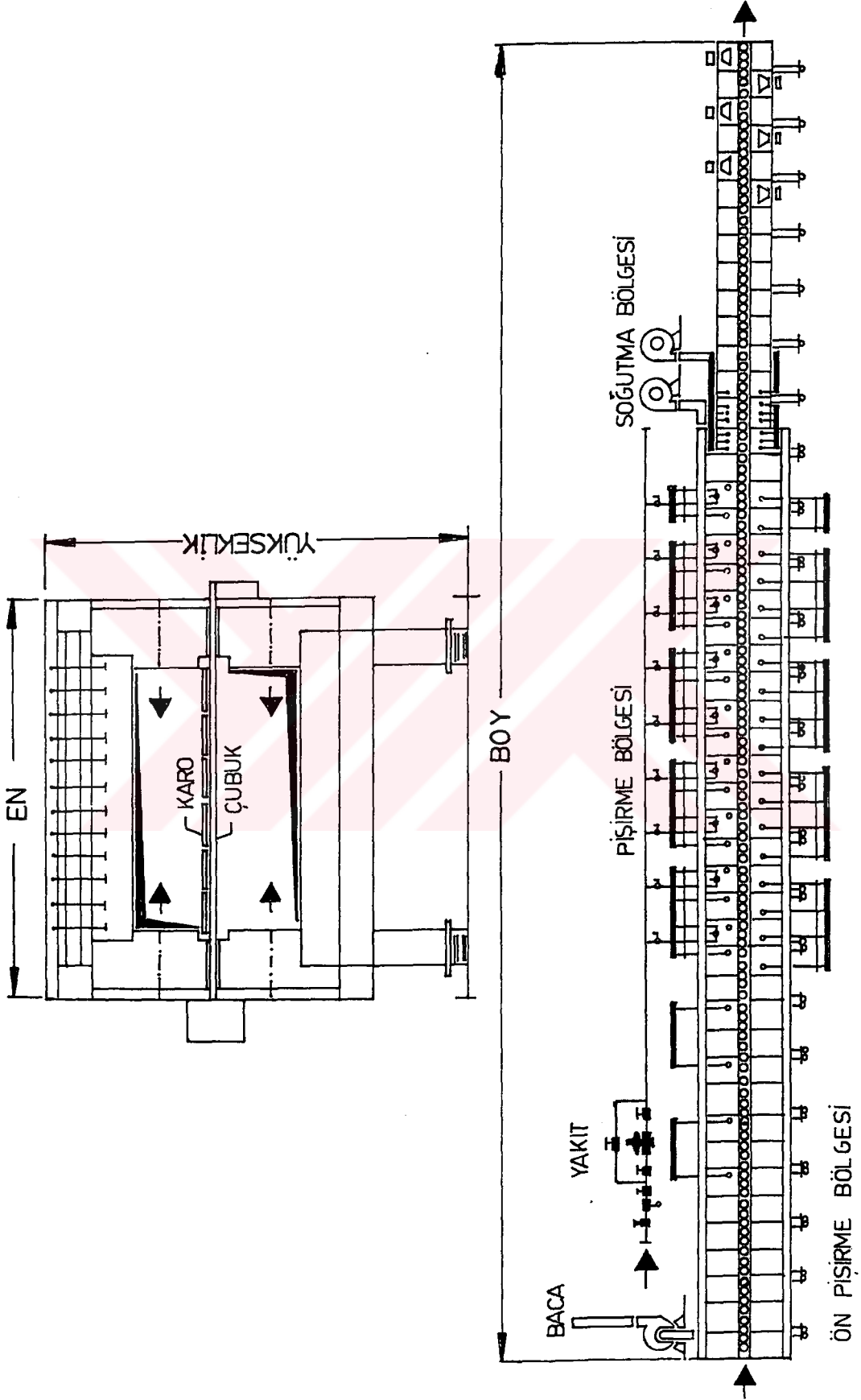
Kuvars, ısısal değişimler karşısında gösterdiği kristal dönüşümleri nedeniyle hacmen büyür (b.k.z. Seramik hammaddeleri)

Feldispat, 1100 °C 'ten itibaren erimeye başlar. Eriyen feldispat cam fazı oluştururken, kil, kaolen ve kuvars taneciklerinin etrafını çevreler ve kendi erirken eritmeye de başlar. Camsı faz feldispatla oluşurken killerin bünyesindeki feldispatlarda kendi bünyelerinde cam fazı oluştururlar. Isı yükseldikçe feldispat tamamen erir. Bu eritme sırasında kuvars cam faza çok az karışır. Çözünmeden kalabilen SiO₂ seramik ürünlerde cam faza ulaşan bünyenin deformasyonunu önleyen iskelet görevini yüklenir. Cam faz arttıkça şeffaflık gelişir (5).

4.8.2. Hızlı-Tek Pişirim Roller Fırınları

Dekorasyondan çıkan ürünler istenilen rutubette Roller fırınlara gelirler. Roller fırınlarında pişecek olan malzeme roller tabir edilen silindirik refrakter çubuklar üzerinde, çubukların dönme hareketi neticesinde bir kuvvet ile itilerek fırın içerisinde muntazam olarak ilerlerler (11). Rollerlar, maruz kaldıkları sıcaklıklara bağlı olarak çeşitli çelik ve seramik alaşımlarından yapılırlar (14). Fakat çoğunlukla çubuklar kordierit sillimanit esaslı olup, yumuşama noktaları 1600 °C civarındadır. Bu fırınlar yüksek hızlı brülörlere, yüksek kalitede ateş tuğlası ve izolasyon malzemelerine sahiptir. Çubukların dönme hareketinin verdiği avantaj sayesinde deforme olmadan pişerler.

Bu fırınların yüksek alev hızlarına ve düşük kapasitelere sahip brülörleri 4, 6 veya 8 tek yanıcı bataryalara bölünmüşlerdir. Herbir batarya birbirinden bağımsız gaz borularından beslenir. Alt ve üst brülörlerin her bir bataryası roller sürücü sistemini çalıştıran aynı bilgisayar tarafından tek tek kontrol edilir. Bu şekilde kontrol, çubukların alt ve üst bölgelerinde farklı bir pişirim eğrisinin eldesi için gereklidir. Fırın içinde alt bölgenin sıcaklığı daha yüksek olmalıdır.Çünkü karonun iyi pişerek sıra uyum sağlaması gerekmektedir. Fırında pişme sıcaklığı 1180-1185 °C'dir (11). Fırında doğal gaz veya LPG gibi temiz yanan yakıt kullanılır. Brülörlerde ısıtma, yanmanın direk olarak gerçekleştiği açık hava prensibine göre gerçekleşir.

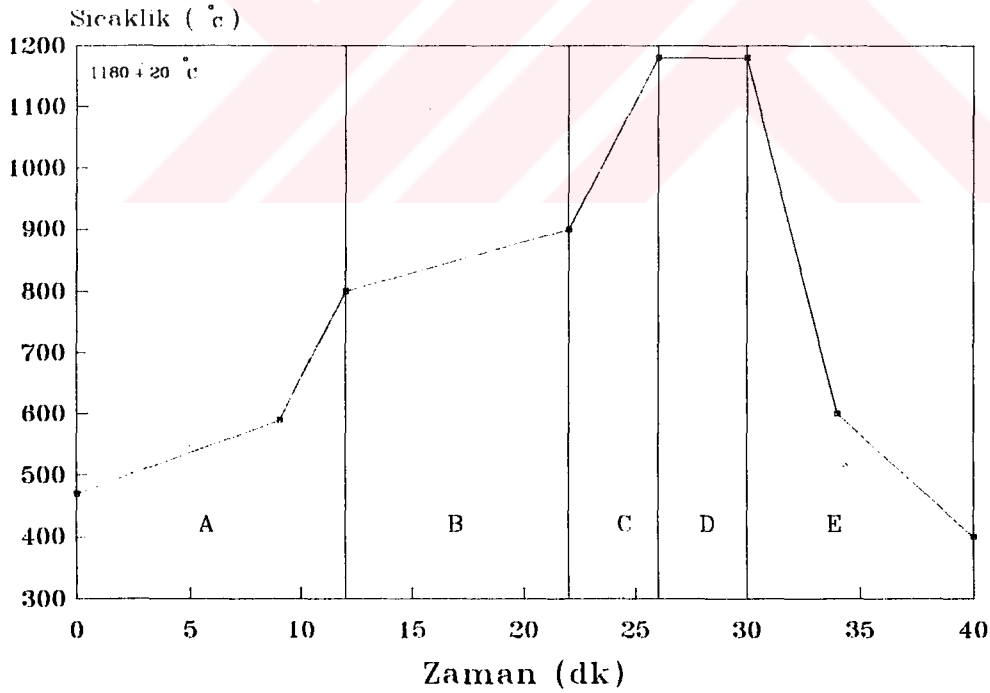


Şekil 4.4. Hızlı Tek Pişirim Roller Fırını. (17)

Bu fırınlarda çubukların hareket mekanizması önemlidir. Genelde dişli hareket mekanizması ile pişirim sırasında ürünün kayması veya ötelenmesi önlenir. Fırın maksimum sıcaklığının belirlenen seviyede tutulması ürün kalitesi açısından çok önemlidir. Bazı ürün çeşitlerinde max. sıcaklıkta oluşan ± 2 °C'lık bir değişim direk olarak kalitenin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur (14).

Genelde pişirme süresi ve buna bağlı olarak fırın kapasitesi, karolarda black core oluşumu ile sınırlıdır. Ortalama pişirme süresi 36-48 dakika arasında değişebilir. Ürün çeşitlerine göre fırınların boyları ve enleri de farklılık gösterir. Fırın boyları 60-90 m. ile sınırlıdır (11). Roller fırınlarının son versiyonu 110 m. uzunluğuna, 2-3 m. genişliğine ulaşmıştır. Tek ve çift katmanlı olarak imal edilebilir. Bu fırınlar 60 dakikalık pişirme periyotlarında herbir katman için günde 4500 m² lik karo üretilebilmektedir (14). Şekil 4.4. 'de Hızlı Tek Pişirim Roller Fırını şematik olarak verilmiştir (17).

Endüstriyel uygulamaya yönelik özel pişirim eğrisi, fırın içindeki ısı değişimine göre Şekil 4.5 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Fırın İçindeki Sıcaklık Gradyanı (14).

A SAFHASI: Ön ısıtma safhasıdır. Sıcaklık çok hızlı yükselerek mamülün fırına girmesinden 12 dakika sonra 800 °C 'ye yükselmektedir. Bu bölgenin başlarında

kurutma gerçekleşir. 700-720 °C'de çamurdan gaz çıkışı başlar. Astar ve sır bu arada çok az değişim gösterir. Gaz çıkışı astar ve sır içinden geçerek gerçekleşir. Gaz çıkışı aynı zamanda sinterleşmenin başladığı sıcaklıktır.

B SAFHASI: 800-900 °C aralığında 7-10 dakika bekletilerek sıcaklığın karonun her noktasında aynı olması sağlanır. Bu arada sinterleşmenin etkisiyle gaz çıkışları azalır.

C SAFHASI: Sıcaklıktaki ani yükselmeden dolayı maksimum pişirme sıcaklığına yani 1180 °C 'ye kadar geçen süre yaklaşık 4 dakikadır. 930-980 °C arasında çamurdan gaz çıkışları kesilir. Çünkü çamurun sinterleşmesi tamamlanmıştır ve hemen sır yumuşamaya başlar. Sır yumuşamaya başladıktan sonra çamurdan çıkan gazlar sırdan geçip dışarı çıkamaz. Bu yüzden bir önceki safha uzun tutulur ve gaz çıkışı sır yumuşamaya başlamadan önce biter.

D SAFHASI: Malzemenin en yüksek sıcaklıkta maksimum 4 dakika tutulduğu safhadır. Bu safhanın sonunda sır tam olarak gelişerek camlaşır.

E SAFHASI: Malzemenin maksimum pişirme safhasından fırın çıkışına kadar 10 dakikalık hızlı ve doğal soğumasının sağlandığı safhadır. Fırından çıkan karonun sıcaklığı 50-60 °C civarındadır (14).

Malzemenin A, B ve C safhalarında pişmesi rollerlerin altında bulunan brülörler vasıtasıyla olur. Bu da fırının alt ve üst kesimleri arasında bir sıcaklık farkı oluştururki bu işlemde sırn gaz çıkışı safhasında soğuk ve geçirgen olmasını sağlar. C ve D safhalarında rollerlerin üst tarafındaki brülörlerle sıcaklık üniform yapılır (3).

BÖLÜM 5

5. UÇUCU KÜLLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

5.1. UÇUCU KÜLLERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Uçucu küller düşük kalorili ve endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömürlerin, toz haline getirilerek, yakılması sonucu, bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır (18). Çok hafif olan bu uçucu küller, bacanın üst kısmında elektrofiltre veya siklon adı verilen toz tutucularda elektrostatik tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınırlar (19). Baca gazları ile sürüklenen ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 1-100 µm arasında olup, aglomere ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir (20).

Bir termik santralden üç çeşit atık madde elde edilir :

- 1- Baca gazları ile taşınmayan, yanarak tabana düşen ve aglomere olan küller (taban külü)
- 2- Siklon tipi ocaklarda, yanan kömür külünün ergimesiyle ve suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen küller (ergimiş kül veya curuf)
- 3- Baca gazları ile taşınan, mekanik veya elektrostatik toz tutucularında tutulan çok ince küller (uçucu kül)

Bir termik santralde yakıt olarak genellikle taş kömürü veya linyit kömürü kullanılır. Bu yüzden uçucu küller kökenlerine göre iki ana gruba ayrılırlar:

- 1- Taş Kömürü Uçucu Külleri
- 2- Linyit Uçucu Külleri

Kimyasal özellikleri bakımından linyit uçucu külü, taş kömürü uçucu külüne göre özellikle toprak alkali metallerin fazla oluşu bakımından farklıdır. Bu özellik, linyit uçucu külünün kullanılmasında büyük önem taşır. Taş kömürü uçucu külü tamamen kuru olarak elde edilmekte olup, taneciklerin büyük bir kısmı camsı minerallerden meydana gelmektedir (21).

Kimyasal yapıları bakımından ise uçucu külleri 4 ana sınıfa ayırmak mümkündür (19):

1) Siliko- Alüminöz Uçucu Küller

Kimyasal yapılarının büyük bir kısmını (% 80-90) SiO_2 ve bir miktar Al_2O_3 meydana getirmektedir. Kireç ile birlikte sulu ortamda mükemmel bir bağlayıcı oluşturmaktadır. Bu uçucu küller, içerdikleri alkali ve toprak alkali element oksitleri nedeniyle çok ince taneli ve camsı yapıya sahiptir. Genellikle taş kömürü uçucu külleridir.

2) Siliko- Kalsik Uçucu Küller

Adından da anlaşılacağı gibi yapılarındaki ana oksitler SiO_2 (silis) ve CaO (kireç) tir. Ancak CaO miktarı oldukça yüksektir. Bazı durumlarda ilave kirece gerek kalmaksızın, kendiliklerinden bir bağlayıcı oluştururlar. Diğer bir deyişle zayıf bağlayıcı özellikleri vardır.

3) Sülfö- Kalsik Uçucu Küller

Yapısının büyük bir bölümü SO_3 (kükürt dioksit) ve CaO (kireç) ten meydana gelmektedir. Bunlarda siliko-kalsik uçucu külleri gibi sulu ortamda kendiliklerinden sertleşebilirler. Bazı tür linyitlerin uçucu külleri bu sınıfa girmektedir. Ancak hemen belirtmeliyiz ki, her taş kömürü uçucu külü siliko-alüminöz veya her linyit uçucu külü sülfö- kalsik bir kül değildir. Örneğin, bir taş kömürü uçucu külünde, silis ve alümina oranı düşük ve kireç oranı yüksek olabilir.

4) Sınıflandırılmayan Uçucu Küller

Santraldaki yanma sisteminin homojen olmamasından kaynaklanan ve belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küllerdir. Kimyasal yapıları sürekli olarak değişebilir.

5.2. UÇUCU KÜLLERİN OLUŞUMU

Uçucu kül, yakıt olarak kömür kullanan termik santrallerden elde edilir (22). Termik santrallerde, 0.09 mm tane boyutuna öğütülmüş toz ve parça halindeki kömürler, kazanlarda havada süspansiyon halinde iken yakılır. Yanma işlemi sonucunda parça boyutları daha da küçülür ve oluşan külün büyük bir kısmı baca gazları ile birlikte sürüklenir. Külün sürüklenmesini azaltmak için yanma havasının ve toz kömürün kazana teğetsel olarak üflenmesi tercih edilir. Bu durumda külün iri kısmı kazanda kalır ve kazanın alt kısmından kaba kül olarak alınır. Oluşan külün %20 'si taban külü olarak kazan altında toplanırken, %80 'i uçucu kül halinde baca gazları ile taşınır.

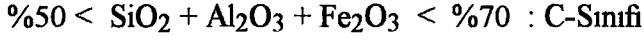
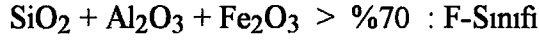
Termik santrallerde en çok kullanılan kül tutma yöntemleri "elektrofiltreler" ve "siklonlar" dır. Kazan külünün tane boyutunun büyük olduğu durumlarda mekanik tutucular, yani siklon ve benzeri üniteler, tane boyutunun küçük olduğu durumlarda ise en verimli ve ekonomik yöntem olan elektrofiltreler kullanılmaktadır (21). Uçucu küllerin su ile ıslatılarak çöktürülmesi esasına dayanarak toplandığı "nemlendirme yöntemi" çok su tüketmekte olup, toplanan küllerin değerlendirilememesi ve yüksek maliyeti sebebiyle pek tercih edilmemektedir. "Filtreler", "ultrasonik çöktürme" ve "kontrol prosesleri" ile 1 mm tane boyutuna kadar olan uçucu küller yakalanabilmektedir. Bacadan çıkan kül miktarı azaldığı için çevre kirliliğini azaltan bu yöntemlerin yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksektir (23).

Termik santrallerde üretilen uçucu küllerin, genellikle santralden oldukça uzak bir yere taşınması veya atılması gerekmektedir (21). Bu nedenle atıkların nerede toplanacağı sorunu, onların kullanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar kadar önemli bir sonuçtur (22). Uçucu küllerin santral içinde taşınmasında bantlar, helezonlar, curuf kırıcılar, silolar, pnömatik ve hidrolik sistemler ile, kül tutma havuzları kullanılır. Curuf ve kazan altı külleri iri tanelidir ve kazan dışına alınırken yanmayı durdurma ve sıcaklığı düşürme amacı ile ıslatılırlar. Küllerin hidrolik sistemle taşınmaları ve santral dışına atılmaları büyük sorunlar yaratmaktadır. Uçucu küllerin düşük kütle yoğunluğu, silolarda toplanmasında güçlükler çıkarmaktadır. Bunun için siloların havalanmasında siklon ve filtreler kullanılır. Silolarda toplanan küller, bantlarla veya çeşitli araçlarla santral dışına taşınır (21).

5.3. UÇUCU KÜLLERİN ÖZELLİKLERİ VE UYGULAMALARI

Uçucu küllerin kimyasal yapıları SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 gibi oksitlerden meydana gelmektedir. Genelde bir taş kömürü uçucu külü, linyit uçucu külünden daha fazla toprak alkali metalleri içermektedir (19). Uçucu küllerin içerdikleri kimyasal bileşiklerin maksimum ve minimum miktarları Tablo 5.1'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 5.2, Türkiye'deki termik santral atık uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonlarını göstermektedir(24).

Uçucu küller, içerdikleri $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarına bağlı olarak C618 sayılı ASTM Standardına göre "F" ve "C" olarak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. "F" sınıfı küller bitümlü kömürlerden, "C" sınıfı küller ise linyitli kömürlerden elde edilmektedir. Ayrıca içlerinde %10 'dan fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır (25).



Tablo 5.1. Uçucu Küllerin İçerdikleri Bileşiklerin Maksimum ve Minimum Miktarları(24).

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça max.)	% (Ağırlıkça min.)
SiO ₂	51	45
Al ₂ O ₃	32	24
Fe ₂ O ₃	11	7
CaO	5.4	1.1
MgO	4.4	1.5
K ₂ O	4.5	2.8
Na ₂ O	1.7	0.9
TiO ₂	1.1	0.8
SO ₃	1.3	0.3
Cl	0.15	0.05

Tablo 5.2. Türkiye'deki Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Kimyasal Kompozisyonları (18).

UÇUCU KÜL						
Oksit	A-E	ÇA	SÖ	S	T	Y
SiO ₂	27.4	56.8	40.6	39.8	56.4	51.2
Al ₂ O ₃	12.8	56.8	9.1	22.3	23.0	22.9
Fe ₂ O ₃	5.5	24.1	7.7	4.4	10.1	7.8
S+A+F	39.7	6.8	57.4	66.5	89.5	81.9
CaO	47	87.7	19.9	25.4	2.1	13.0
MgO	2.5	1.4	8.1	1.9	3.3	2.8
SO ₃	6.2	2.4	10.6	4.8	0.4	0.3
Alkali	0.3	2.9	1.4	0.4	0.9	2.9
TiO ₂	0.7	3.0	n.d	0.6	n.d	0.9
LOI	2.4	1.1	1.4	0.4	1.1	0.4
A-E :Afşin-Elbistan Termik Santrali SÖ :Seyitömer Termik Santrali T :Tunçbilek Termik Santrali ÇA :Çatalağzı Termik Santrali S :Soma Termik Santrali Y :Yatağan Termik Santrali						

Uçucu küllerde en fazla bulunan mineral fazlar, kuvars (SiO₂, Mullit (3Al₂O₃.2SiO₂)), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₃O₄) ve gipsit (anhidrit(CaSO₄)).

Uçucu küllerin bir kısmı SiO_2 ve Al_2O_3 'den meydana gelirken, diğer bir kısmı alkali ve toprak alkali elementlerin, özellikle SiO_2 ve Al_2O_3 ile yaptıkları camsı fazlardan oluşur (24).

Tablo 5.3. Türk Standartları Enstitüsü'ne Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları (26).

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70 (min.)
MgO	5 (max.)
SO_3	5 (max.)
Nem	3 (max.)
Kızdırma kaybı	10 (max.)

Uçucu küllerin kimyasal yapılarını açıkladıktan sonra, uçucu küllerin görünüş, incelik, yoğunluk, puzolanik özellik gibi fiziksel özelliklerine değinelim.

1- Görünüş

Uçucu küllerin, renkleri açık ve koyu gri ile siyah arasında değişmektedir. İyi yanmış bir uçucu kül, iyi yanmamış uçucu külden daha açık renktedir. Uçucu küle siyah rengi veren içindeki yanmamış karbondur. Uçucu küldeki yanmamış karbon miktarı kızdırma kaybı değerinden az olmalıdır (24).

2- İncelik

Uçucu küller, genellikle gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile süngerimsi ve köşeli aglomera tanelerden oluşmuştur. Taş kömürü uçucu küllerinin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulana kadar daha düşüktür (21).

3- Yoğunluk

Uçucu küllerin özgül ağırlığı, bünyelerindeki kuvars, alümina, demir ve karbon miktarı ile değişmektedir. Küldeki demir miktarı arttıkça özgül ağırlık artmaktadır. Oysa yüksek miktarlarda alümina, silis ve karbon düşük yoğunluğa neden olurlar. Ayrıca, içi dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin özgül ağırlıkları yüksek iken, süngerimsi tanelerden oluşanların daha düşüktür (21). Uçucu küllerin ortalama özgül ağırlıkları, $2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ dür (27).

4- Puzolanik Özellik

Uçucu küller, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak sulu ortamda kireç ile birleştirildiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan puzolanik malzemelerdir (21). Puzolanik aktivite inceliği fazla ve karbon miktarı az olan küllerde daha da kuvvetlenmektedir (19). Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller, daha iyi puzolanik özellik göstermektedir. Uçucu küllerin puzolanik özellikleri, içindeki $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarına da bağlıdır (28).

Bütün bu özelliklerinin yanısıra uçucu külün potansiyel avantajları, pürüzsüzleştirme / zımparalama olmaksızın kuvars yerine kullanılabilen, ince parçacıklardan oluşan, plastik olmayan bir aşındırıcı olmasıdır. Çünkü kuvars, gerekli inceliği kazanmak için pürüzsüzleştirmeyi gerektiren sert bir maddedir. Uçucu küller kolayca artık madde olarak kullanılabilir ve kullanımda etkili bir gelir sağlayabilirler.

Sonuç olarak, seramik ürünlerin hazırlanmasında uçucu külün kullanılmasındaki potansiyel avantajlar şöyle sıralanabilir (29):

- 1) Nakliyesinin ucuz olması
- 2) Daha az ücretle daha fazla miktarın kullanılabilirliği
- 3) Ana hammadde ince tane yapısına sahip olduğundan öğütme masraflarının düşük oluşu
- 4) Çevre kirliliğinin olmaması

Bu gibi avantajlar, uçucu külün çeşitli alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Uçucu kül kullanımı, çimento ve beton, hafif agrega, tuğla, seramik ve cam üretimi ile yol yapımı vs. gibi çeşitli alanlarda yıllardır denenmektedir. Bununla birlikte uçucu kül kalitesinin kontrolündeki zorluk nedeniyle, kullanma oranı halen %20 'nin altındadır.

Hangi tipten olursa olsun, uçucu kül, temelde manyetik parçalardan, yanmamış karbondan ve temiz külden oluşmaktadır. Bu içerikler ayrıştırıldığı takdirde, uçucu kül uygulamalarda kullanmak için daha iyi imkanlar sergileyecektir (30). Uçucu küllerin kullanıldıkları alanlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

a) Tuğla üretiminde kullanımı

Uçucu Külür çok ince taneli olmaları, sertleştikleri zaman yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle tuğla üretiminde kullanılabilir. Uçucu külürin bünyesindeki karbon, tuğlaların pişirilmesi sırasında enerji tasarrufu sağlamaktadır (23). Tuğla üretiminde kullanılan uçucu külürin tane boyutu, tuğlaların özelliklerini etkilemektedir. Tane boyutu küçük külürin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu büyük olanlara nazaran daha yoğun ve daha mukavemetlidir. Ayrıca, daha düşük pişme küçülmesi oranına ve su emme özelliğine sahiptir (20).

b) Çimento ve beton üretiminde kullanımı

Çimento yapımında kullanılan hammaddeler CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 olmak üzere başlıca dört bileşiğı içerirler. Uçucu külürde de değişik oranlarda aynı bileşikler bulunduğundan çimento üretiminde kullanılmaktadırlar. Puzolanik özellik gösteren uçucu külür, çimento ile birlikte kullanıldıklarında, çimentonun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanırlar. Uçucu külür, beton yapımında kullanıldıkları zaman, betonun yüzey temizliğı ve işlenebilme özelliğı iyileşmektedir. Aynı zamanda betonun su geçirgenliğı ve büzülme kanaması azalırken dayanımı artmaktadır (23).

c) Seramik ve cam üretiminde kullanımı

Uçucu külür, kil ve feldispat ilavesi yapılarak, geleneksel (tabak, fincan vs.) ve sanatsal (vazo, küllük, süs eşyaları) seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Uçucu külür seramik sanayiinde kullanıldığında bir takım avantajları beraberinde getirmektedir. Bunlar, tane boyutunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin çok düşük olması ve içerdiği karbonun pişirme işlemleri sırasında sağladığı enerji şeklinde sıralanabilir (29). Uçucu külür ayrıca, son zamanlarda üzerinde çok çalışılan ve geniş kullanım alanı bulan cam seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadır (21).

d) Hafif agrega üretiminde kullanımı

Hafif agregalar, hem doğal olarak hem de bazı malzemelere uygulanan çeşitli prosesler sonucunda elde edilebilirler. Uçucu külür 1100-1200 °C 'de bir miktar

ergime göstererek ve uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak yuvarlak veya silindirik taneli agregalar oluşturmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların kullanılması ile hafif beton elde edilmektedir. Bu şekilde yapılan betonlar, normal ağırlıklı betonlar kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, ısı ve ses iletkenliği düşük malzeme elde edilebilmekte ve hafifliği nedeniyle işçilik kolaylaşmaktadır (21).

e) Yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanımı

Uçucu kül, yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda genellikle iki şekilde kullanılmaktadır; dolgu malzemesi olarak ve toprak stabilizasyonunu sağlamak amacıyla temel malzeme olarak. Uçucu küller sıkıştırıldıkları zaman diğer dolgu malzemelerine nazaran daha düşük bir yoğunluğa sahip olurlar. Bu durum, özellikle sıkıştırılabilme özelliği yüksek uçucu küllerin yüksek zeminler üzerinde daha uygun bir dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini gösterir. Böylece, yerleşme nedeniyle oluşan deformasyonlar daha küçük olacak, özellikle yerleşme hareketinin büyük sorunlar yarattığı köprü ayaklarında kullanılması çeşitli yararlar sağlayacaktır. Son zamanlarda uçucu külün çevre geoteknolojisi uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmaktadır. Örneğin, zararlı atık veya çöp depolanan sahalarda sızdırmazlık sağlamak amacıyla, sıkıştırılmış kil yerine, sıkıştırılmış uçucu kül veya uçucu kül+kum karışımının kullanılması düşünülmektedir (21).

f) Diğer kullanım alanları

Yukarıda belirtilenlerin dışında uçucu küllerin diğer kullanım alanları aşağıda verilmiştir (18).

- Gaz beton üretiminde
- Harç yapımında
- Taşkın önlenmesinde
- Döküm kumu olarak
- Maden ocaklarında filtre olarak
- Yalıtım malzemesi olarak
- Metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde
- Petrol kuyusu sondajlarında

BÖLÜM 6

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışma Programı

Bu çalışmanın amacı, Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santral atık uçucu küllerinin seramik karo üretiminde değerlendirilebilmesini araştırmaktır. Projenin ilk aşamasında, Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santrallerden temin edilen uçucu kül örneklerinin ve Söğüt Seramik Sanayii işletmelerinden temin edilen kil, kuvars, feldispat hammaddelerinin kimyasal analizleri, diferansiyel termal analiz ve X-ışınları difraksiyonu ile mineralojik analizleri, özgül ağırlık ve tane boyutu analizleri gibi karakterizasyonların tespitine çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, karakterizasyonları yapılan uçucu kül, kil, kuvars, feldispat malzemeleri kullanılarak değişik oranlarda karışımlar hazırlanmış ve daha sonra yarı-kuru presleme yöntemi ile çubuk ve el presiyle dikdörtgen numuneler üretilmiştir. Ardından bu numunelere çeşitli testler uygulanarak özellikleri belirlenmiştir.

6.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada uçucu kül olarak iki tip kül kullanılmıştır. Bunlar Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santrallerinden temin edilmiş olan uçucu küllerdir.

Kil, kuvars, feldispat hammaddeleri ise Bilecik Söğüt Seramik İşletmelerinden temin edilmiştir.

6.3. Hammadde Karakterizasyonu

6.3.1. Kimyasal Analiz

Kullanılan malzemelerde oksit haldeki bileşiklerin cinsini ve oranlarını tespit etmek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır.

Uçucu kül ile diğer hammaddeler 800-850 °C arasında Na_2CO_3 eritilmesiyle çözünürleştirilip asitle alındıktan sonra gravimetrik metod ile SiO_2 tayini yapılmıştır. Kalıntı aynı sıcaklıkta Na_2CO_3 boraks eritilmesiyle çözünürleştirilip, SiO_2 'den geriye kalan çözeltiye ilave edilmiştir. Belli bir hacime tamamlandıktan sonra bu çözeltiden atomik absorpsiyon spektrometresi ile diğer tayinler yapılmıştır.

6.3.2. Mineralojik Analiz

Gerek hammaddeler gerekse uçucu kül örneklerinin mineralojik analizlerinde Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve X-Işınları Difraksiyon Analizi kullanılmıştır.

1) Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Diferansiyel Termal Analiz yöntemi, bir maddenin düzgün ısıtılması veya soğutulması sırasında, yapıda kimyasal veya fiziksel değişimler sonucu meydana gelen ısı alışverişini, reaksiyon sıcaklığını ve reaksiyon türünü verir. Bir reaksiyon ısı veriyorsa egzotermik, ısı alıyorsa endotermik reaksiyon olarak adlandırılır (5).

Endotermik reaksiyonlar, su kayıpları, kristal yapının bozulması, karbon dioksit veya sülfür trioksit kayıpları sonucu oluşurlar. Egzotermik reaksiyonlar ise, organik maddelerin yanması, yüksek sıcaklıklarda fazların oluşumu, amorf maddelerin kristalleşmesi nedeniyle. Bu reaksiyonlar sonucu, sıcaklık açığa çıkar (5).

Diferansiyel Termal Analiz ile, test edilecek madde ile standart inert bir maddenin (kalsine edilmiş kaolen veya $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) birlikte ısıtılması sırasında ikisi arasındaki sıcaklık farkı tespit edilir. Test edilen maddenin ısı farkı referansa göre ilerde veya geride bulunmasına göre ısı reaksiyonunun egzotermik veya endotermik olduğunu gösterir. Bu reaksiyonlar, DTA cihazında pikler şeklinde kayıt edilir (8). Pik sıcaklıkları, test maddesinde bulunan minerallerin kimyasal bileşimi, kristal yapısı ve reaksiyon enerjileri tespit edilebilir(23).

2) X-Işınları Difraksiyon Analizi

Uçucu kül örneklerinde bulunan kimyasal bileşiklerin tanınmasında ve özelliklerinin saptanmasında kullanılan yöntemlerden biri de X-Işınları difraksiyon analizidir. Analizler Siemens D-5000 X-ışınları difraktometresi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde, Cu hedef elementinden elde edilen K_α karakteristik X-Işını demeti

analiz edilecek madde üzerine gönderilir. Işın demeti maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar ve maddeye has difraksiyon paternlerini oluşturur. Meydana gelen bu paternlerin hangi minerallerden elde edildiği direk bilgisayar tarafından saptanmış ve çıktıları alınmıştır. Analizde 1.5418 Å 'luk dalga boyu kullanılmıştır.

6.3.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi

A) Tane Boyut Analizi

Tane boyut analizi, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Analizin birinci aşamasında, yaklaşık 100 gr. tartılan malzemeler 450 mlt. su ile ayrı ayrı beherlerde 1 gün bekletilmiştir. Elek analizi için kullanılan elekler, elek açıklıklarına göre üst üste sıralanmış ve malzemeler bu eleklerden, yukarıdan aşağıya doğru geçirilmiştir. Her bir elek üzerinde biriken kalıntılar ayrı ayrı beherlere alınmış ve sabit tartıma gelinceye dek kurutulmuşlardır. Beherlerdeki malzemeler tartılarak kaydedilmiştir(5).

İkinci aşamada, tane boyutu küçük malzemelerin analizi yapılmıştır. Tane boyut dağılımları "Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer" (SA-CP,20 Model) cihazıyla yapılmıştır. Bir hücre içerisinde suda (ağırlıkça %0.2 Calgon içeren dispersant çözeltisi) dağıtılan analiz numunelerinin tane boyutları yer çekimi prensibine göre, X-ışınlarının şiddet değişimi ile belirlenmiştir.

B) Özgül Ağırlık

Uçucu kül ve diğer hammaddelerin özgül ağırlıkları, toz halindeki veya toz haline getirilmiş maddelerin özgül ağırlıklarının saptanmasında kullanılan piknometre yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemde özgül ağırlık, aşağıdaki formüle göre hesaplanır (23).

$$d = \frac{W - P}{(W_1 - P) - (W_2 - W)} \times d_1 \quad (6.1)$$

d = Test malzemesinin özgül ağırlığı (kg/m³)

W = Ağzı kapalı piknometre + test malzemesinin ağırlığı (kg)

P = Ağzı kapalı piknometre ağırlığı (kg)

W_1 = Ağzı kapalı piknometre + saf su ağırlığı (kg)

W_2 = Ağzı kapalı piknometre + test malzemesi + saf su ağırlığı (kg)

d_1 = Saf suyun özgül ağırlığı (1000 kg/m³)

6.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

6.4.1. Harmanlama ve Kalıplama

Karakterizasyonları yapılan Tunçbilek ve Seyitömer uçucu külleri, kil, kuvars ve feldispat hammaddeleri ile değişik oranlarda harmanlanarak karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanması sırasında 4 farklı çalışma grubu göz önünde tutulmuştur.

- 1- Feldispat miktarının azaltılıp, kül miktarının arttırıldığı karışımlar
- 2- Kuvars miktarının azaltılıp, kül miktarının arttırıldığı karışımlar
- 3- Feldispat ve kuvars miktarının azaltılıp, kül miktarının arttırıldığı karışımlar
- 4- Kil miktarının azaltılıp, kül miktarının arttırıldığı karışımlar

Yukarıda sözü edilen gruplar, içerdikleri karışımın bileşenleri (kil, kuvars, feldispat, kül) sistematik olarak azaltılıp çoğaltılmak suretiyle de kendi aralarında 3 farklı gruba ayrılmıştır. Malzemelerin karışım oranları Tablo 6.1. 'de verilmiştir.

Tablo 6.1. 'de verilen karışım oranları hem Tunçbilek hemde Seyitömer uçucu külleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bileşimde kullanılan uçucu kül miktarı sırasıyla %5-15-25 olarak artan oranlarda kullanılmıştır.

1 nolu grupta kil ve kuvars yüzdesi %50 ve %25 olarak sabit tutulurken, feldispat yüzdesi kademeli olarak %20-10-0 olarak azaltılmıştır. 2 nolu grupta kil yüzdesi %50 ve feldispat yüzdesi %25 olarak sabit tutulup, kuvars yüzdesi %20-10-0 olarak azaltılmıştır. 3 nolu grupta sadece kil yüzdesi %50 olarak sabit tutulmuş, feldispat ve kuvars yüzdesi ise %22.5-17.5-12.5 olarak azaltılmıştır. 4 nolu grupta ise, gerek feldispat gerekse kuvars yüzdesi %25 oranında sabit tutulurken, kil yüzdesi %45-35-25 olarak azaltılmıştır.

Tablo 6.1. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Karışım Oranları

Numune Kodu	Uçucu kül (%)	Kil (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)
1	5	50	25	20
	15	50	25	10
	25	50	25	-
2	5	50	20	25
	15	50	10	25
	25	50	-	25
3	5	50	22.5	22.5
	15	50	17.5	17.5
	25	50	12.5	12.5
4	5	45	25	25
	15	35	25	25
	25	25	25	25

Hazırlanan karışımlara plastisiteyi sağlamak amacıyla %15 oranında su ilave edilerek, presleme sırasında oluşacak laminasyonları önlemek için granüle edilmiştir. Yarı-kuru presleme yöntemiyle 41x8x5 mm. boyutundaki çubuk numunelerden her bir karışım grubu için 5 'er adet ve sırlama için de 100x60x6 mm. boyutlarında dikdörtgen numunelerden 1'er adet hazırlanmıştır. Çubuk numuneler 1000 kg/cm² ve dikdörtgen numuneler ise 600 kg/cm² 'lik basınç ile preslenmişlerdir.

6.4.2. Kurutma, Sırlama ve Sinterleme

Değişik oranlarda harmanlanmış ve preslenmiş deney numuneleri etüvde 110 °C 'de 1 saat bekletilmek suretiyle kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra çubuk numuneler 1100 °C 'de 10-15 °C/dk. ısıtma hızı ile Muffle Furnaces (MF -120 Model) fırınında sinterlenmiş ve yine aynı fırında soğutulmuştur. Bu numuneler daha sonra bir dizi testlerden geçirilmiştir. 100 x 60 x 6 mm. boyutlarında yer karosu olarak preslenmiş olan dikdörtgen numuneler kurutulduktan sonra püskürtme yöntemiyle astarlanmış, daha sonra da çan akıtma yöntemiyle sırlanmışlardır. Sır bileşiminde %18 oranında firit kullanılmıştır. Diğer sır bileşenleri ise şöyledir:

- Kuvars (45 mikron altına öğütülmüş)
- Na - feldispat (öğütülmüş)
- Çinko oksit
- Mermer (Ergime sıcaklığını düşürücü olarak)
- Zirkon (Zr₂O₃ - Beyazlaşmayı sağlar)

- Al_2O_3
- Elektrolit (STP - Akıcılığı, CMC - bünyeye yapışmayı kolaylaştırır.)

Sırlanan numuneler, Roller fırınında yer karosu pişirim sıcaklığı olan 1180°C 'de 45 dk. süreyle pişirilmiştir.

6.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri

6.5.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme

Deney numunelerinde meydana gelen kuruma, pişme ve toplu küçülme değerleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır (21).

$$\% \text{ Kuruma Küçülmesi} = \frac{h_o - h_k}{h_o} \times 100 \quad (6.2)$$

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{h_k - h_p}{h_k} \times 100 \quad (6.3)$$

$$\% \text{ Toplu Küçülme} = \frac{h_o - h_p}{h_o} \times 100 \quad (6.4)$$

h_o = Presleme sonrası yükseklik (mm)

h_k = Kurutma sonrası yükseklik (mm)

h_p = Sinterleme sonrası yükseklik (mm)

6.5.2. Su Emme

110°C 'de kurutulan numuneler oda sıcaklığına soğutulup tartılmıştır. Her taraflarından suyun hareketine imkan verecek şekilde ince iki cam çubuk mesnet üzerine oturtulan numunelere, tamamen su içinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. 5 saat kaynatma sonucunda numuneler oda sıcaklığında soğutulup tartılarak, doymuş ağırlıkları tespit edilmiştir. Kuru ve doymuş ağırlıklar yardımıyla, aşağıdaki formüle göre su emme miktarı bulunmuştur (21).

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{W_{dk} - W_k}{W_k} \times 100 \quad (6.5)$$

W_{dk} = 5 saat suda kaynatma sonrası ağırlık (kg)

W_k = 110°C 'de kurutma sonrası ağırlık (kg)

6.5.3. Yığın Yoğunluk

Etüvde 110 °C 'de kurutulan numuneler tartılıp (W_a) uygun bir kaba konulduktan sonra, numunelerin yarısına kadar su ile doldurulup 5 dakika beklenmiştir. Kap bir ocak üzerine konarak ısıtılmış ve su kaynama noktasına yaklaşıncaya, numunelerin tümü su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. 5 saat kaynadıktan sonra oda sıcaklığında soğutulup, su içerisinde tartılmıştır (W_b). Numuneler sudan çıkarılarak yüzeydeki ıslaklık kaba bir kağıt ile alınmış ve havada yeniden tartılmıştır (W_c). Bu tartımlardan aşağıdaki formüle göre, yığın yoğunluk (db) değerleri bulunmuştur (20).

$$\text{Yığın Yoğunluk (db)} = \frac{W_a}{W_c - W_b} \times d_s \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (6.6)$$

d_s = Kullanılan sıvının yoğunluğu (deneyde su için 1000 kg/m³ alınmıştır.)

6.5.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti Testi

Deney numunelerinin üç nokta eğme mukavemetleri tespit edilirken, Instron-Model 1115 çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Kırılıncaya kadar artan bir yük uygulanan numunelerin üç nokta eğme mukavemeti, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (21).

$$F = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (6.7)$$

F = Üç Nokta Eğme Mukavemeti (Pa)

P = Kırılma Yüğü (N)

L = Sabit Değer (0.025 m)

b = Çubuk Genişliği (m)

h = Çubuk Yüksekliği (m)



BÖLÜM 7

7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

7.1. Hammadde Karakterizasyonu

7.1.1. Kimyasal Analiz

Çalışmada Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleri ile Kil, Kuvars ve Feldispat hammaddeleri kullanılmıştır. Her bir uçucu kül ile kil, kuvars ve feldispat hammaddelerine ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 7.1 'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Analizleri

Kimyasal Bileşik	Seyitömer U.Külü (% Ağırlık)	Tunçbilek U.Külü (% Ağırlık)	Kil (% Ağırlık)	Kuvars (% Ağırlık)	Feldispat (% Ağırlık)
SiO ₂	54.87	53.96	60.24	92.02	69.44
Al ₂ O ₃	16.42	17.91	22.65	4.41	18.92
Fe ₂ O ₃	11.53	11.13	2.28	0.40	0.18
TiO ₂	0.52	1.08	1.08	0.11	0.27
CaO	4	1.63	0.92	0.69	0.56
MgO	3.92	3.95	0.67	0.10	0.08
K ₂ O	1.67	1.62	2.55	1.73	0.31
Na ₂ O	0.28	0.06	0.06	0.42	10.27
Kızdırma Kaybı	2.85	5.72	9.69	0.13	0.04

SiO₂ ve Al₂O₃ yüzdelerinin Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleri için sırasıyla %54.87, %16.42 ve %53.96, %17.91 olduğu tespit edilmiştir. Seyitömer uçucu külü %11.53 oranı ile demir ve toplam %9.87 'lik alkali oranıyla Tunçbilek 'e göre daha yüksek değerler göstermektedir. Buna nazaran Tunçbilek uçucu külünün, kızdırma kaybı değeri %5.72 ile Seyitömer uçucu külünden daha yüksektir. Bünyede tespit edilen alkali oksitler mullitleşme ve tane büyümesine yardımcı ile deneylerde belirgin etkiler oluşturmıştır.

Kil hammaddesi %60.24 oranında SiO₂, %22.65 oranında Al₂O₃ içermektedir. %2.28 gibi oranlarda da Fe₂O₃ içerdiği saptanmıştır.

Kuvars hammaddesi %92.02 SiO_2 , %4.41 Al_2O_3 'den oluşmaktadır. Bünyede %1.73 oranında K_2O ile %0.69 oranında CaO tespit edilmiştir.

Kimyasal analiz, %10.27 Na_2O oranıyla çalışmada kullanılan feldispatın sodyum feldispat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_3$ -Albit) olduğunu göstermiştir. Bu sonuç X-Işınlarında tespit edilen sonuçlarla desteklenmektedir.

7.1.2. Mineralojik Analiz

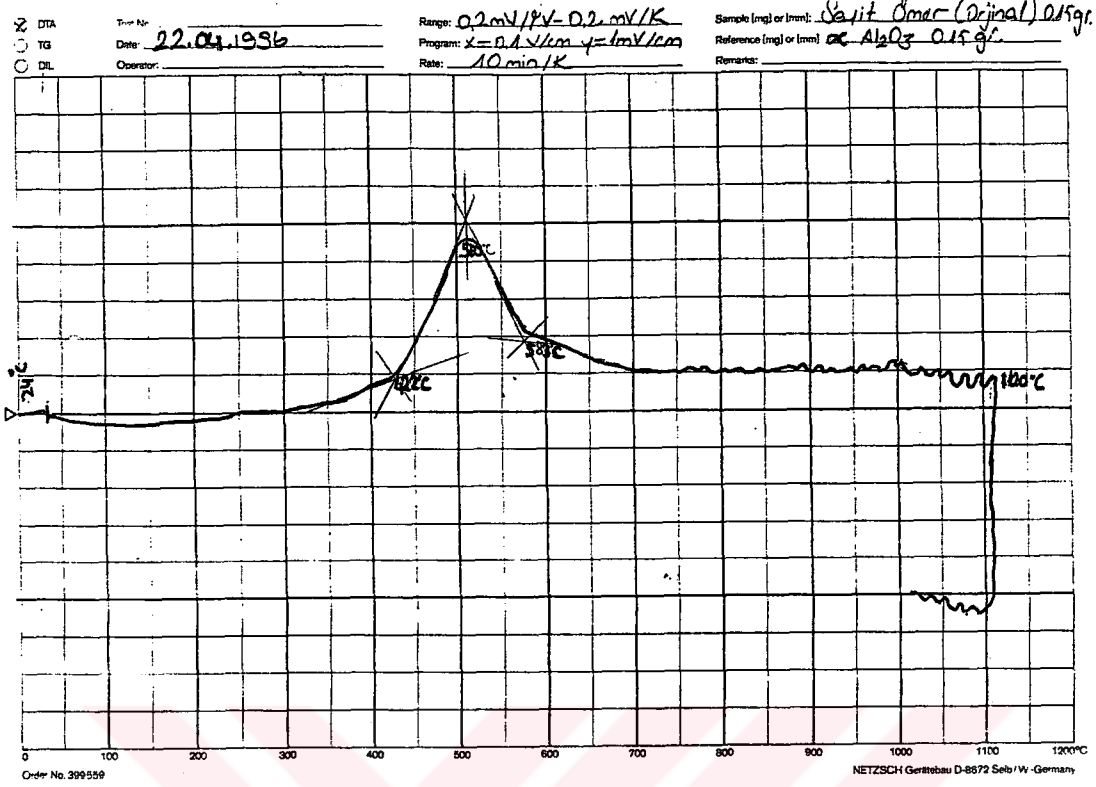
Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan malzemelerin Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve X-Işınları Difraksiyon Analiz yöntemleriyle yapılan mineralojik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

a) Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

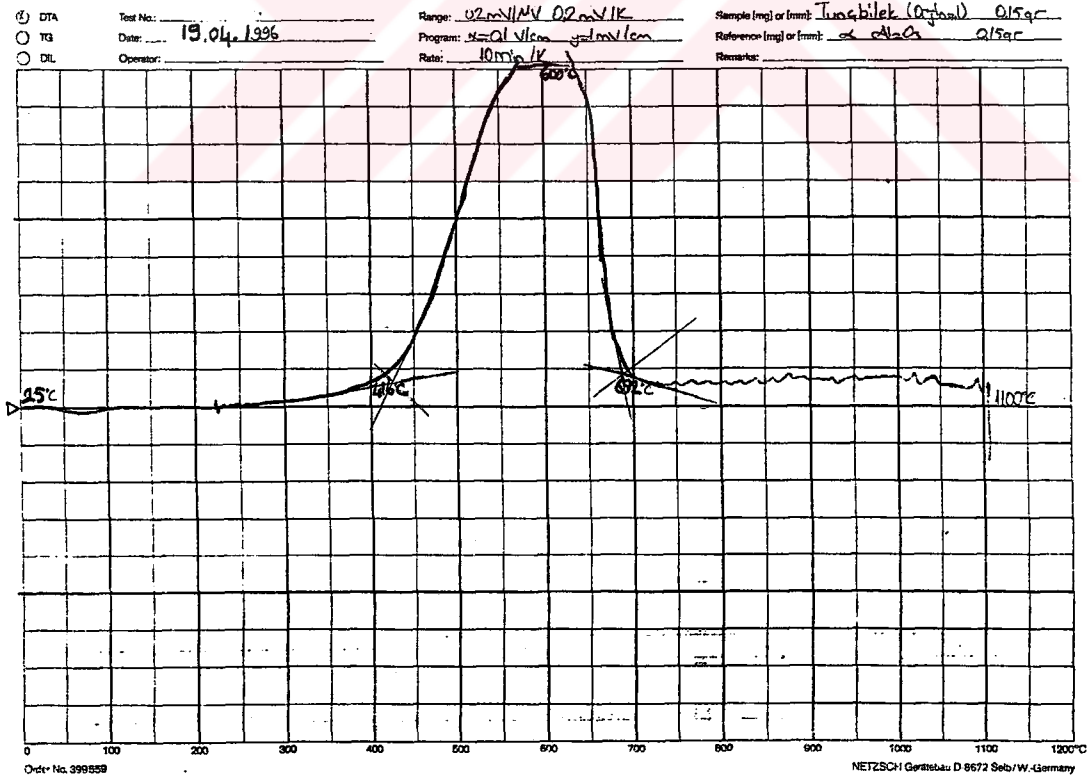
Çalışmada kullanılan malzemelere ait DTA analizleri Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 'de verilmiştir. Şekil 7.1a 'da Seyitömer uçucu külü için verilen DTA eğrisinde, 422-583 °C sıcaklık aralığında, 510°C 'de boyun veren egzotermik bir pik oluşmuştur. Aynı durum Şekil 7.1b 'de Tunçbilek uçucu külü içinde görülmüştür. 416-692°C aralığında egzotermik reaksiyon ile oluşan pik 600°C civarında boyun vermiştir. Uçucu kül gibi karışık fazlar içeren numunelerde DTA eğrisinden yararlanarak faz teşhisi çok zor olmaktadır. Ancak bu pikleri yapıda bulunan alkaliler ve karbonatların verdiği reaksiyonlarca oluştuğu düşünülse de bu sonuç X-Işınları difraksiyon analizi ile desteklenmeye çalışılmıştır.

Şekil 7.2a 'da kil numunesine ait DTA eğrisi görülmektedir. 561 °C 'de boyun veren reaksiyonun oluşturduğu pik aralığı 471-638 °C olarak tespit edilmiştir. Bu endotermik pik, kilin 550. °C 'den sonra kristal suyunu kaybetmesi ve metakaolene dönüşümü ile oluşmuştur. 930-1003 °C sıcaklık aralığında, 964 °C 'de boyun veren bir egzotermik pik oluşmuştur. Bu pik artan sıcaklığın etkisi sonucu mullit fazının oluşumuyla meydana gelmiştir.

Şekil 7.2b 'de kuvarsa ait DTA eğrisinde 574-615 °C aralığında endotermik pik oluştuğu görülmektedir. 584 °C aralığında boyun oluşturan bu pikin α -kuvarsın β -kuvarsa dönüşümüyle meydana geldiği düşünülmüştür.

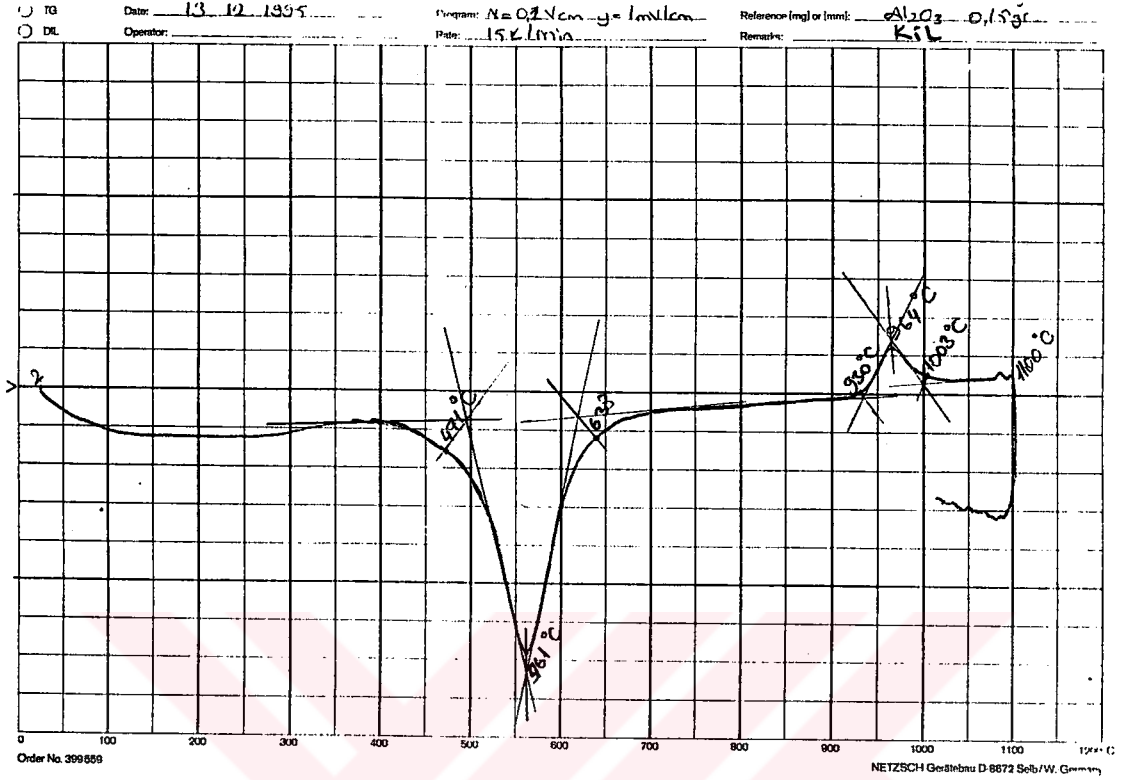


a)

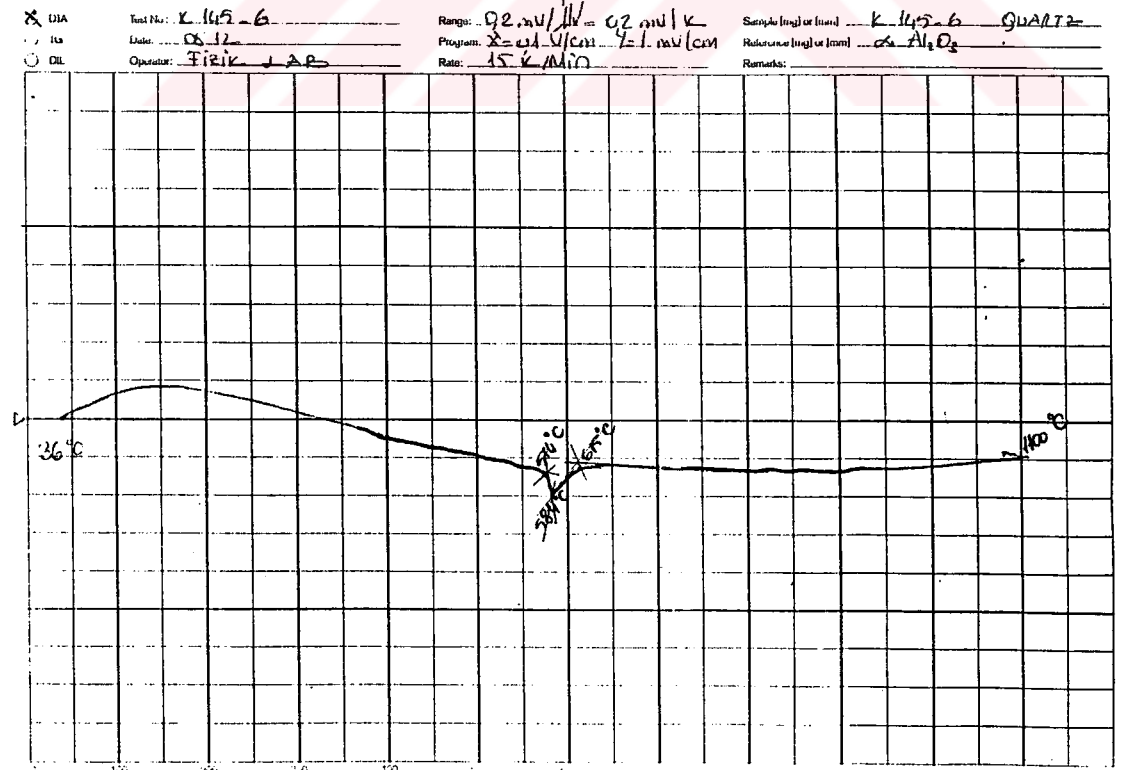


b)

Şekil 7.1. (a) Seyitömer ve (b) Tunçbilek Uçucu Küllerinin Diferansiyel Termal Analiz Eğrileri.



a)



b)

Şekil 7.2. (a) KİL ve (b) Kuvvars 'ın Diferansiyel Termal Analiz Eğrileri.

Kil örneğine yapılan X-Işınları analizlerinde çok kompleks olduğu görülen yapının çoğunluğunu muskovitin oluşturduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapıda α -kuvars, illit ve montmorillonite de rastlanmıştır. (Şekil 7.6).

Kuvars yapısının tamamına yakın kısmının α -kuvarstan meydana geldiği görülmüştür. (Şekil 7.7).

Feldispatın analiz sonuçları yapının çoğunluğunun sodyum feldispat ve α -kuvarstan oluştuğunu göstermiştir (Şekil 7.8). Bu durum daha önce gerek kimyasal analiz gerekse DTA analiz sonuçlarıyla da doğrulanmıştır.

Uçucu küllerin 1100 °C 'de sinterlenmeleri sonucu α -kuvarsın bir kısmı kristobalite dönüşürken bir kısmı aynı şekilde kalmıştır (Şekil 7.9 ve 7.10). Sıcaklığın etkisiyle her iki uçucu küldede camsı fazların oluşması ve kristal tanelerin amorf hale dönüşmesi sonucunda piklerde sıklaşma ve boylarında küçülmeler saptanmıştır. Bu durum analizlerde element ve bileşiklerin okunmasında zorluklara sebep olmuştur.

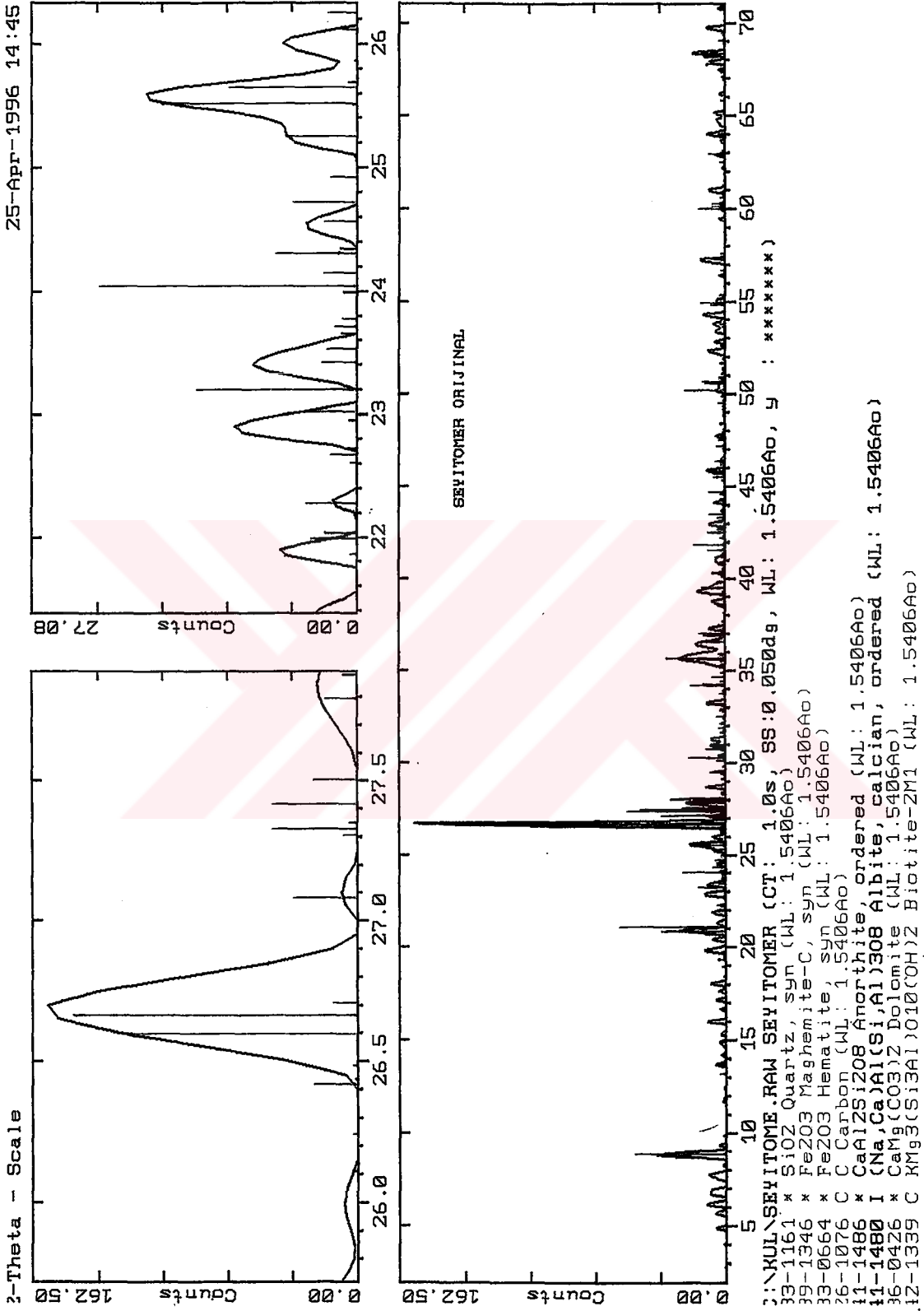
Şekillerde verilen bileşiklerin kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir.

Seyitömer uçucu külü;

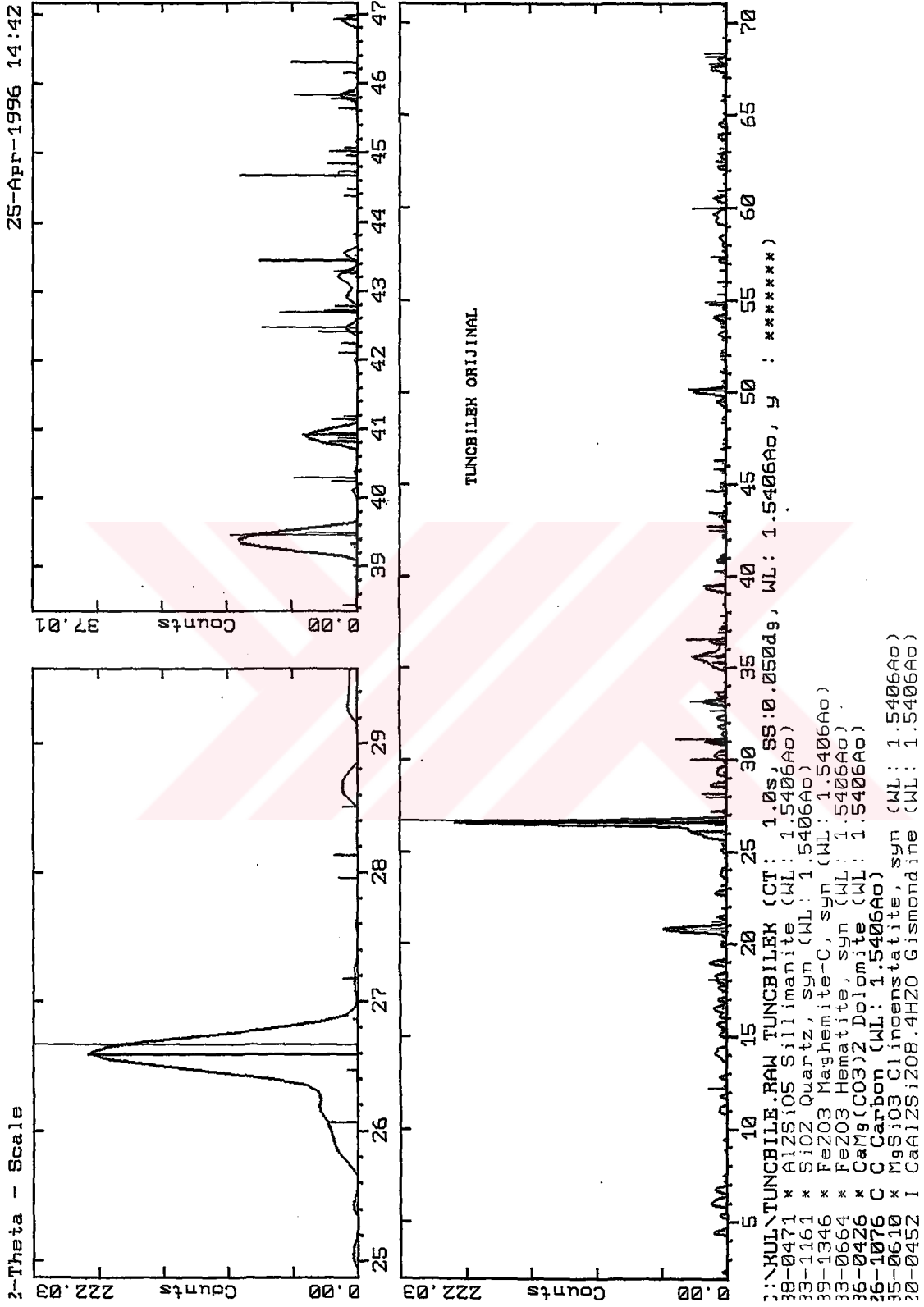
α -kuvars	: SiO_2
Anorthit	: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Albit	: $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$
Dolomit	: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Biotit	: $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Maghemit	: Fe_2O_3
Hematit	: Fe_2O_3
Karbon	: C

Tunçbilek uçucu külü;

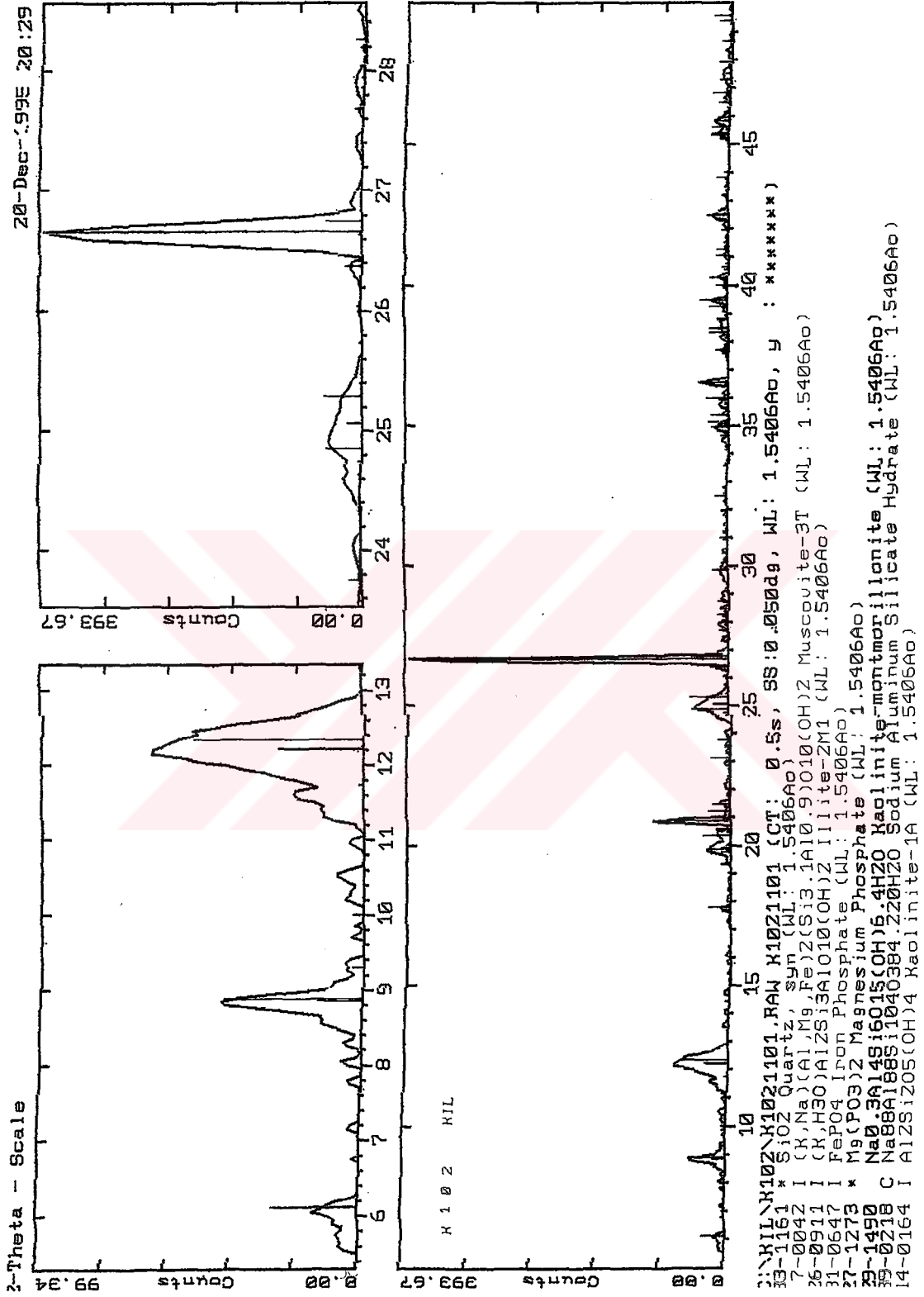
α -kuvars	: SiO_2
Silimanit	: Al_2SiO_5
Dolomit	: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Clinoenstatit	: $\text{Mg}(\text{SiO}_3)$



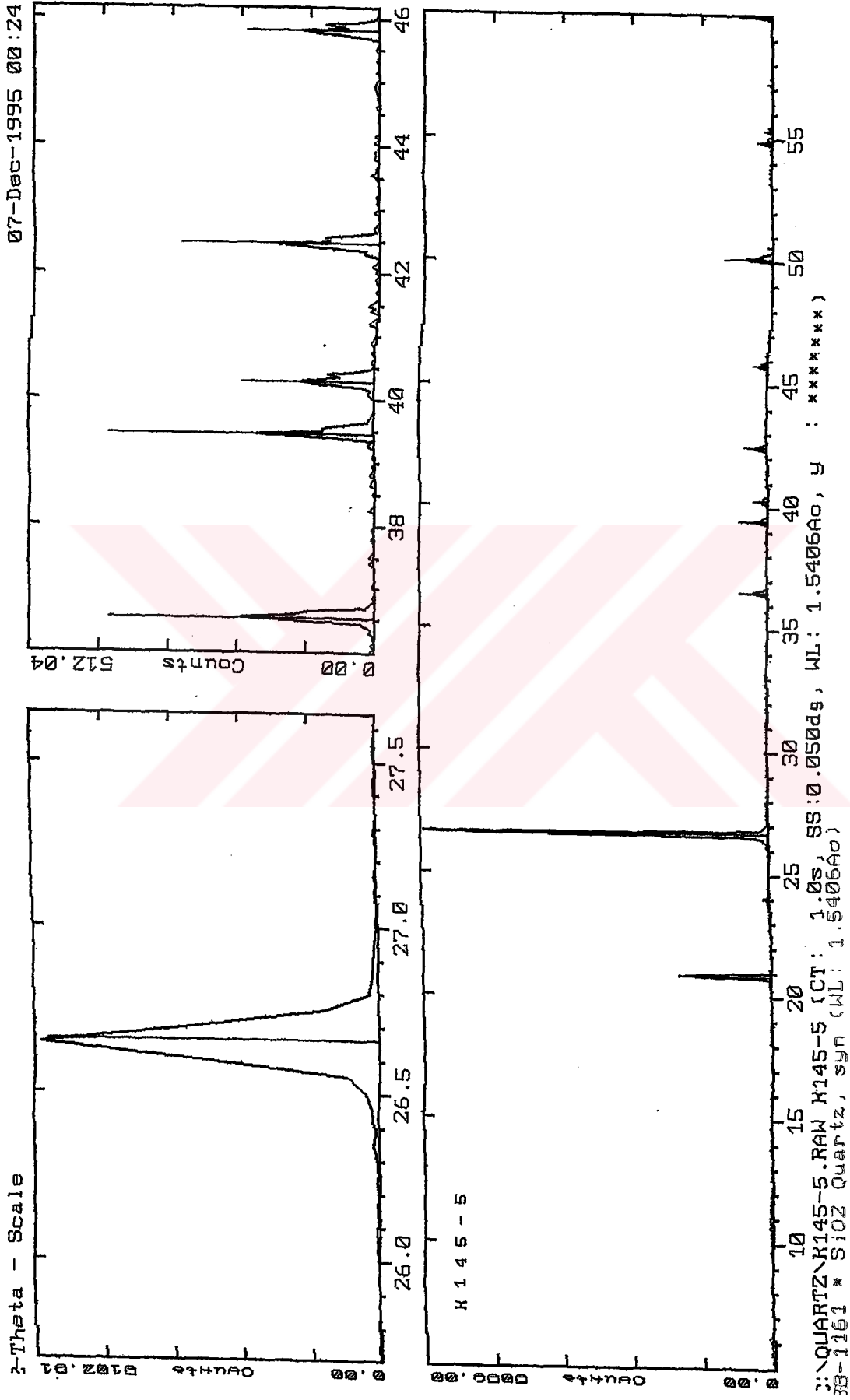
Şekil 7.4. Seyitömer uçucu külüne ait X-ışınları analizi



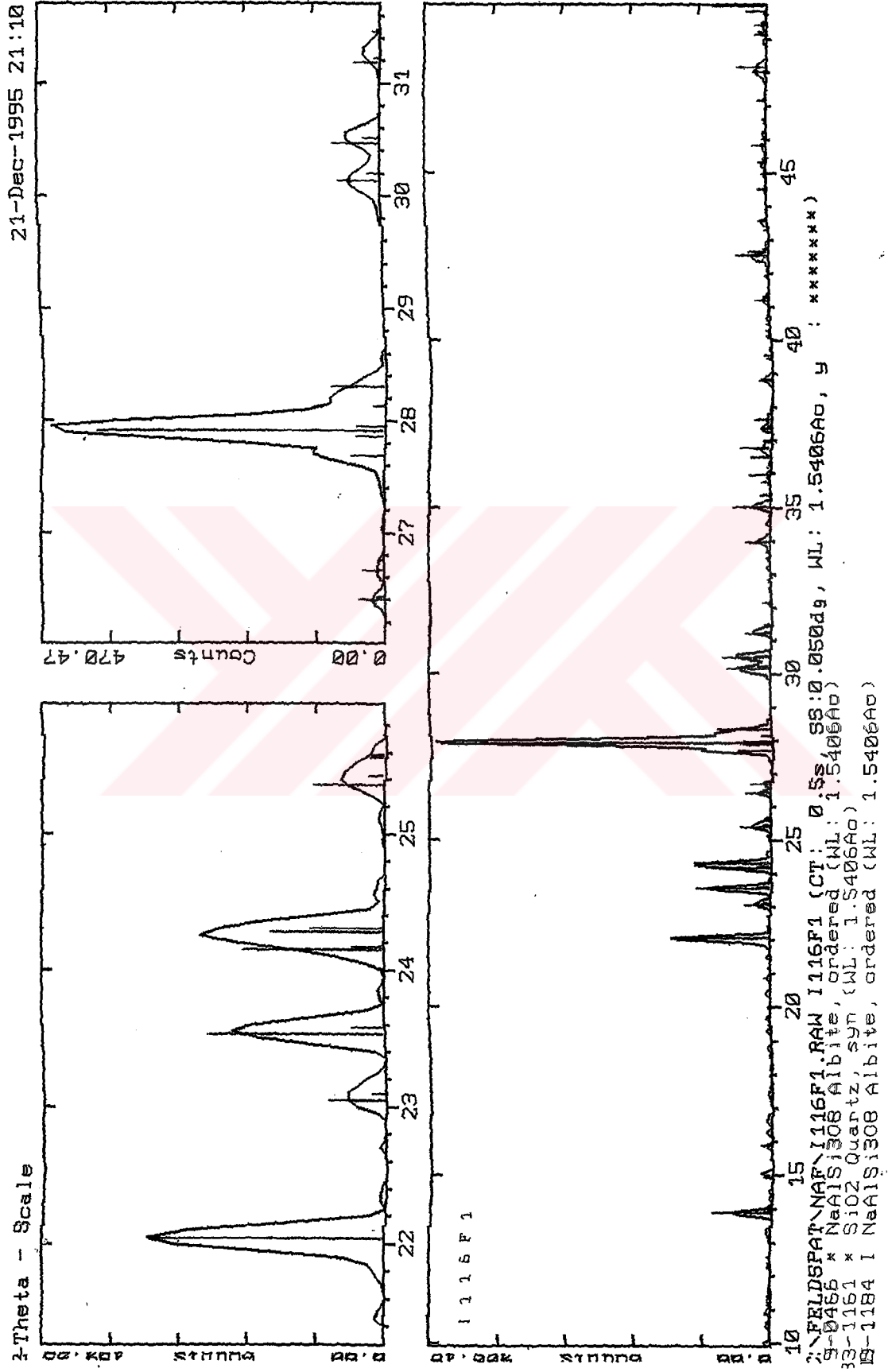
Sekil 7.5. Tuncbilek uçucu külüne ait X-ışınları analizi



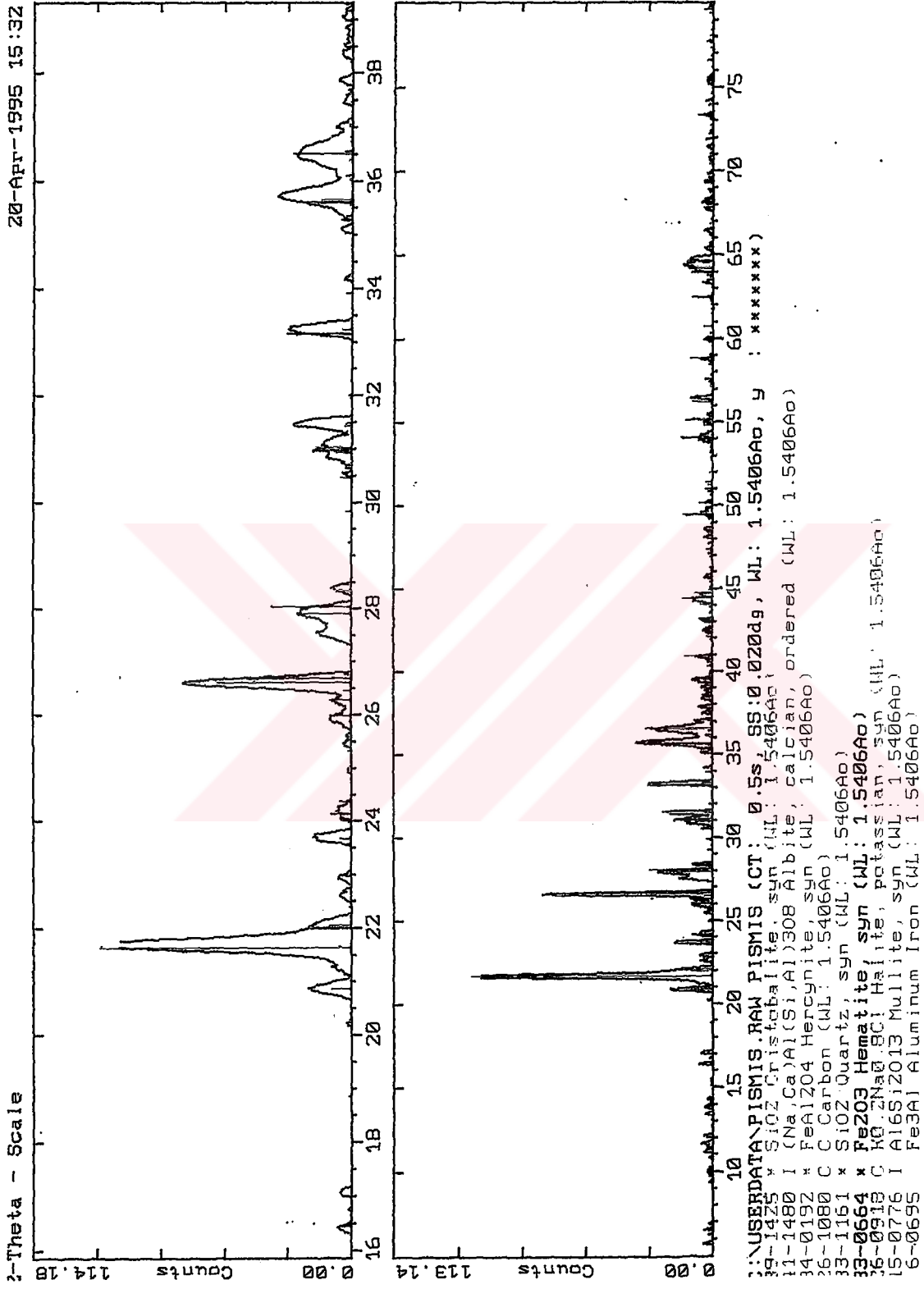
Şekil 7.6. Kile ait X-ışınları analizi



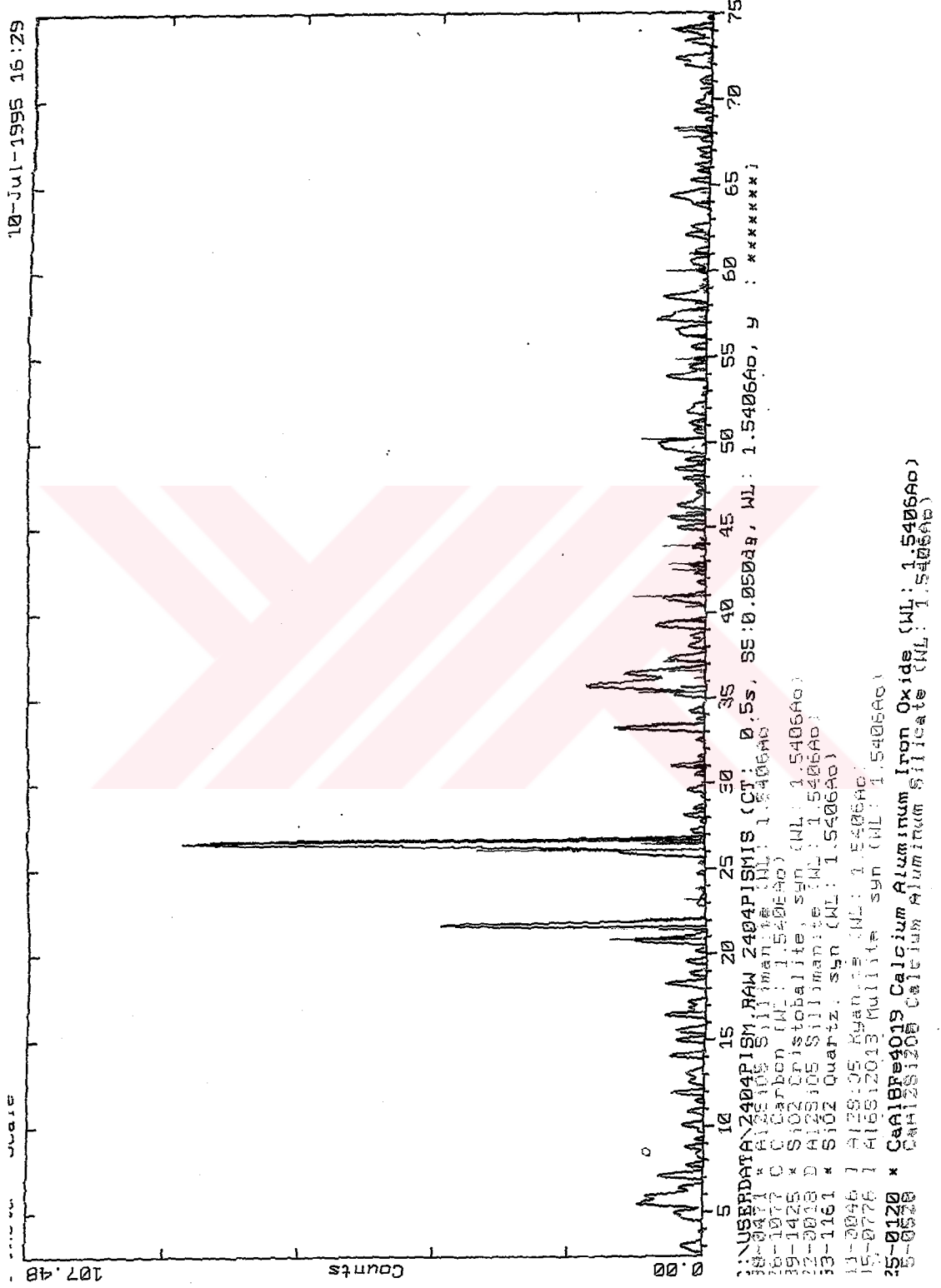
Şekil 7.7. Kuvars'a ait X-ışınları analizi



Şekil 7.8. Feldspat'a ait X-ışınları analizi



Şekil 7.9. 1100 °C'de sinterlenen Seyitömer uçucu külüne ait X-ışınları analizi



Şekil 7.10. 1100 °C'de sinterlenen Tunçbilek uçucu külüne ait X-ışınları analizi

Gismondin	: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Maghemit	: Fe_2O_3
Hematit	: Fe_2O_3
Karbon	: C
Kil;	
α-kuvars	: SiO_2
Muskovit	: $(\text{K},\text{Na})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
İllit	: $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
Kuvars;	
α-kuvars	: SiO_2
Feldispat;	
α-kuvars	: SiO_2
Albit	: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

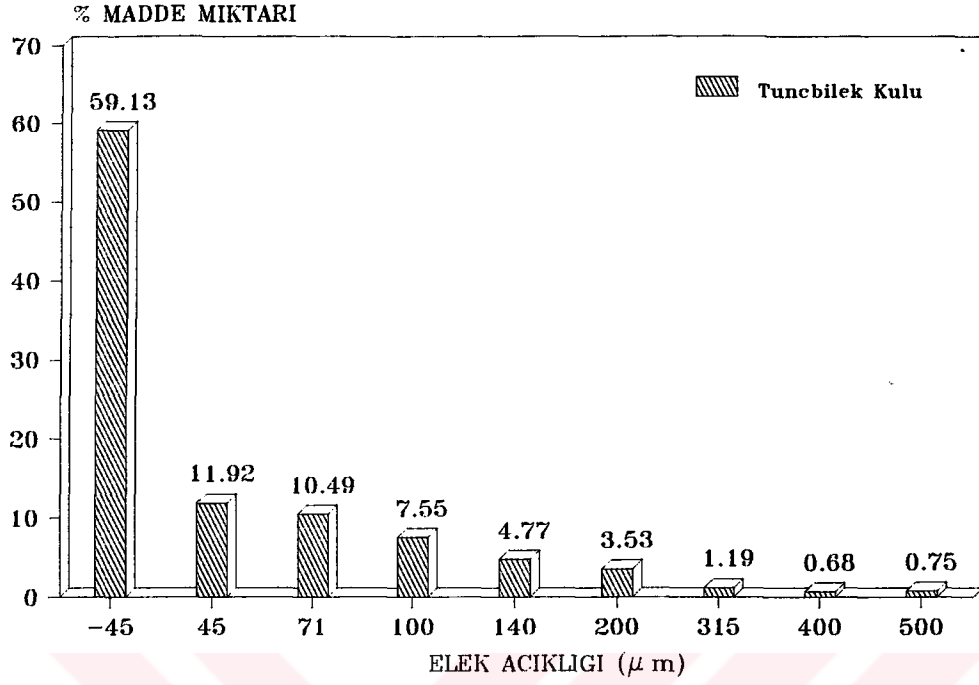
7.1.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi

a) Tane Boyutu Analizi

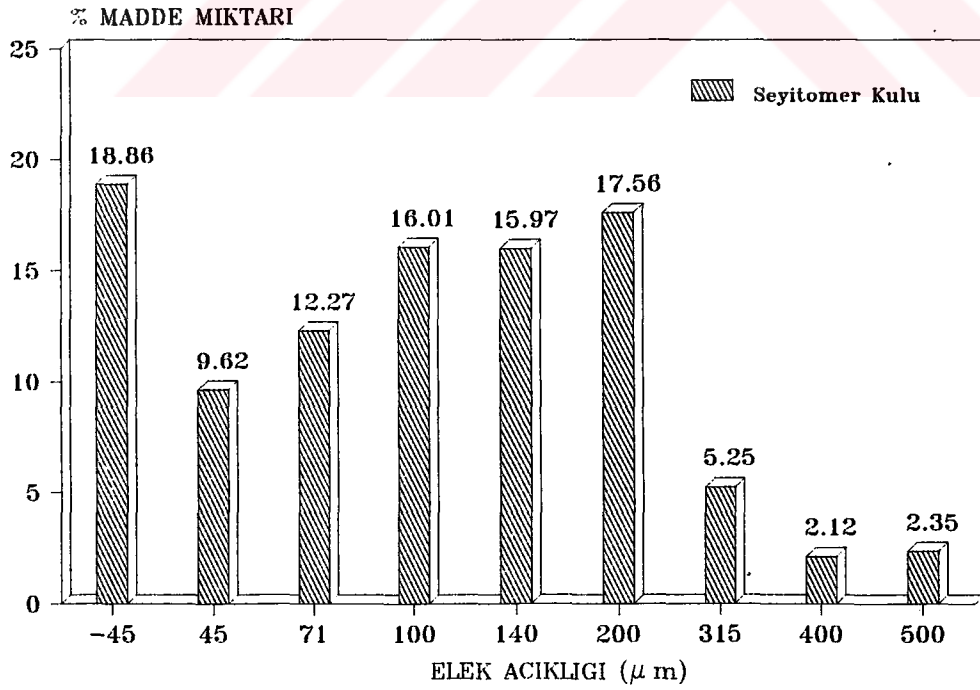
Tane boyut analizinin ilk aşamasında yapılan ıslak elek analizlerinde, herbir malzemenin inceliği farklılıklar arzettiğinden değişik boyutlardaki eleklerden geçirilmişlerdir. Tablo 7.2, Tablo 7.3 ve Tablo 7.4 'de bu malzemelere ait ıslak elek analiz sonuçları ve Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 'de bu değerlere ait histogramlar verilmiştir. Burada x eksenini μm olarak elek açıklığını, y eksenini ise bu boyuttaki eleklerden geçen % madde miktarını ifade etmektedir.

Tablo 7.2. Uçucu Küllerin Islak Elek Analiz Sonuçları

Elek Açıklığı (μm)	Seyitömer U.K. (%)	Tunçbilek U.K. (%)
+500	2.35	0.75
-500+400	2.12	0.68
-400+315	5.25	1.19
-315+200	17.56	3.53
-200+140	15.97	4.77
-140+100	16.01	7.55
-100+71	12.27	10.49
-71 +45	9.62	11.92
-45	18.86	59.13



a)



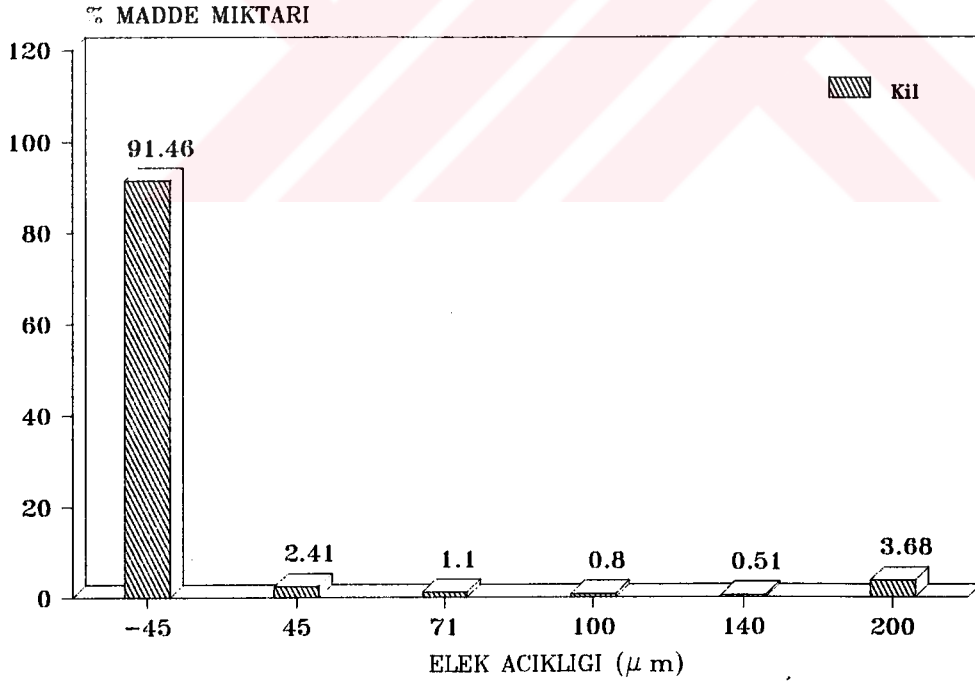
b)

Şekil 7.11. (a) Tunçbilek ve (b) Seyitömer Uçucu Küllerinin Islak Elek Analiz Histogramları

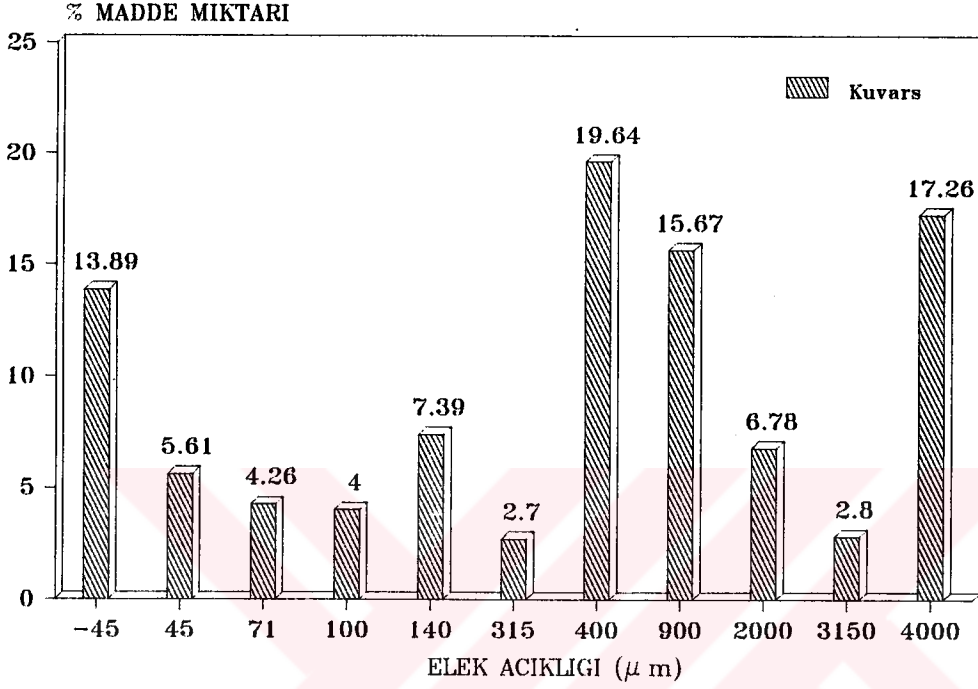
Tablo 7.3. Kil ve Kuvars 'a Uygulanan Islak Elek Analiz Sonuçları

Elek Açıklığı (μm)	Kil (%)
+200	3.68
-200+140	0.51
-140+100	0.8
-100+71	1.10
-71 +45	2.41
-45	91.46

Elek Açıklığı (μm)	Kuvars (%)
+4000	17.26
-4000+3150	2.8
-3150+2000	6.78
-2000+900	15.67
-900 +400	19.64
-400 +315	2.7
-315 +140	7.39
-140 +100	4
-100 +71	4.26
-71 +45	5.61
-45	13.89



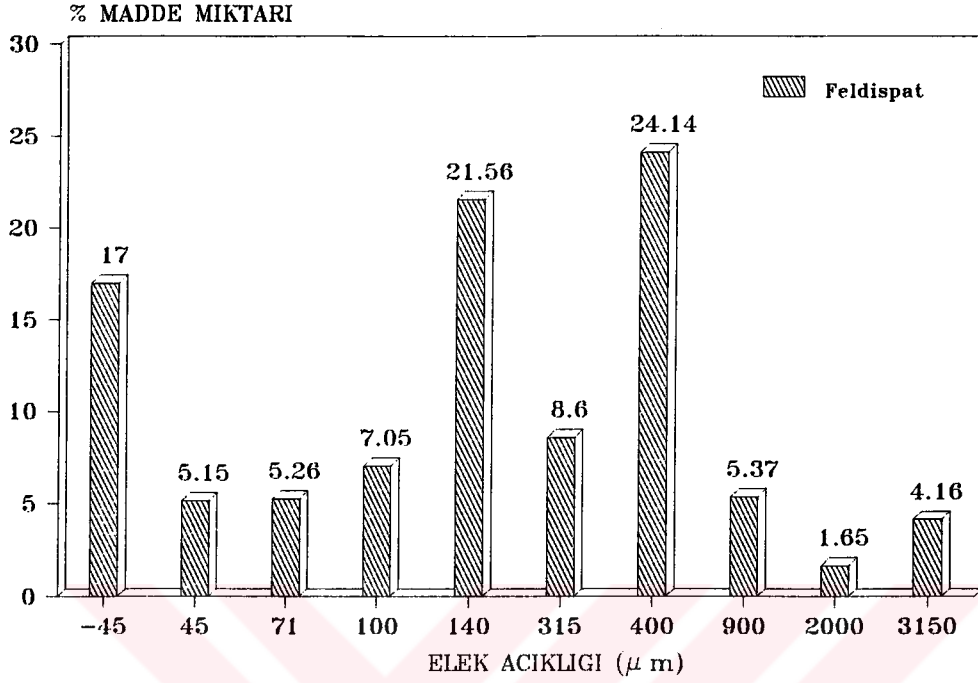
Şekil 7.12. Kil 'in Islak Elek Analiz Histogramı



Şekil 7.13. Kuvars 'ın Islak Elek Analiz Histogramı

Tablo 7.4. Feldispat 'a Uygulanan Islak Elek Analiz Sonuçları

Elek Açıklığı (μm)	Feldispat (%)
+3150	4.16
-3150+2000	1.65
-2000+900	5.37
-900 +400	24.15
-400 +315	8.6
-315 +140	21.56
-140 +100	7.05
-100 +71	5.26
-71 +45	5.15
-45	17



Şekil 7.14. Feldispat 'ın Islak Elek Analiz Histogramı

Bu sonuçlara göre, Tunçbilek uçucu külünün %40.88 'i, Seyitömer uçucu külünün ise %81.15 'i 45 μm 'dan büyüktür (Şekil 7.11a ve Şekil 7.11b). Gerek Seyitömer gerekse Tunçbilek uçucu külünün değişik elek açıklıklarında kalan % madde miktarlarına bakıldığında, Seyitömer uçucu külünün tane boyutunun daha geniş bir aralıkta seyrettiği görülmektedir.

Killere uygulanan analiz sonucunda killerin %8.5 'inin 45 μm 'dan büyük olması killerin tamamen ince tanelerden meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 7.12).

Kuvars tanelerinin %86.11 'i feldispat tanelerinde %82.95 'i 45 μm 'nın üzerindedir (Şekil 7.13 ve Şekil 7.14). Bu da gerek feldispat gerekse kuvars tanelerinin oldukça büyük tanelerden meydana geldiğini göstermektedir.

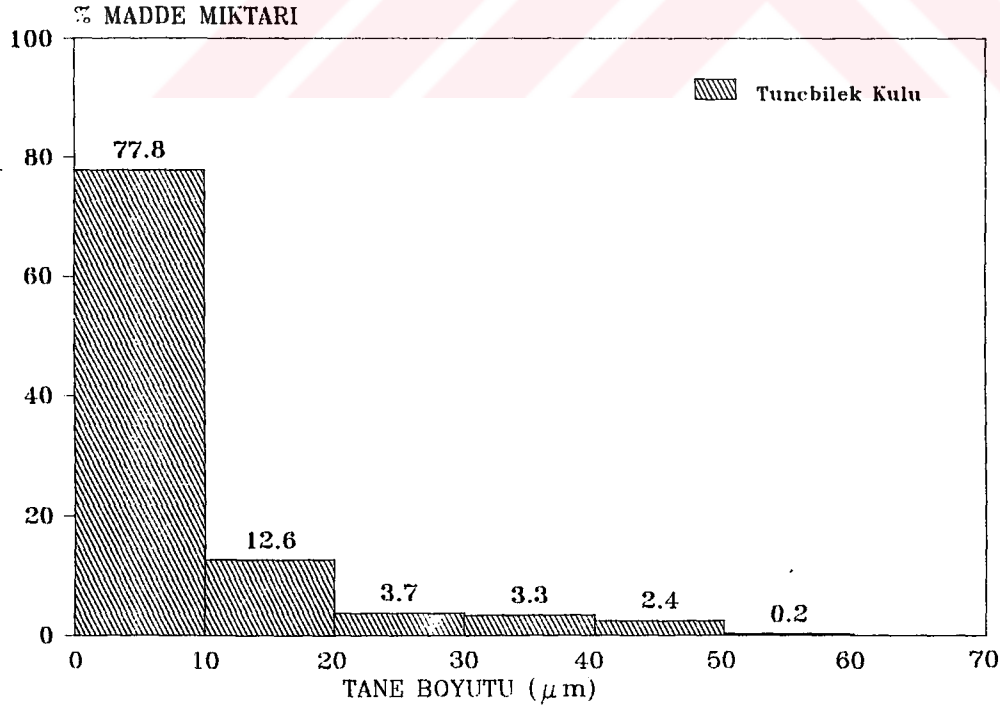
Bu sonuçlar ışığında, hem kil hemde Tunçbilek uçucu külünün gayet ince olan tane yapısı onların daha az öğütmeye ihtiyacı olacağını göstermiştir.

Analizin ikinci aşamasında, tane boyutu küçük olan malzemeler (45μm 'nın altına geçen), %0.2 kalgon çözeltisi kullanılarak pervaneli açıcıda açılmış ve cihazda

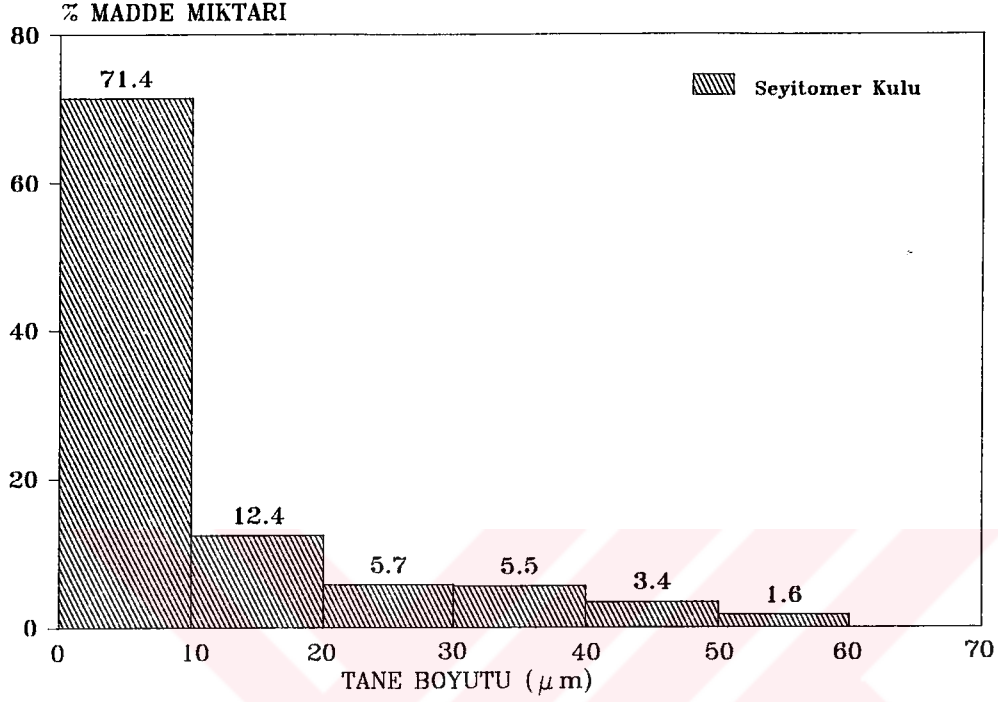
tane boyutu analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Tablo 7.5, Tablo 7.6, Tablo 7.7 'de ve bu sonuçların histogramları Şekil 7.15, Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 'de verilmiştir. Burada x eksenini μm olarak tane boyutunu, y eksenini ise bu boyuttaki tanelerin % madde miktarını ifade etmektedir.

Tablo 7.5. Uçucu Küllerin Tane Boyut Dağılım Sonuçları

Boyut (μm)	Seyitömer U.K. (%)	Tunçbilek U.K. (%)
0 -10	71.4	77.8
10-20	12.4	12.6
20-30	5.7	3.7
30-40	5.5	3.3
40-50	3.4	2.4
50-60	1.6	0.20
60-70	0.0	0.0



Şekil 7.15. Tunçbilek Uçucu Külünün Tane Boyut Dağılım Histogramı

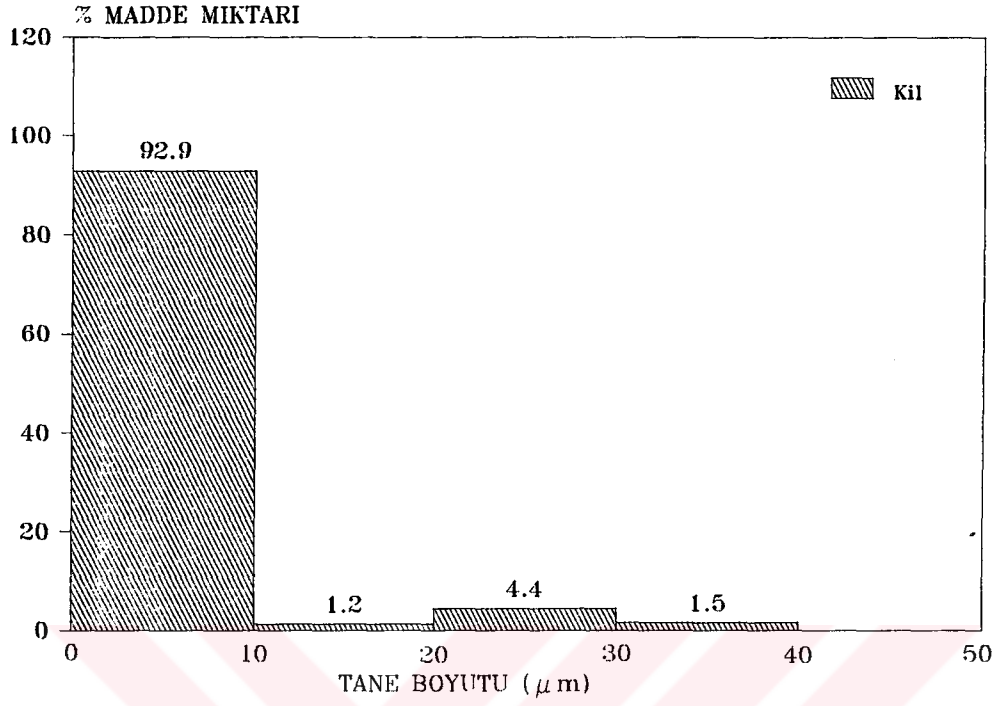


Şekil 7.16. Seyitömer Uçucu Külünün Tane Boyut Dağılım Histogramı

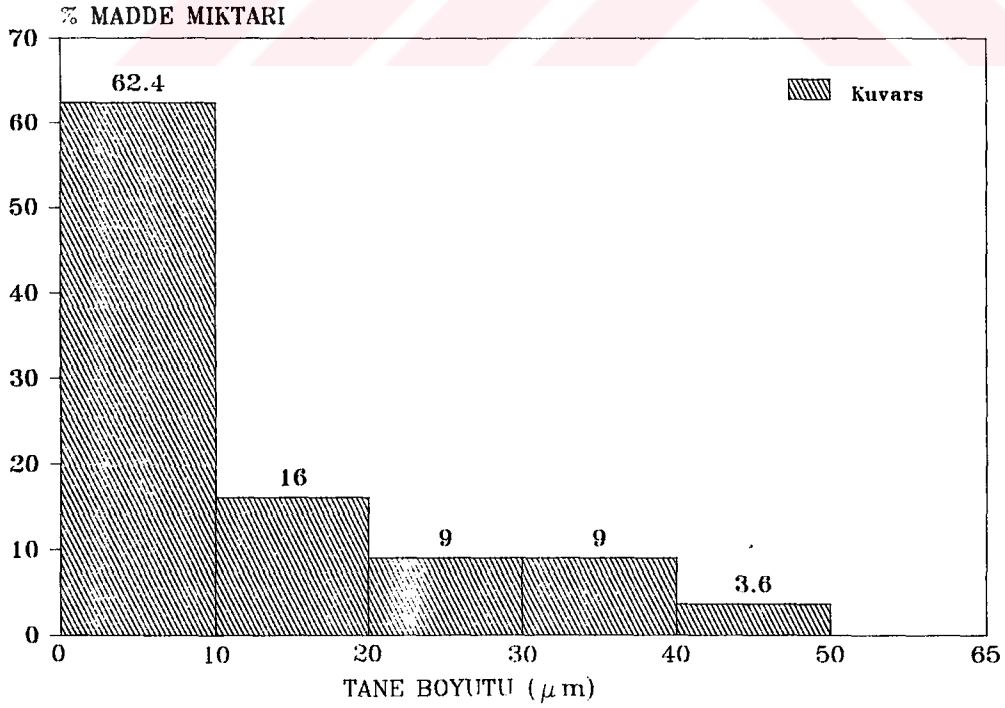
Tablo 7.6. Kil ve Kuvars 'ın Tane Boyut Dağılım Sonuçları

Boyut (μm)	Kil (%)
0 -10	92.9
10-20	1.2
20-30	4.4
30-40	1.5
40-50	0.0

Boyut (μm)	Kuvars (%)
0 -10	62.4
10-20	16.0
20-30	9.0
30-40	9.0
40-50	3.6
50-65	0.0



a)

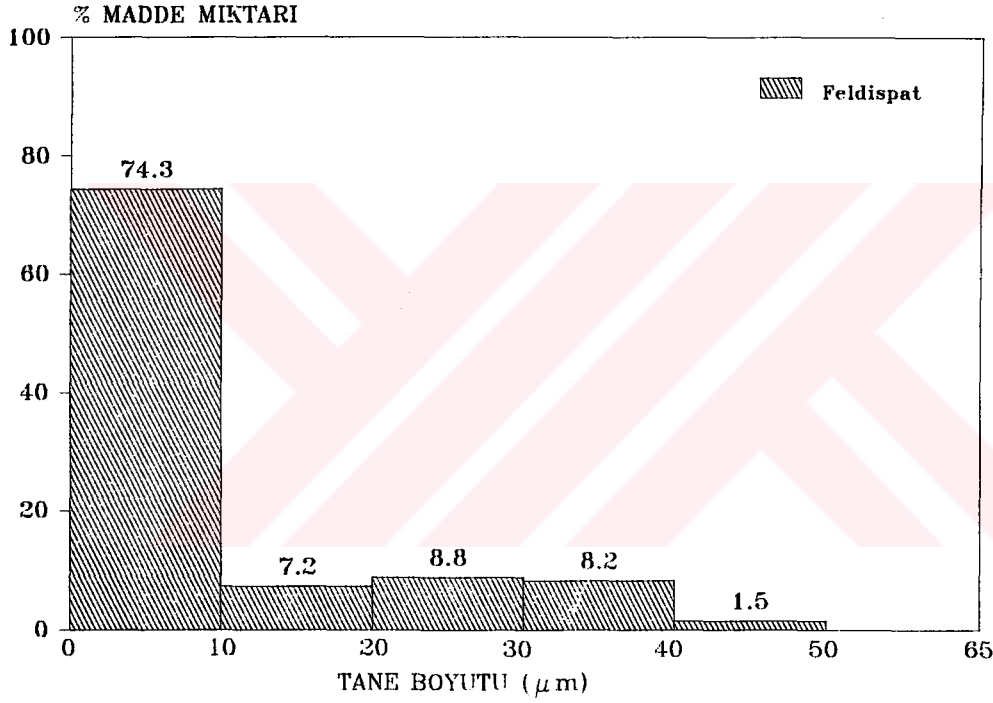


b)

Şekil 7.17. (a) Kil ve (b) Kuvars 'ın Tane Boyut Dağılım Histogramları

Tablo 7.8. Feldispat 'ın Tane Boyut Dağılım Sonuçları

Boyut (μm)	Feldispat (%)
0 -10	74.3
10-20	7.2
20-30	8.8
30-40	8.2
40-50	1.5
50-65	0.0



Şekil 7.18. Feldispat 'ın Tane Boyut Dağılım Histogramı

Analiz sonuçlarında, Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin tane boyutlarının 2-70 μm arasında olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 7.15 ve Şekil 7.16). Kil, kuvars ve feldispatın tane boyut dağılımlarının sırasıyla 0.5-50 μm , 0.6-65 μm , 0.5-65 μm arasında olduğu görülmüştür (Şekil 7.17a, Şekil 7.17b ve Şekil 7.18).

b) Özgül Ağırlık

Uçucu küllerin ve diğer hammaddelerin piknometre cihazı ile yapılan özgül ağırlık analizleri sonucunda, Tunçbilek ve Seyitömer uçucu külleri ile kil, kuvars ve feldispatın özgül ağırlıkları sırasıyla, 2.41, 2.33, 2.64, 2.63 ve 2.66 $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$ olarak

bulunmuştur. Seyitömer uçucu külünün yoğunluğu, 2.33 kg/m^3 değeriyle Tunçbilek uçucu külüne göre (2.41 kg/m^3) daha düşüktür. Ancak her iki uçucu külün özgül ağırlıkları, küllerin ortalama özgül ağırlık değeri olan $2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ den daha yüksektir. Bunun sebebi uçucu küllerin 11-12 gibi yüksek Fe_2O_3 içermesinden kaynaklanmaktadır.

7.2. Kurutma, Sırlama ve Sinterleme

Gerek Tunçbilek gerekse Seyitömer uçucu küllerinin %25 oranında kullanıldığı dikdörtgen numunelere sırlama işlemi uygulanmış ve sırlanan numuneler 1180°C sıcaklıkta sinterlenmişlerdir. Her iki uçucu külün kullanıldığı gruplarda da masse ile sırlın etkileşiminin iyi olduğu ancak sırlı yüzeylerde iğne deliklerinin oluştuğu gözlenmiştir. Sırlanmış ve sinterlenmiş numuneler ortalarından kırıldığında göbeklenme (black core) probleminin varlığı ile karşılaşmıştır.

Göbeklenme problemi, karo bünyesinde bulunan organik maddelerin yeterince oksitlenip yanmaması sonucunda oluşur. Uçucu küllerin düşük tane iriliği pişme sırasında bünyenin daha camsı özellik kazanmasına sebep olurken daha düşük gözenekli yapıda bünye oluşturur (11). Düşük gözenekli yapı ise, gaz giriş ve çıkışını dolayısıyla bünyenin iç kısmına oksijenin ulaşmasını engelleyici rol oynamıştır. Böylece bünyedeki organik maddelerin oksitlenmesi- yanması engellendiğinden göbeklenme oluşmuştur.

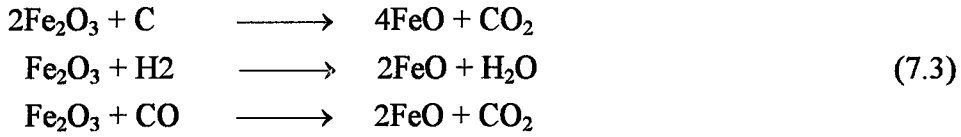
Sinterleme sırasında iç kısımda yeterince oksitlenip yanamayan organik bileşiklerden oluşan koklaşmış bölge, yetersiz oksijenle aşağıdaki reaksiyonu verir.



Aynı zamanda bünyede bulunan henüz ayrışmamış su ve $500-600^\circ\text{C}$ 'de açığa çıkan kimyasal su ilede şu reaksiyonu oluşturur.



Bu reaksiyonlardan açığa çıkan CO, H_2 ve koklaşmış göbek, bünyedeki Fe_2O_3 'ü indirgeyerek şu reaksiyonları oluşturur.



Bu reaksiyonlar 1000°C 'nin üzerinde oluşur. FeO silikatlarla birleşerek eritici bir rol oynar ve seramik malzemenin ortasında siyah göbek oluşturur. Eğer pişme işlemi 1000°C civarında ise, Fe₃O₄ oluşur ki bu kahverengi gibi daha açık bir renktedir. O halde olay büyük ölçüde, göbeklenmenin olduğu kısımda bünyenin yeterince ısı ve oksijen alışverişinin engellenmesiyle oluşmuştur. Bu olayın sırlı mamüllerde 900°C 'ye kadar tamamlanması gerekir (11). 900°C 'nin üzerinde hem bünyenin gözenekleri kapanmaya başlayacağından, hemde sırnın erimesi başlayacağından gaz giriş çıkışı zorlaşmış, çıkan gazlarda sırlı yüzeyde iğne deliklerine sebep olmuştur.

Bünyedeki organiklerin yanmasının tamamlanması belli bir zaman istemektedir. Eğer numunelerde bu işlemin tamamlanmasına izin vermeyecek şekilde hızlı bir pişirme süresi geçirildiyse göbeklenme bu sebeple de oluşmuş olabilir.

7.3.Deney Numunelerine Uygulanan Test Sonuçları

7.3.1.Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme

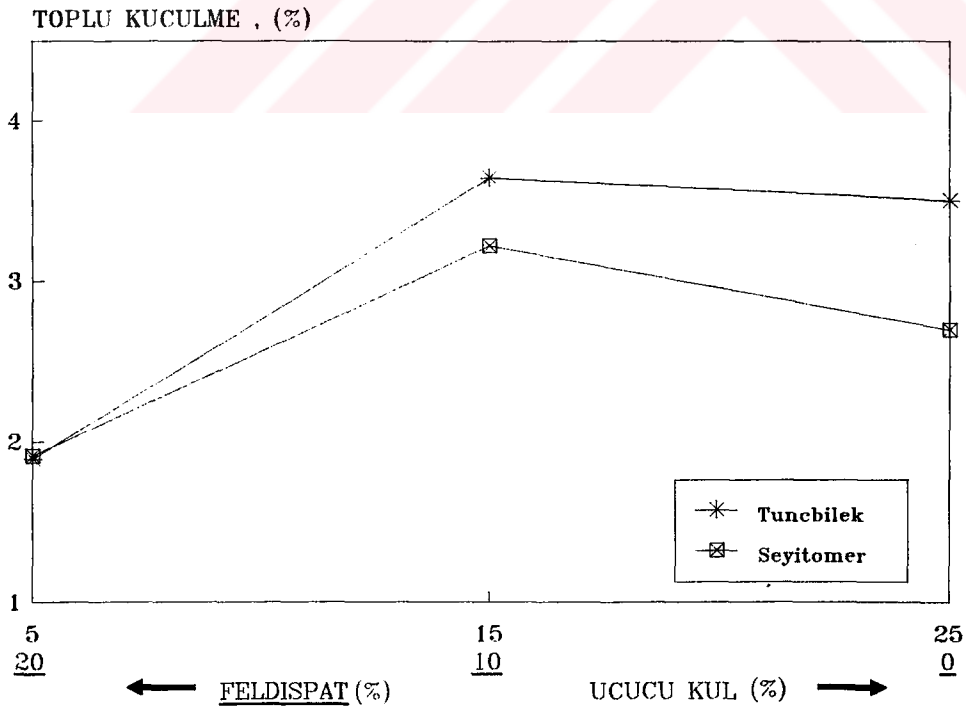
Numunelerin kuruma, pişme, toplu küçülme değerleri çubuk numunelerin presleme, kurutma ve pişirme sonrası elde edilen boyut ve ağırlıklarının ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Numunelerin kuruma küçülmesi miktarı oldukça düşüktür. Her bir gruptaki karışım bileşenlerinin azaltılıp çoğaltılması kuruma küçülmesinde pek bir değişiklik meydana getirmemiştir. Numuneler şekillendirilmeden önce karışıma ilave edilen su, küllerin plastiklik özelliği olmadığı için yalnızca kil taneleri tarafından absorbe edilmektedir. 1,2 ve 3 nolu gruplarda, kil yüzdesinin sabit olması, diğer bileşenlerin değiştirilmesine rağmen kuruma küçülmesinde kayda değer bir değişime neden olmadığından, numunelerin toplu küçülme miktarları incelenmiştir.

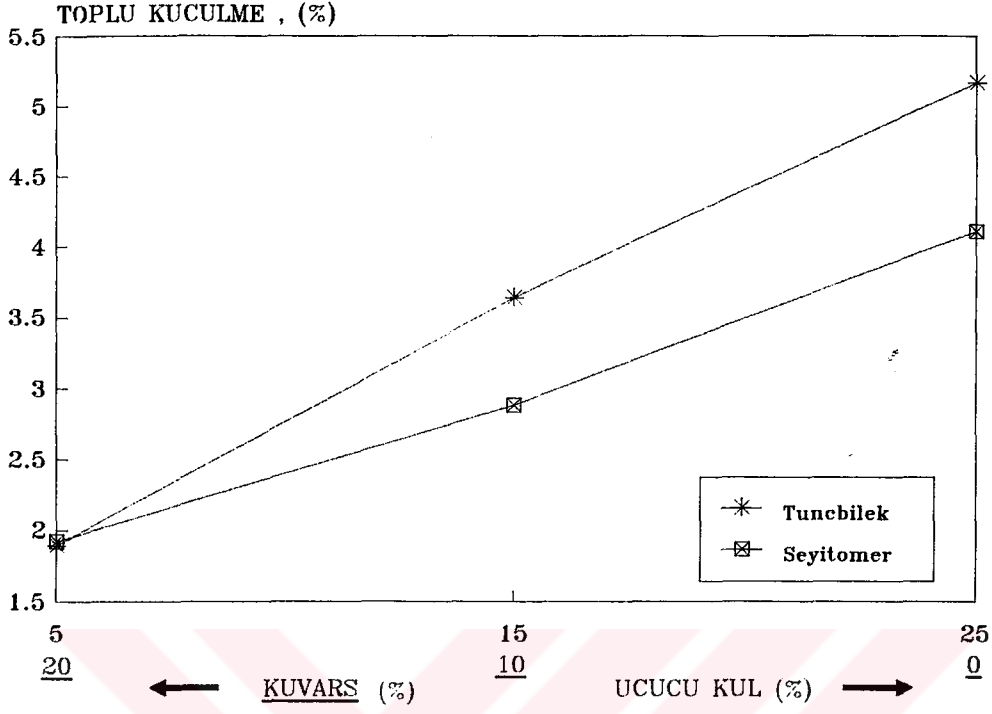
Değişik oranlarda karışımlardan hazırlanmış (B.k.z.Tablo 6.1) numunelere ait ortalama toplu küçülme değerleri kullanılan uçucu küle göre Tablo 7.9 'de görülmektedir. Bu değerlere ait grafikler Şekil 7.19, Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22 'de verilmiştir.

Tablo 7.9. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Külü ilaveli numunelerin Toplu Küçülme miktarları.

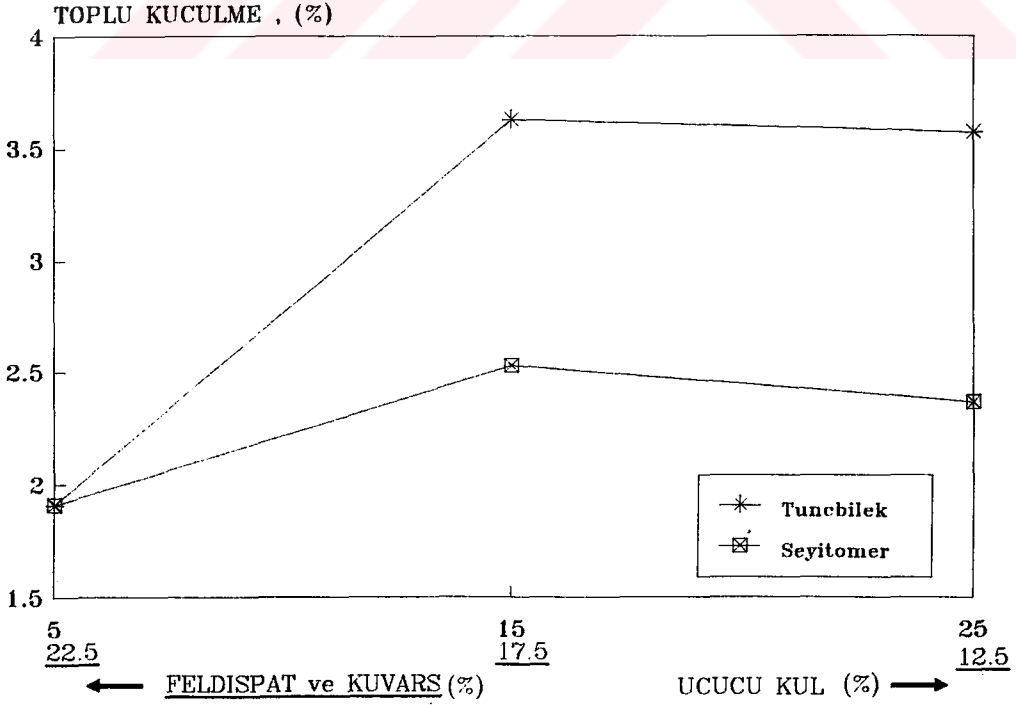
Grup No	Bileşim (%)	Toplu Küçülme Miktarı (%)	
		Tunçbilek U.K. Katkılı	Seyitömer U.K. Katkılı
1	%50 kil, %25 kuvars, %5 kül, %20 feldispat	1.89	1.92
	%50 kil, %25 kuvars, %15 kül, %10 feldispat	3.64	3.22
	%50 kil, %25 kuvars, %25 kül, %0 feldispat	3.50	2.70
2	%50 kil, %25 feldispat, %5 kül, %20 kuvars	1.89	1.92
	%50 kil, %25 feldispat, %15 kül, %10 kuvars	3.64	2.88
	%50 kil, %25 feldispat, %25 kül, %0 kuvars	5.17	4.11
3	%50 kil, %22.5 kuvars, %22.5 feldispat, %5 kül	1.91	1.91
	%50 kil, %17.5 kuvars, %17.5 feldispat, %15 kül	3.63	2.53
	%50 kil, %12.5 kuvars, %12.5 feldispat, %25 kül	3.57	2.37
4	%25 feldispat, %25 kuvars, %5 kül, %45 kil	1.91	1.90
	%25 feldispat, %25 kuvars, %15 kül, %35 kil	1.81	1.77
	%25 feldispat, %25 kuvars, %25 kül, %25 kil	1.71	1.66



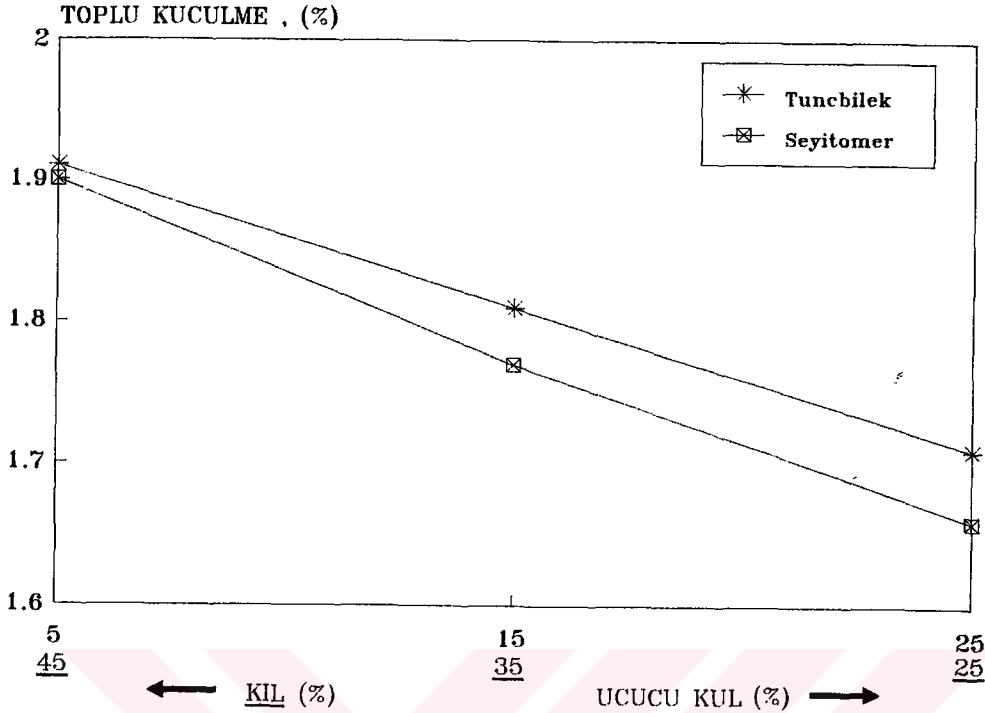
Şekil 7.19. 1 nolu grup numunelerinde toplu küçülme miktarının uçucu kül ve feldispat ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.20. 2 nolu grup numunelerinde toplu küçülme miktarının uçucu kül ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.21. 3 nolu grup numunelerinde toplu küçülme miktarının uçucu kül ile feldispat ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.22. 4 nolu grup numunelerinde toplu küçülme miktarının uçucu kül ve kil ilavesi ile değişimi.

1 nolu grupta feldispat yüzdesi azalırken (%20-10-0 oranlarında), kül yüzdesi artırılmıştır (%5-15-25). Bu durum toplu küçülmeyi önce arttırmış, daha sonra çok az düşürmüştür (Şekil 7.19). %5 kül ve %20 feldispat içeren numunelerde toplu küçülme Tuncbilek uçucu külü içeren numuneler için %1.89 ve Seyitömer uçucu külü içeren numuneler için %1.92 iken, kül miktarının %15 ve feldispatın %10 olduğu bileşimde sırasıyla %3.64 ve %3.22 değerlerine ulaşmıştır. Külün %25 ve feldispatın %0 olduğu bileşimde %3.50 ve %2.70 değerleriyle toplu küçülmede azda olsa düşüş görülmüştür. Feldispat yüzdesi sıfır olduğunda, toplu küçülme sadece bünyedeki kül tarafından sağlanacağından küçülmede düşüş gözlenmiştir.

Bileşimde bulunan külün bünyesindeki karbonun, sıcaklığın etkisiyle CO ve CO₂ olarak uzaklaşması, CaSO₄ 'ün parçalanması ve diğer alkaliler küçülmeye tesir ederler. Ancak, uçucu küller çok miktarda amorf faz içermektedirler. Az miktarda bulunan kristal faz içerisindeki CaSO₄ 'ün uçucu kül karışımına su ilave edilmesiyle gibsuma dönüşmesi, pişirme sırasında gipsünün suyunu kaybederek tekrar CaSO₄ 'ün oluşması ve parçalanması işlemleri, pişme küçülmesini dolayısıyla toplu küçülmeyi çok az etkilemektedir (24).

Gerek Seyitömer gerekse Tunçbilek uçucu külü ilaveli numunelerin 2 nolu gruplarında kuvars yüzdesi azalırken (%20-10-0 oranlarında), kül yüzdesinin artması (%5-15-25 oranlarında) toplu küçülmede artışa sebep olmuştur (Şekil 7.20). Kuvars seramik bünyede kuruma küçülmesini azaltır ve pişirme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir. Bu nedenle kuvarsın azalması toplu küçülmeyi artırıcı etki yapmıştır.

3 nolu grupta gerek kuvars gerekse feldispat yüzdeleri azalırken (%22.5-17.5-12.5 oranında), kül yüzdesi arttırıldığında (%5-15-25 oranında) toplu küçülmenin Tunçbilek uçucu külü içeren numunelerde %3.63, Seyitömer uçucu külü içeren numunelerde ise %2.53 'e kadar arttığı bu bileşimden sonra %3.57 ve %2.37 değerlerine düştüğü görülmüştür (Şekil 7.21).

4 nolu grupta ise hem feldispat hemde kuvars yüzdesi %25 olarak sabit tutulmuş, kil yüzdesi azaltılırken (%45-35-25 oranında), kül yüzdesi arttırılmıştır (%5-10-15). Bu bileşim her iki uçucu külüde ayrı ayrı içeren numunelerin toplu küçülmelerinde düşüşle sonuçlanan bir değişikliğe sebep olmuştur (Şekil 7.22).

Toplu küçülme, sinterleşme sonucunda kil, feldispat ve kül içindeki alkalilerin cam faz oluşturmaları, külün bünyesindeki karbonun yanması, CaSO_4 'ün parçalanması ve kilin düşük sıcaklıklarda kristal suyunu kaybetmesine bağlıdır.

Ayrı ayrı bileşim oranları kullanılmasına rağmen her bir grubun toplu küçülme değerlerinin Tunçbilek uçucu külü ilaveli numunelerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun Tunçbilek uçucu külünün Seyitömer uçucu külünden daha yüksek oranlarda karbon içermesinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Karbon miktarının fazla olması sıcaklığın etkisiyle gaz çıkışının artmasına ve dolayısıyla toplu küçülmeyi artırıcı etki yapacaktır.

7.3.2. Su Emme

Seyitömer uçucu külü ve Tunçbilek uçucu külü ilaveli numunelerin 5 saat suda kaynatma yöntemiyle belirlenen su emme miktarları Tablo 7.10 'da ve bu değerlere ait grafikler de Şekil 7.23, Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve Şekil 7.26 'da verilmiştir.

Uçucu kül miktarının kademeli olarak arttırıldığı 1 nolu grup numunelerinin su emme miktarları, azalan feldispat miktarı ile artmıştır (Şekil 7.23). Sıcaklığın etkisiyle

oluşan camsı faz feldispat miktarının düşüşüyle azalacağından gözenekler tam olarak doldurulamamıştır. Ayrıca kül miktarına bağlı olarak sinterleşme ile bünyeden gaz çıkışının artması bunu desteklemiş ve su emme miktarının artmasına sebep olmuştur.

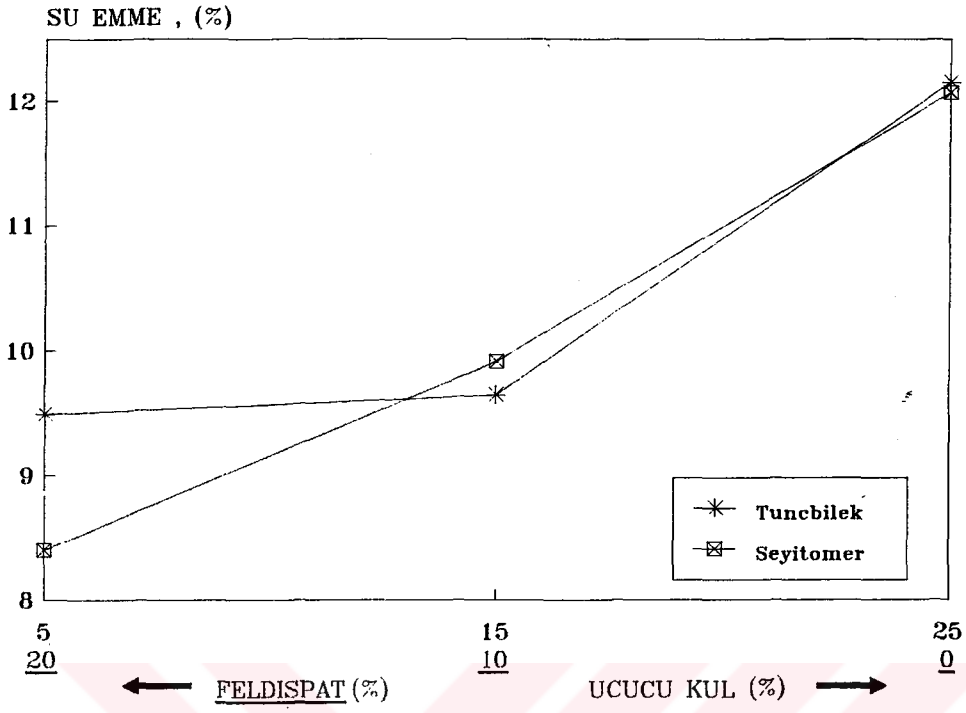
2 nolu grupta kuvarsın azalışı su emmede artışa sebep olmuştur. Kuvarsın sıfır olduğu noktada uçucu kül %25 iken, su emme miktarı maksimum seviyededir (Şekil 7.24).

3 nolu grup numunelerinin su emme miktarları gerek feldispat gerekse kuvars miktarının azaltılıp, kül miktarının artırılması ile artış göstermiştir (Şekil 7.25). Yine feldispat miktarının azalmasıyla cam faz oluşumunun azalıp, kül miktarıyla gaz çıkışının artışı buna sebep olmuş diyebiliriz.

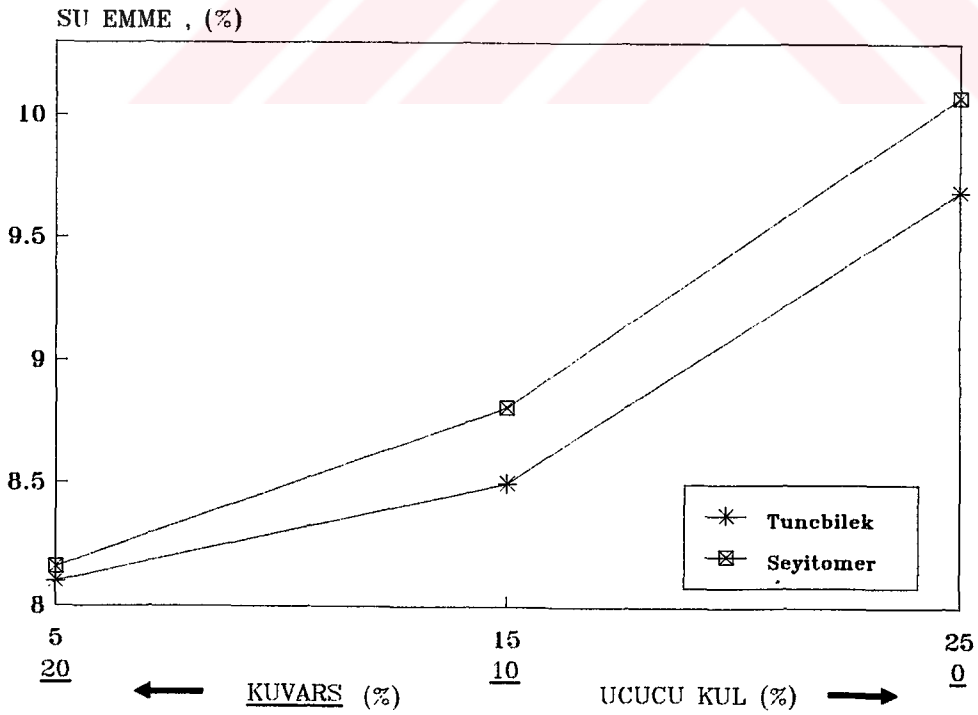
Şekil 7.26 'da görüldüğü gibi, 4 nolu grup numunelerindeki kil miktarının azaltılması su emmeyi arttırmıştır. Feldispat yüzdesinin sabit oluşu nedeniyle gözeneklerin ve dolayısıyla su emme miktarındaki asıl artışın kil bünyesindeki alkalilerin sinterleşmesiyle oluşturacağı cam fazın azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Tablo 7.10. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Külü ilaveli numunelerin Su Emme miktarları.

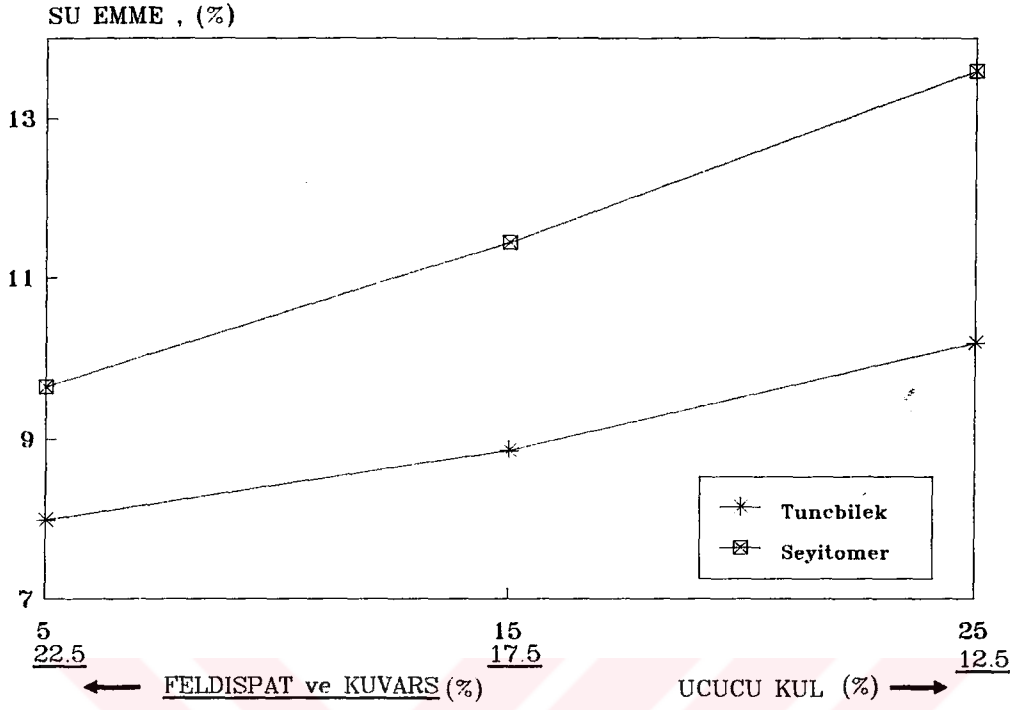
Grup No	Bileşim (%)	Su Emme Miktarı (%)	
		Tunçbilek U.K. Katkılı	Seyitömer U.K. Katkılı
1	%50 kil, %25 kuvars, %5 kül, %20 feldispat	9.49	8.40
	%50 kil, %25 kuvars, %15 kül, %10 feldispat	9.64	9.91
	%50 kil, %25 kuvars, %25 kül, %0 feldispat	12.15	12.07
2	%50 kil, %25 feldispat, %5 kül, %20 kuvars	8.10	8.16
	%50 kil, %25 feldispat, %15 kül, %10 kuvars	8.50	8.81
	%50 kil, %25 feldispat, %25 kül, %0 kuvars	9.69	10.08
3	%50 kil, %22.5 kuvars, %22.5 feldispat, %5 kül	7.98	9.65
	%50 kil, %17.5 kuvars, %17.5 feldispat, %15 kül	8.85	11.45
	%50 kil, %12.5 kuvars, %12.5 feldispat, %25 kül	10.19	13.59
4	%25 feldispat, %25 kuvars, %5 kül, %45 kil	8.20	8.01
	%25 feldispat, %25 kuvars, %15 kül, %35 kil	10.09	10.86
	%25 feldispat, %25 kuvars, %25 kül, %25 kil	12.70	10.90



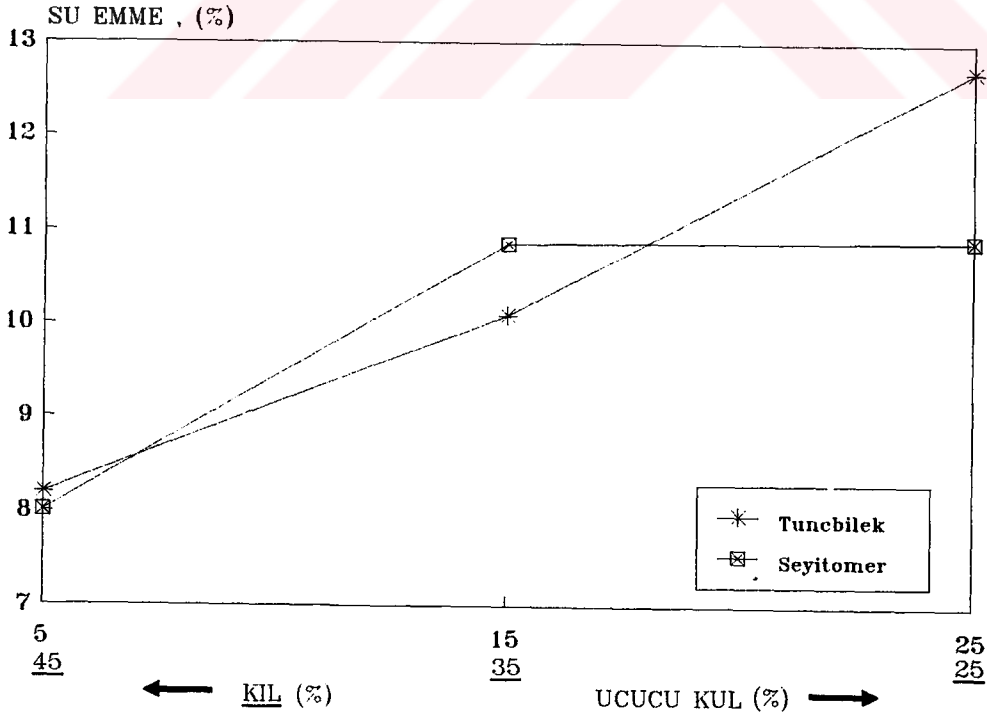
Şekil 7.23. 1 nolu grup numunelerinde su emme miktarının uçucu kül ve feldispat ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.24. 2 nolu grup numunelerinde su emme miktarının uçucu kül ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.25. 3 nolu grup numunelerinde su emme miktarının uçucu kül ile feldispac ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.26. 4 nolu grup numunelerinde su emme miktarının uçucu kül ve kil ilavesi ile değişimi.

7.3.3. Yığın Yoğunluk

Tunçbilek ve Seyitömer uçucu külü ilaveli numunelerin yığın yoğunluk miktarları Tablo 7.11 'de ve bu değerlere ait grafikler Şekil 7.27, Şekil 7.28, Şekil 7.29 ve Şekil 7.30 'da verilmiştir.

1 nolu grupta, feldispat miktarındaki azalma ve kül miktarındaki artış sonucu gözenek miktarında artış meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak yoğunlukta da azalma olmuştur (Şekil 7.27).

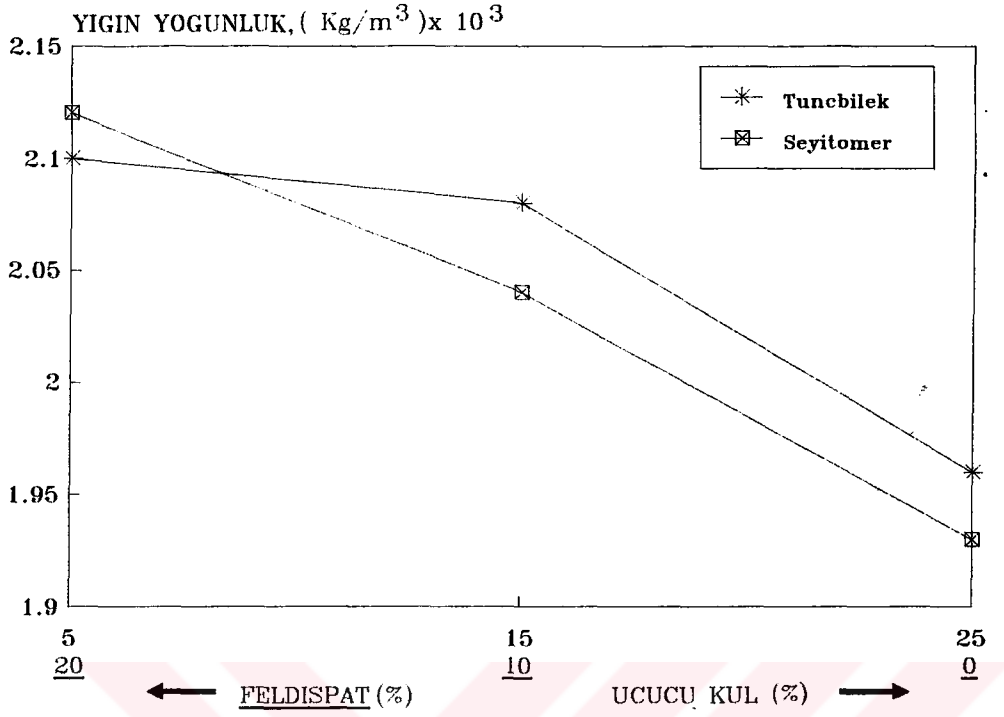
2 nolu grupta kuvars miktarının azalıp, kül miktarının artmasıyla gözenek miktarında artış görülmüştür. Uçucu kül ve kuvarsın varlığı gaz çıkışıyla gözenek miktarında artışa neden olmuştur. Buna bağlı olarakta yoğunlukta düşüş görülmüştür (Şekil 7.28).

3 nolu grupta, gerek kuvars gerekse feldispat miktarının sistematik olarak azalışı ve kül miktarının artışıyla, gözenek miktarının artışı yoğunluğun azalmasına sebebiyet vermektedir (Şekil 7.29).

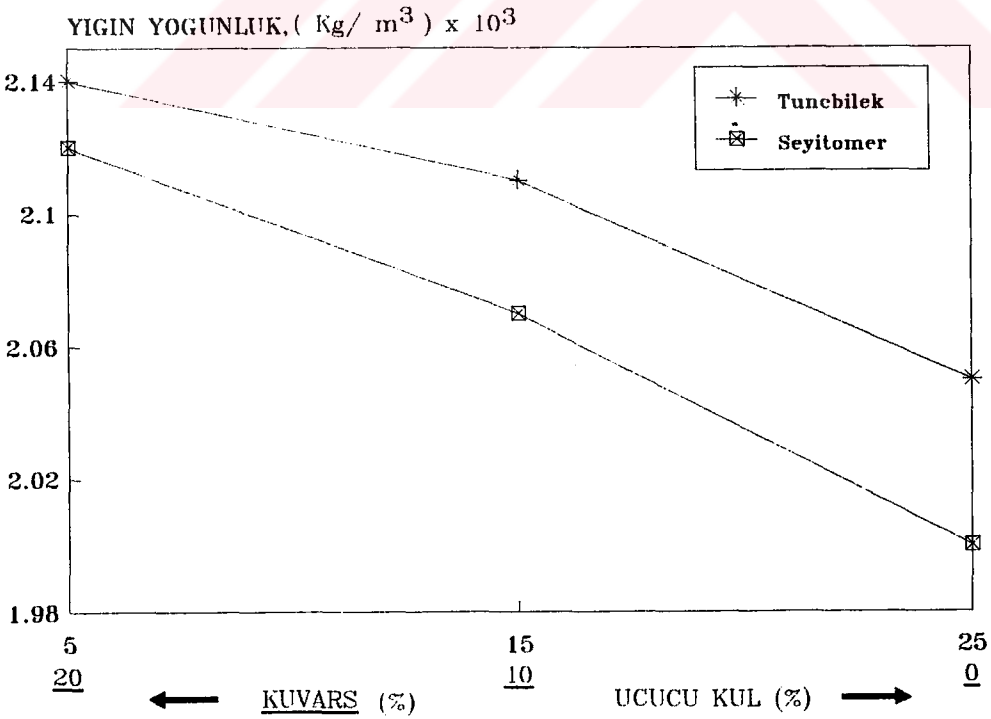
4 nolu grupta ise, kil miktarı azaldığında sinterleşme ile oluşacak cam fazda azalma sonucu dolayısıyla yoğunlukta da düşüş görülmüştür (Şekil 7.30).

Tablo 7.11. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Külü ilaveli numunelerin Yığın Yoğunluk miktarları.

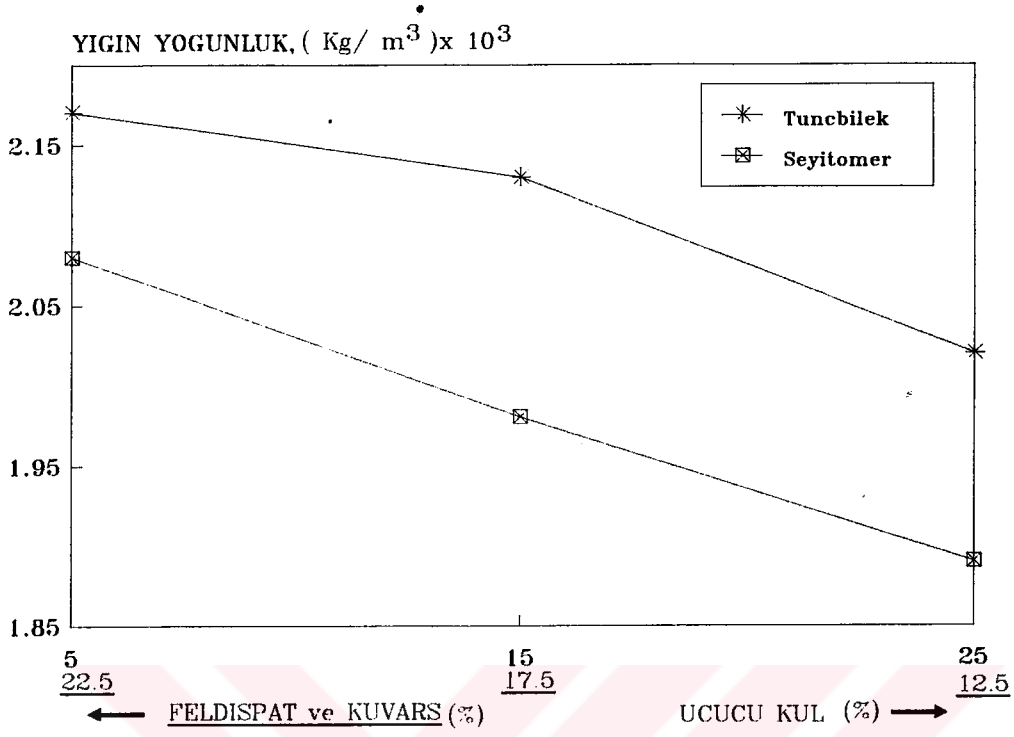
Grup No	Bileşim (%)	Yığın Yoğunluk Miktarı ($\times 10^3 \text{ Kg/m}^3$)	
		Tunçbilek U.K. Katkılı	Seyitömer U.K. Katkılı
1	%50 kil, %25 kuvars, %5 kül, %20 feldispat	2.10	2.12
	%50 kil, %25 kuvars, %15 kül, %10 feldispat	2.08	2.04
	%50 kil, %25 kuvars, %25 kül, %0 feldispat	1.96	1.93
2	%50 kil, %25 feldispat, %5 kül, %20 kuvars	2.14	2.12
	%50 kil, %25 feldispat, %15 kül, %10 kuvars	2.11	2.07
	%50 kil, %25 feldispat, %25 kül, %0 kuvars	2.05	2.00
3	%50 kil, %22.5 kuvars, %22.5 feldispat, %5 kül	2.17	2.08
	%50 kil, %17.5 kuvars, %17.5 feldispat, %15 kül	2.13	1.98
	%50 kil, %12.5 kuvars, %12.5 feldispat, %25 kül	2.02	1.89
4	%25 feldispat, %25 kuvars, %5 kül, %45 kil	2.14	2.11
	%25 feldispat, %25 kuvars, %15 kül, %35 kil	2.04	2.01
	%25 feldispat, %25 kuvars, %25 kül, %25 kil	1.94	1.89



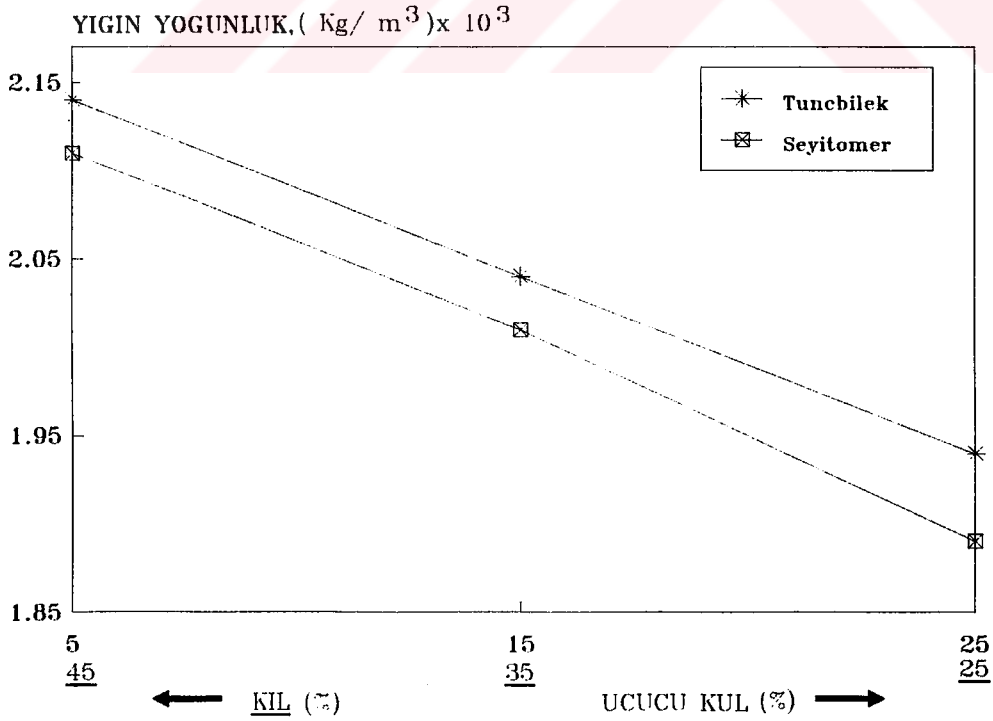
Şekil 7.27. 1 nolu grup numunelerinde yığın yoğunluk miktarının uçucu kül ve feldispat ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.28. 2 nolu grup numunelerinde yığın yoğunluk miktarının uçucu kül ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.29. 3 nolu grup numunelerinde yığın yoğunluk miktarının uçucu kül ile feldispat ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.30. 4 nolu grup numunelerinde yığın yoğunluk miktarının uçucu kül ve kil ilavesi ile değişimi.

7.3.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti

Deney numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti değerleri Tablo 7.12. 'de ve bu değerlere ait grafikler Şekil 7.31, Şekil 7.32, Şekil 7.33 ve Şekil 7.34 'da verilmiştir.

1 nolu grupta feldispat miktarı azalıp, kül miktarı arttıkça mukavemette artış görülmüştür (Şekil 7.31). %5 kül ve %20 feldispat bileşimi için mukavemet Seyitömer uçucu külü içeren numunelerde 13.62 MPa ve Tunçbilek uçucu külü içeren numunelerde 10.33 MPa iken, %25 kül ve %0 feldispat bileşimi için sırasıyla 16.46 MPa ve 12.31 MPa değerlerine ulaşmıştır. Feldispat yüzdesi azaldığı halde mukavemette artış görülmüştür. Bu durum mukavemet artışına külün neden olduğunu düşündürmüştür.

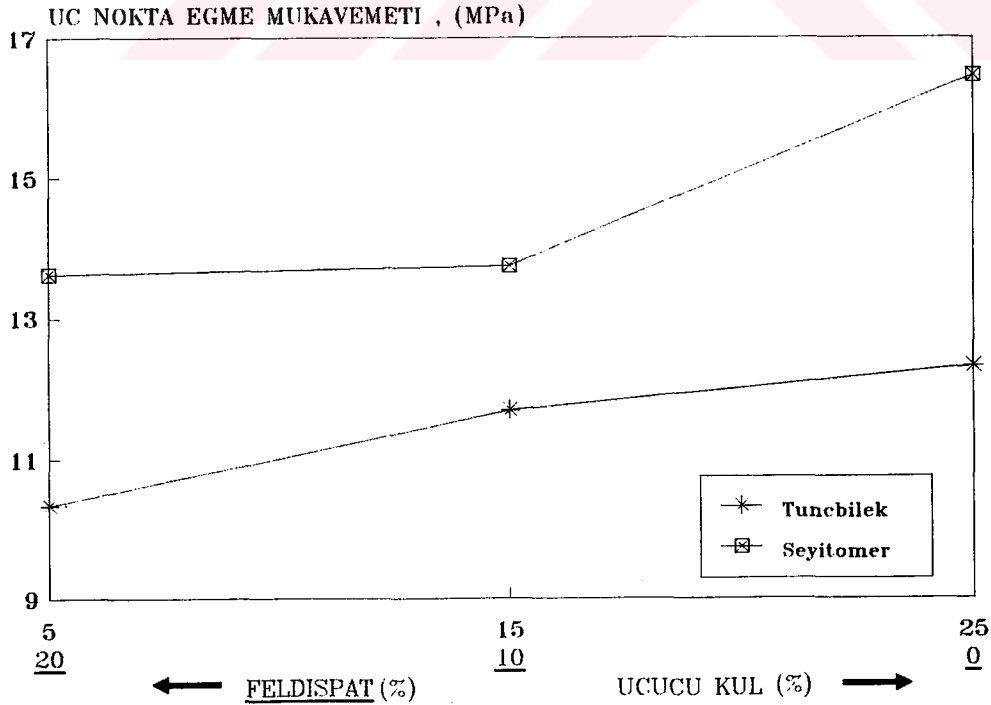
2 nolu grupta kuvars yüzdesi azaltılırken kül yüzdesinin artırılması da mukavemeti artırıcı etki yapmaktadır. (Şekil 7.32).

3 nolu grupta hem feldispat, hem kuvars ilavesinin düşüşüyle yine mukavemet değerinde artış kaydedilmiştir (Şekil 7.33).

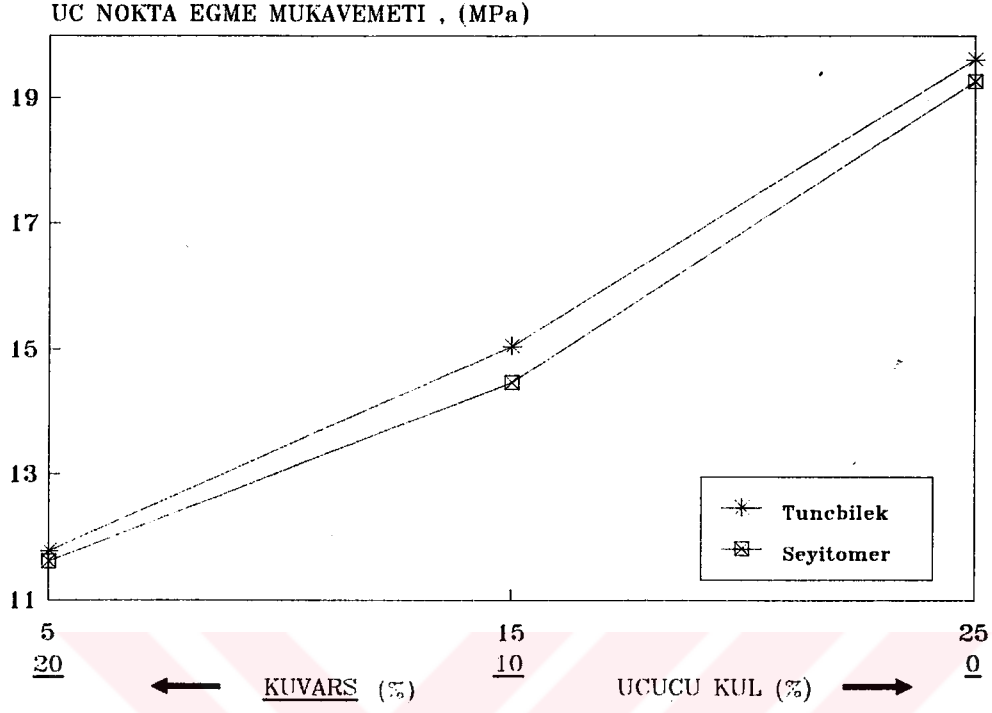
Yapının mukavemeti bünyedeki kil ile desteklenir. Çünkü kil yüksek sıcaklıklarda reaksiyon oluşturarak yeni fazların (özellikle 1100°C 'de mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$)) oluşumu ile mukavemet artışına sebep olmaktadır. Dolayısıyla kil miktarı azalınca 4 nolu grupta mukavemet değerlerinde düşüş görülmüştür (Şekil 7.34)

Tablo 7.12. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Külü ilaveli numunelerin Üç Nokta Eğme Mukavemeti miktarları.

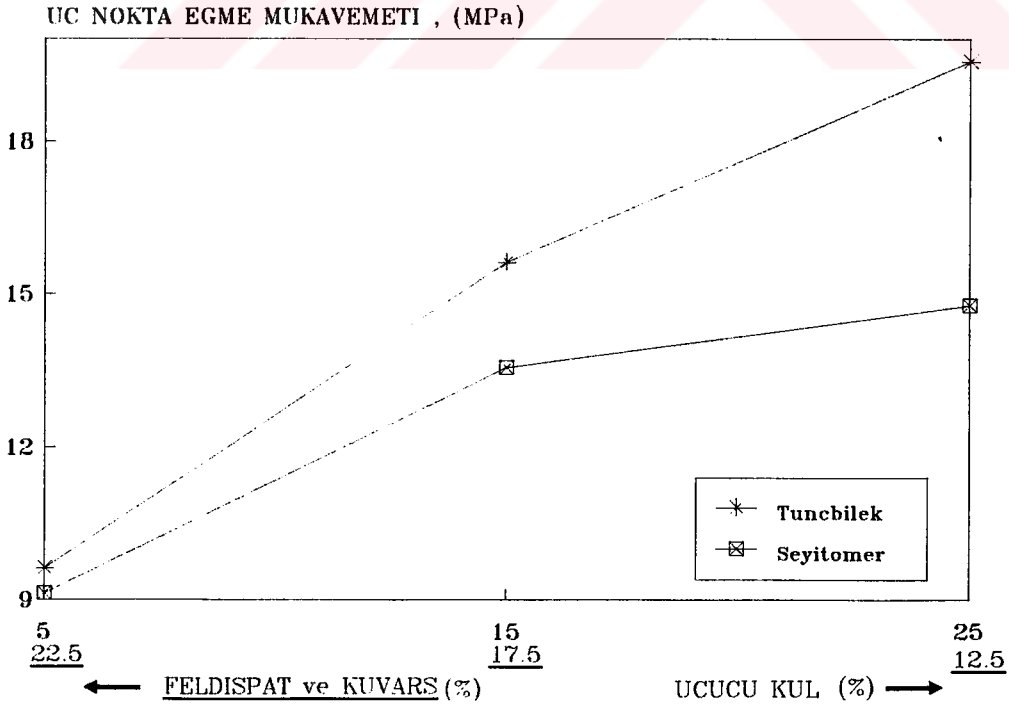
Grup No	Bileşim (%)	Üç Nokta Eğme Mukavemeti Miktarı (MPa)	
		Tunçbilek U.K. Katkılı	Seyitömer U.K. Katkılı
1	%50 kil, %25 kuvars, %5 kül, %20 feldispat	10.33	13.62
	%50 kil, %25 kuvars, %15 kül, %10 feldispat	11.69	13.74
	%50 kil, %25 kuvars, %25 kül, %0 feldispat	12.31	16.46
2	%50 kil, %25 feldispat, %5 kül, %20 kuvars	11.78	11.61
	%50 kil, %25 feldispat, %15 kül, %10 kuvars	15.04	14.46
	%50 kil, %25 feldispat, %25 kül, %0 kuvars	19.61	19.26
3	%50 kil, %22.5 kuvars, %22.5 feldispat, %5 kül	9.62	9.13
	%50 kil, %17.5 kuvars, %17.5 feldispat, %15 kül	15.62	13.54
	%50 kil, %12.5 kuvars, %12.5 feldispat, %25 kül	19.56	14.77
4	%25 feldispat, %25 kuvars, %5 kül, %45 kil	11.57	11.61
	%25 feldispat, %25 kuvars, %15 kül, %35 kil	8.46	9.12
	%25 feldispat, %25 kuvars, %25 kül, %25 kil	6.90	7.44



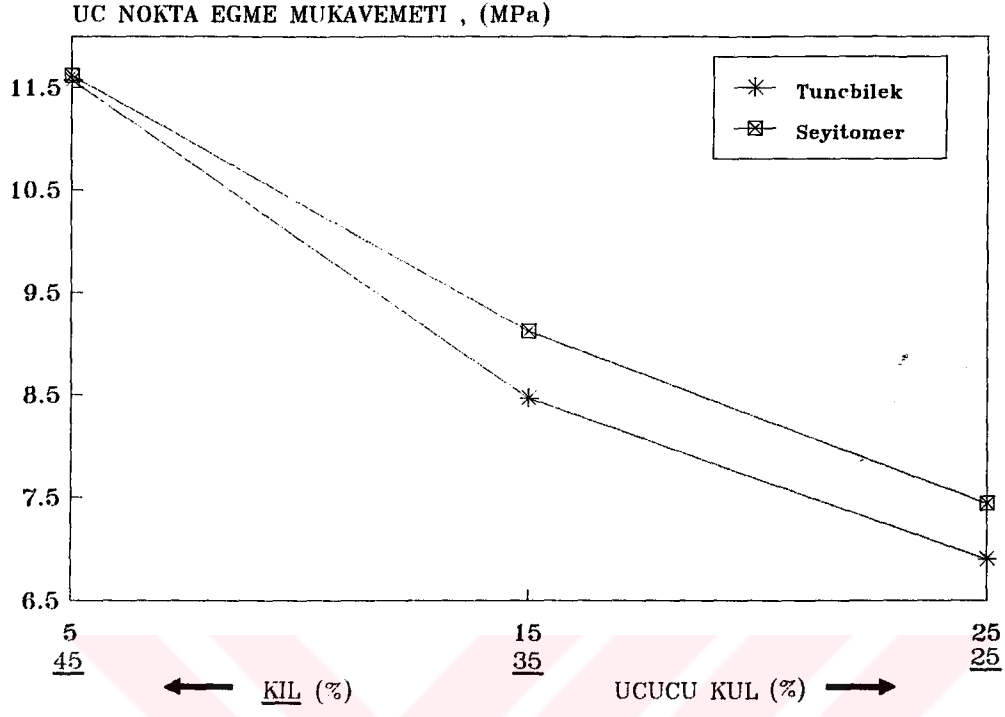
Şekil 7.31. 1 nolu grup numunelerinde üç nokta eğme mukavemeti miktarının uçucu kül ve feldispat ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.32. 2 nolu grup numunelerinde üç nokta eğme mukavemeti miktarının uçucu kül ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.33. 3 nolu grup numunelerinde üç nokta eğme mukavemeti miktarının uçucu kül ile feldispat ve kuvars ilavesi ile değişimi.



Şekil 7.34. 4 nolu grup numunelerinde üç nokta eğme mukavemeti miktarının uçucu kül ve kil ilavesi ile değişimi.

BÖLÜM 8

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

A) Sonuçlar ve İrdeleme

a) Çalışmada kullanılan uçucu küllerin kimyasal analizlerinden yüksek oranlarda alümina, silis ve demir bileşikleri içerdikleri görülmüştür. SiO_2 ve Al_2O_3 yüzdeleri Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleri için sırasıyla %54.87, %16.42 ; %53.96, %17.91 olarak tespit edilmiştir. Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerinde %11.53 ve %11.13 oranlarında demir bileşiklerine rastlanmıştır. %9.87 'lik alkali oranıyla Seyitömer uçucu külü, Tunçbilek uçucu külüne göre daha yüksek değerler göstermektedir. Feldispatın %10.27 değerinde tespit edilen Na_2O oranı feldispatın albit (sodyum feldispat) olduğunu doğrulayıcı sonuçtur.

b) Uçucu küllerin X-Işınları difraksiyonu ile yapılan mineralojik analizlerinde yapıda kristal fazlar ve çoğunluklada amorf fazlara rastlanmıştır. Bunlar $\alpha\text{-SiO}_2$ (kuvars), C (karbon), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomit), Fe_2O_3 gibi bileşiklerdir. Uçucu küllerin 1100°C 'de sinterleşmesi sonucunda α -kuvarsın bir kısmının kristobalite dönüştüğü bir kısmının ise dönüşmeden kaldığı saptanmıştır. Sinterleme ile kristal yapıdan amorf yapıya geçiş ile piklerde sıklaşma ve pik boylarında küçülmeler saptanmıştır.

c) Tunçbilek ve Seyitömer uçucu küllerinin tane dağılımlarının 2-70 μm arasında değiştiği görülmüştür. Seyitömer uçucu külünün daha iri tane boyut dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir. Kil, kuvars ve feldispatın tane boyut dağılımları sırasıyla 0.5-50 μm , 0.6-65 μm , 0.5-65 μm olarak tespit edilmiştir.

d) Piknometre ile yapılan özgül ağırlık ölçümlerinde, kil, kuvars ve feldispata ait özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2.64×10^3 , 2.63×10^3 , $2.66 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ olarak, Tunçbilek ve Seyitömer uçucu küllerinin özgül ağırlıkları ise 2.41×10^3 ve $2.33 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Uçucu küllerin özgül ağırlıkları, küllerin ortalama özgül ağırlık değeri olan $2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'den daha yüksektir. Bunun sebebi, çalışmada kullanılan uçucu küllerin bileşiminde, özgül ağırlığın artmasına sebep olan Fe_2O_3 'ün yüksek miktarda bulunmasıdır.

e) Tunçbilek ve Seyitömer uçucu küllerinin %25 (max.) oranında kullanılmasıyla hazırlanmış numunelere yapılan sırlama sonucunda masse ile sıran etkileşiminin iyi olduğu ancak sır yüzeyinde iğne deliklerinin olduğu görülmüştür. Sırlanarak sinterlenmiş numunelerde göbeklenme problemiyle karşılaşılmıştır. Bu duruma bünyedeki organiklerin (özellikle küllerdeki yüksek demir ve karbon içeriğine bağlı olarak) yetersiz ısı ve oksijen alışverişi nedeniyle oksitlenip yanamaması, düşük tane iriliğine sahip olan küllerin gaz giriş ve çıkışını engelleyici rol oynamaları sebep olmuş olabilir. Ayrıca bünyedeki organiklerin yanması için gereken hızlı pişirme süresinin, işlemin tamamlanmasına izin vermeyecek hızda geçilmesi bu problemi doğurucu etki yapmış olabilir. Özellikle 700- 900°C 'de ürünlerde karbonun yanması gerçekleşeceği için bu bölgenin yanma işleminin tamamlanması için yeterli uzunlukta tutulmasında yarar olacaktır. Buna ek olarak bu sıcaklıkta fırın içerisine hava verilerek bu problem önlenebilir.

f) Tunçbilek ve Seyitömer uçucu külleri ile kil, kuvars ve feldispat hammedeleri kullanarak değişik oranlarda hazırlanan karışımlardan yarı-kuru presleme yöntemi ile üretilen ve 1100 °C 'de sinterlenen numuneler üzerinde yapılan testlerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

- 1 nolu grup numunelerinde toplu küçülme miktarında önce artış daha sonra ise düşüş görülmüştür. Feldispat %0 olduğunda küçülme sadece kül tarafından sağlanmıştır.

Kuvars kuruma küçülmesini azaltır ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir. Bu nedenle 2 nolu grupta kuvars yüzdesinin düşmesi küçülmede artışa sebep olmuştur.

3 nolu grupta, hem feldispat hemde kuvars oranının azalması toplu küçülmeyi önce arttırmış daha sonra azda olsa düşürmüştür.

4 nolu grupta ise kil yüzdesinin azalması toplu küçülmeyi düşürücü etki göstermiştir. Killer plastiklik özellikleri ile şekillendirmede yararlı olan bir hammaddedir. Bu grupta kil yüzdesi giderek azaldığı için plastikliğin azalması neticesinde presleme, kurutma ve pişirme safhalarında numunelerde kırılmalar olmuştur.

Tunçbilek uçucu külü içeren numunelerin Seyitömer uçucu külü içeren numunelere göre daha yüksek toplu küçülme değerlerine sahip oluşu, Tunçbilek uçucu külünün daha yüksek karbon içeriğinden kaynaklandığını düşündürmüştür.

- Gerek Tunçbilek gerekse Seyitömer uçucu külü içeren numunelerde, kül miktarındaki artış ve gruplara göre feldispat, kuvars ve kil oranlarındaki azalmanın su emmede artışa neden oluşu gözenek miktarında artışın olduğunu göstermektedir. Sıcaklığın etkisiyle bünyeden gaz çıkışının meydana gelmesi su emmeyi artırıcı etki yapan gözeneklerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu durum her bir gruptaki numunelerin yoğunluklarında düşüşe sebep olmuştur. Feldispat ve kil yüzdesinin azalması, sıcaklığın etkisiyle oluşacak sıvı faz sinterlemesi sonucu gözeneklerin tam olarak doldurulmasına yetmemiş ve yoğunluğun düşüşüyle sonuçlanmıştır.

- Üç nokta eğme mukavemeti sonuçlarına göre kül miktarındaki artış, 1, 2 ve 3 nolu gruplarda mukavemetin artışıyla sonuçlanmıştır. Küllerin tane boyutlarının küçük oluşu sıvı faz oluşumunu kolaylaştırmıştır. Yapının yoğunluğunun camsı fazlardan oluştuğu uçucu küllerde, 1100 °C 'de sinterleme ile bünyedeki alkalilerin yeni cam fazlar oluşturmaları numunelerin daha mukavemetli olmasının sebebi olarak düşünülmüştür. 4 nolu grupta kül miktarının artırılması ile mukavemette düşüş gözlenmiştir. Bileşimdeki kil yüzdesi azaltıldığı için 1100 °C 'de oluşacak mullit fazının azalmasına bağlı olarak mukavemet değerlerinde de düşüş olmuştur.

- Elde edilen mukavemet değerlerine göre (Su emme ve yoğunluk sonuçları da gözönüne alınarak) optimum bileşimin gerek Tunçbilek uçucu külü içeren numuneler için 15.04 MPa ve gerekse Seyitömer uçucu külü içeren numuneler için 14.46 MPa mukavemet değerleriyle 2 nolu gruptaki %50 kil, %25 feldispat, %10 kuvars ve %15 kül bileşimine sahip numunelerde olduğu sonucuna varılmıştır.

B) Öneriler

- Kimyasal bileşimleri ve ince tane yapıları ile uçucu küllerin seramik karo üretiminde hammadde olarak değerlendirilebilmesine yönelik yapılan bu çalışmada Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santrallerinden temin edilen küllerle çalışılmıştır. Muhtelif termik santrallerden elde edilecek başka kül örnekleri de kapsamlı olarak incelenerek karo üretiminde faydalı olacak en doğru sonuçlara ulaşılabilecektir. Böylece hem uçucu küllerin çevreye verdikleri zararlı etkiler azaltılacak hemde seramik sektörüne ucuz ve bol hammadde kaynağı yaratılmış olacaktır.

- Uçucu küllerin seramik hammaddelerine belirli oranlarda ilavesinin bünyede meydana getirdiği değişikliğin sıcaklıktadaki artışa bağlı olarak ne gibi sonuçlar vereceği araştırılabilir.

- Bünyesinde yüksek alümina, silis ve alkali oranı içeren küllerin yer karosu sırlarında ve yüksek CaO oranına sahip küllerin duvar karolarında mermer (CaO_3) yerine kullanılabilirliği araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] ————— "Karofayans-Karoseramik Sanayii" Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. Planlama Organizasyon Müdürlüğü, Eylül 1994.
- [2] KIRIKOĞLU, M.S., "Turkey's Raw Material Deposits for Ceramic Wall and Floor Tiles", Tile & Brick Int., Vol.10, No.3, pp.169-173, 1994.
- [3] ÖRNEK, T., "Seramik Karo Hızlı Pişirim Teknolojisindeki Son Gelişmeler", Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens., Haziran 1994, İstanbul.
- [4] SEZER, B., "Gümrük Birliğine Gिरerken Türk Seramik Sektörü", Seramik ve Refrakter Üreticileri Yayınları, No.3, Ekim 1994, İstanbul.
- [5] ARCASOY, A., "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniv., Güz., San., Fak., 1983, İstanbul.
- [6] ————— "Porous Single Fired Wall and Floor Tiles ", SACMI, 1994.
- [7] WORRALL, W.E., "Clays and Ceramic Raw Materials", Institute of Ceramic Textbook Series, Pergamon Press, pp. 14, 1982.
- [8] GÜNER, Y., "Seramik", Gençlik Kitabevi A.Ş., 1987, İstanbul.
- [9] SÜMER, G., "Endüstriyel Seramikler", Cilt-1, Anadolu Üniv. Güz. San. Yük., 1990, İstanbul.
- [10] SMITH, J.V., BROWN, W.L., "Crystal Structures, Physical, Chemical and Microtexture Properties", Feldspar Minerals, 2nd ed., 1988, Berlin.
- [11] GÖRGÜLÜ, E., "Hızlı Tek Pişirim Yöntemiyle Yer Karolarının Üretimi ve Göbeklenme Problemi", Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Fen.Bil. Ens., Haziran 1992, İstanbul.
- [12] KIRIKOĞLU, S., "Endüstriyel Hammaddeler", İ.T.Ü. Maden Fak., 1990, Gümüşsuyu-İstanbul.
- [13] ESCORDINO, A., "Single-Fired Ceramic Wall Tile Manufacture", Tile & Brick Int., Vol.9, No.1, pp.14-19, 1993.
- [14] GNORRA, G.J., "Theory of Fast Firing", Ceram. Eng. Sci. Proc., 14[1-2], pp.77-115, 1993.
- [15] ————— "A Leading Name in Two Field", SACMI, 1984.
- [16] BRUSA, A., CONTOLI, L., "The Choice Between Monoporosa and Fast Double Firing", Ceramic World Review, No.4, pp.64-68, 1992.

- [17] TEFEK, M., "Duvar ve Yer Karolarının Hızlı Tek Pişirimi", 4. Uluslararası Seramik Teknik Kongre ve Sergisi, Matsa Basımevi, S.9-15, İstanbul, 1990.
- [18] ERDOĞAN, T.Y., "Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, S.29-35, 1993, Ankara.
- [19] TOROZ, H., "Aşın-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği", Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen.Bil. Ens., Haziran 1987, İstanbul.
- [20] ANDERSON, M., JACKSON, G., "The Benefication of Power Station Coal and Its Use Heavy Clay Ceramic", Trans. J. Br. Ceram. Soc., Volume 82, No.2, pp.50-55, 1993.
- [21] ERGÜT. Ş., "Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Sinterleşme Karakterizasyonu", Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen.Bil. Ens., Haziran 1994, İstanbul.
- [22] ERIKSSON, M., SEVELIUS, D., "The Use of Fly Ash and Sewage Sludge in Ceramic Building Materials", European Ceramic Society Fourth Conference, October 1995, Italy.
- [23] YILMAZ, Ş., "Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi", Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens., 1992, İstanbul.
- [24] ————— "Sinterde PFA as a Light Weight Aggregate", PFA Data Book, Cent. Elec. Gen. Board, 1974, England.
- [25] ————— "Fly Ash and Row or Calcined Natural Puzzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concreate", ASTM C 618-80, Annual Book of ASTM Standarts, Vol.14, pp. 381-384, 1980.
- [26] ————— "Uçucu Küller Standartı", TS 639, 1975.
- [27] ————— "PFA Information" Powergen Broch., 1990, England.
- [28] HE, J.Y., SCHEETZ, B.E., ROY, D.M., "Comparision of Tuffy and Fly Ash Blended Cement", Am. Ceram. Soc., Vol.64, No.5, pp.707-711, 1985.
- [29] MUKHERJI, S.K., MACHHOYA, B.B., SAVSANI, R.M., VYAS, R., DAN, T.K., "The Utilisation of Fly Ash in The Preparation of Ceramic Tableware and Artware", Br. Ceram. Trans., pp.254-257, No.6, 1993.

- [30] HUANG,X., HWANG,J.Y., MUTSUDDY,B.C., "Properties of Mullit Synthesized from Fly Ash and Alumina Mixture", Int. Ceram., Vol.44, No.2, pp.65-71, 1995.



ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Kocaeli/İzmit 'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı yerde tamamladıktan sonra, 1987 yılında İzmit Lisesi 'nden mezun oldu. 1988 yılında girdiği İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümünden, 1990 yılında İ.T.Ü. Kimya- Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. Mezun olduğu 1992 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne girmeye hak kazanan Nilüfer DUMAN, Metalurji Ana Bilim Dalı Üretim Metalurjisi Programında Yüksek Lisans öğrenimine devam etti.

