

Tuğla Kiremit Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi

M Müdüroğlu, S. Atak

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Cevher ve Komur Hazırlama Ana Bilim Dalı

ÖZET: Bu çalışmanın amacı, Tekirdağ-Hayrabolu bölgesinden elde edilen kil numunelerinin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyerek optimum özellikleri sağlayan tuğlayı üretmek olmuştur. Bu amaçla deneysel çalışmalar üç bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölüm, deneylerde kullanılan kil numunelerini tanımlamak amacıyla yapılan mineralojik, fiziksel ve kimyasal araştırmalar ile sonuçlarını içermektedir, ikinci bölümde, tanımlanan kil numuneleriyle değişik oranlarda karışımlar yapılarak, uygun kil bileşiminde optimum özellikleri sağlayan tuğla yapımı hedeflenmiştir. Son bölümde ise belirlenen optimum kil karışımına bağlı kalınarak boyut dağılımı çalışmaları yapılmıştır.

ABSTRACT: The aim of this study was the production of the optimum quality brick with the help of the determination of mineralogical, physical and chemical properties of Tekirdağ Hayrabolu region clay samples. For this aim the experimental studies were done in three parts. The first part contains the mineralogical, physical and chemical researches and their results that helps to identify the clay samples. In the second part, by mixing the identified clay samples in different ratios, the brick that has the optimum properties in optimum clay composition was found. In the last part granulation studies were done in optimum clay composition.

1. GİRİŞ

Türkiye'de tuğla ve kiremit üreten büyüklü küçük 600 dolayında firma vardır. Bunlardan 500'ü tuğla, 100'ü ise kiremit üretmektedir. Tuğla üretiminde İstanbul'da kurulu Kilsan, kiremit üretiminde ise Eskişehir'de kurulu Kılıçoğlu başı çekmektedir. Tuğla üretiminin en yoğun olarak yapıldığı bölge Manisa'nın Turgutlu ilçesidir. Bu ilçede yaklaşık 70 firma faaliyet göstermektedir. Tuğla ithalatı söz konusu değildir, ihracat ise çok düşük düzeydedir. Üretim iç tüketime yönelik olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte DPT verilerine göre tuğla üretimi son beş yıl içerisinde hızla gerilemiştir. Bunun sebepleri tuğlaya alternatif ürünlerin (gazbeton ve eternit) kullanımının artması ve prefabrik inşaatların boy göstermeye başlamasıdır (Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Ocak-Şubat-Mart 1997). Tüketicinin daha pahalı olmasına rağmen alternatif ürünlere yönelmesindeki en büyük etken ise tuğla sanayinde dünya standartlarında üretim yapılamamasıdır. Ancak Amerikan (ASTM) Standardında üretim

yapan Işıklar Tuğla ve Alman Normunda (MPA-EGA) üretim yapan Kılıçoğlu firmaları ihracat yapabilen nadir kuruluşlardır. Diğer üreticilerin ise büyük çoğunluğu TSE belgelidir.

Bu çalışma kapsamında Tekirdağ-Hayrabolu yöresinden alınan kil numunelerinin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılarak kil mineralleri ve bu numunelerdeki safsızlıklar tanımlanmıştır. Bu tanımlanan kilerle uygun karışımlar belirlenerek en iyi tuğla üretimi hedeflenmiştir.

2. HAMMADDELER ÜZERİNDEKİ ÇALIŞMALAR

Deneylere esas olan numuneler Tekirdağ Hayrabolu yöresinde işletilmekte olan kil ocaklarından numune alma yöntemleri göz önünde tutularak temin edilmiştir. Bu numuneler cevher hazırlama işlemleri ile uygun boyutlara getirilerek kimyasal analizleri ve mineralojik incelemeleri yapılmıştır.

2.1. Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan kil numunelerinin kimyasal analizleri yapılmış olup, analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deneylerde Kullanılan Kil Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

%	1	2	3
SiO ₂	50.60	58.10	46.40
Al ₂ O ₃	14.95	10.72	9.89
TiO ₂	0.67	0.59	0.59
Fe ₂ O ₃	7.88	7.74	10.60
CaO	7.40	8.25	13.15
MgO	4.26	2.15	2.88
K ₂ O	2.50	2.06	2.06
N ₂ O	0.46	0.94	0.48
K.K.	11.33	9.16	13.90

KK: Kızdırma Kaybı
1,2,3 : Numune No

Killerin kimyasal analiz sonuçlarına göre her üç hammadde de Al₂O₃-SiO₂ esaslıdır (Erdoğan, H, 1989). Çizelge 1. incelendiğinde 1 nolu kilin Al₂O₃ yüzdesi diğer iki kile göre daha yüksek iken, 2 nolu kilde SiO₂ yüzdesi daha yüksektir. Her üç kilde de CaO oranı yüksektir. Yine bütün hammaddelerde yüksek oranda Fe₂O₃ bulunmaktadır. Ateş kayıpları ise toprak alkali içeriklerinin yüksek olması nedeniyle bir hayli fazladır.

2.2. Diferansiyel Termik Analiz (D.T.A.) ve Dilatometre İncelemeleri

Bu çalışmada kil numunelerinin DTA verilerinin çıkartılmasında NETZSCH Geratebau GmbH Model 404 markalı cihaz kullanılmıştır. Deneylerde sıcaklık derecesinin yükseltilmesi, dakikada 10°C arttırma hızıyla uygulanmıştır. Kağıt hızı saatte 120 mm, ölçüm aralığı ise 0,1 mV'dur. Son sıcaklık 1000°C olarak ayarlanmıştır. Sıcaklık ölçülmesi Pt-Pt/Rh termokupl ile yapılmaktadır. Analiz yapılan kil numunesi 63 (im elekten geçecek şekilde hazırlanıp kurutulmuştur). Hazırlanan madde cihazdaki platin yuvalı iki borudan birine 150 mg doldurulur. Diğer platin yuvada ise, referans olarak ısıtıldığı zaman hiç bir termal reaksiyon göstermeyen inert bir madde kullanılır. Bu deneyde ise dönüşümü tamamen tamamlanmış Al₂O₃, referans maddesi olarak alınmıştır (Yılmaz, S.G., 1994).

Killerin dilatometre analizleri yapılmasında ise, NETZSCH Dilatometer Model 402 E markalı cihaz kullanılmıştır. Fırın, dakikada 4-5 °C ısıtma hızıyla ısıtılmıştır. Başlangıç sıcaklığı oda sıcaklığı olan 20°C'dir. Son sıcaklık ise 900°C'dir. Numune ve fırın sıcaklığı iki ayrı Pt/Pt-Rh (10 %) termokupl ile kontrol edilmektedir. Bu deneyde ham numune saf su ile açılarak ve plastik hale getirilerek 200 µm'lik elekten geçirilmiştir. Daha sonra bu kil bir çubuk olarak şekillendirilip, oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kuruyan çubuklar, özenle ~50 mm uzunluğuna ve kalınlığı 10 mm kare şekline gelinceye kadar rötürlenerek analize hazır bir hale getirilmiştir.

Killerin ısıtılmasıyla meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan DTA eğrilerinde görülen pikler ve pik aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kil Numunelerinin DTA Eğrilerinde Görülen Pikler ve Pik Aralıkları

Num No	Endotermik	Reaksiyonlar	Ekzotermik	Reaksiyonlar
	Pik Sıcaklığı (C)	Pik Aralığı (O)	Pik Sıcaklığı (O)	Pik Aralığı (C)
1	140	40-250	-	250-500
	580	500-650		
	880	860-890 [^]		
2	110	40-270	-	310-500
	285	270-310		
	560	500-630		
	870	820-880		
3	140	35-180	-	180-200
	300	280-330		
	570	500-600		
	900	860-900		

1 nolu kil 40 °C'den itibaren yüzey suyunu kaybetmeye başlamıştır. 580 °C'de beliren endotermik pik ise kuvars dönüşümünün pikidir. 500-650 °C arasında kil mineraline bağlı kimyasal su uzaklaşarak (dehidroksilasyon) meta kaolen oluşmaktadır. 890-900 °C civarında görülen ani ekzotermik pik ise spinel faza geçişin belirtisidir.

2 nolu kil 110 °C'de higroskopik suyunu kaybederek endotermik pik vermiştir. 560 °C'de beliren endotermik pik ise kuvars dönüşümünün pikidir. 500-630 °C arasında kil minerali kimyasal suyunu kaybetmektedir.

3. nolu kilin DTA eğrisi 2 nolu kilin DTA eğrisi ile benzerlik göstermektedir. 140 °C'de higroskopik suyun uzaklaşması ile endotermik bir pik görülmektedir. 500-600 °C arasında kil mineraline bağlı kimyasal su uzaklaşmaktadır. 570 °C'de beliren endotermik pik ise kuvars dönüşümünün pikidir. 900 °C'de kalsitin bozulmasını gösteren endotermik pik mevcuttur.

2.3. X-Işınları Difraksiyon Analizi

X-ışınlarının difraksiyon paternlerinin çıkartılmasında, Philips marka pw 1710 X-ışınları difraktometre cihazı kullanılmıştır. Eğrilerin çıkartılmasında 40 KV ve 20 mA'de Co radyasyonu ve Ni filtre kullanılmıştır. $h = 1,7889 \text{ \AA}^{\circ}$ dur. Fazlar en şiddetli pik 100 kabul edilerek, pik şiddetlerinin oranlanmasından bulunmuş ve Hanawalt Araştırma kitaplarından yorumlanmıştır (Tolon C, 1973).

Her numunede, diyagramlardan saptanan piklerin d mesafelerinin ait olduğu mineraller ise ASTM kartlarından saptanarak Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. X-Işını Difraksiyonu Sonucu Kil Numunelerinde Saptanan Mineraller

Numune No		
1	2	3
Kalsit	Kalsit	Kalsit
Kuvars	Kuvars	Kuvars
Montmorillonit	Kaolinit	Illit
Kaolinit	Illit	Biyotit
		Mikroklın

2.4. Mikroskopik İncelemeler

Çalışma alanlarına ait numunelerin 53 μm elek altı kilden arındırılmış malzemenin mineralojik incelemeleri binoküler mikroskopla yapılmıştır. Bu çalışmada araziden getirilen numune kırıldıktan sonra bir miktar su ile pervaneli açıcıda dağıtılmıştır. Daha sonra malzeme 53 μm elekten geçirilip ve kalan elek üstü bakiyesi su ile iyice yıkanarak kilden tamamen arındırılıp kurutulmuştur. Böylece binoküler mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmadan XRD ile saptanan kil boyutundaki bazı minerallerin dışındaki mineral türlerinin ayırt edilmesinde yardımcı yöntem olarak faydalanılmıştır (Acarsoy A., 1983).

Bu çalışmada 1 ve 2 nolu kilin içerdiği mineraller kesin olarak tespit edilememiştir. Ancak 1 nolu kilin

marn özelliği gösterdiği saptanmıştır. 2 nolu kilin silt karakteri gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanısıra bol miktarda kuvars ve kil mineralleri bulunmaktadır. Her iki kil numunesi de saf kile göre daha iri boyutludur ($>5(\mu\text{m})$). 3 nolu kil numunesinde ise yüksek oranda feldspat tespit edilmiştir. Bunun yanında limonit, hematit mineralleri ve mika olduğu belirlenmiştir. 3 nolu kil daha ince boyutludur ($<5(\mu\text{m})$).

2.5. Fiziksel Özelliklerin İncelenmesi

2.5.1. Elek Analizi

Deneylerde kullanılacak numunelerin boyut dağılımlarını belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Numuneler öncelikle çeneli ve merdaneli kırıcılarda kırılarak boyutları küçültülmüştür. Daha sonra kuru ve yaş olarak elenerek deney amacına uygun boyut dağılımı belirlenmiştir. Numunelerin boyut dağılımı Çizelge 4'de verilmiştir (Kaytaş Y., 1997).

Çizelge 4. Deneylere Esas Olan Numunelerin Boyut Dağılımı Sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Mik. (%)	I EA	Mik. (%)	E EA	Mik. (%)	EA
+ 2	22.65	100.0	14.78	100.0	19.66	100.0
- 2 + 1	43.28	77.35	28.75	85.22	33.70	80.34
- 0.841 + 0.6	12.23	34.07	12.66	56.47	15.85	46.64
- 0.6 + 0.420	5.01	21.84	5.43	43.81	6.62	30.79
- 0.420 + 0.3	5.61	16.83	6.83	38.38	7.42	24.17
- 0.3 + 0.1	2.0	11.22	6.03	31.55	5.62	16.75
- 0.1 + 0.074	1.0	9.22	3.22	25.52	1.4	11.13
- 0.074 + 0.053	0.8	8.22	3.22	22.3	1.2	9.73
- 0.053 + 0.038	1.0	7.42	5.83	19.08	0.9	8.53
- 0.038	6.42	6.42	13.25	13.25	7.63	7.63
TOP.	100.0		100.0		100.0	

2.5.2. Plastisite Tayini

Bu çalışmada "Pfefferkorn" yöntemine göre yoğrulma (plastiklik) suyu ve plastiklik sayısı

hesaplanmıştır (Seramik Lab.Deney Föyü).
Soniclar Çizelge 5'te görülmektedir.

Çizelge 5.Kil Numunelerinin Yoğrulma ve
Plastisite Suları

Numune No	Yoğ.Suyu(%)	Plastisite (%)
1	29.52	34.84
2	23.45	25.07
3	25.86	28.13

2.5.3. Küçülme Değerlerinin Bulunması

Bu çalışmada, plastik hale getirilen çamur dövülerek alçı bataryalara yerleştirilmiştir. Alçı batarya içinden rahatça çıkacak duruma gelinceye kadar batarya içinde bekletilerek suyun emilmesi sağlanmıştır. Böylece kalıptan çıkarıldığında 230x20x15 mm boyutlarındaki plastik çubuklar elde edilmiştir. Bu çubukların üzerine 0,05 mm hassasiyetindeki kumpasla 10'ar cm uzunluğunda iki ayrı mesafe işaretlenmiştir. Bu işlem tüm çubuklara uygulanmıştır. Daha sonra 24 saat oda sıcaklığında ilk kurutma evresine alınmıştır. İlk kurutmadan sonra 8 saat 50 ± 5 °C'de 24 saat 100 ± 10 °C'de son kurutmaya alınmıştır. Rutubeti %0 olan çubuklar desikatörde soğutulmuş (numunenin rutubet almaması için) ve ilk işaretlenmiş noktalar arası ölçülerek kuru küçülme yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Sonra her çubuktaki küçülme yüzdelilerinin ortalaması alınmıştır (Özgen S., 1997, Seramik Lab. Föyü).

$$\% \text{KuruKüç.} = \frac{(\text{Plastik uzunluk-Kuru uzunluk})}{\text{Plastik uzunluk}} \times 100$$

Pişme küçülmesinin saptanmasında ise kuru küçülmeleri ölçülen çubuklar belirlenen sıcaklıkta fırında 1000 °C'de 8 saat bekletilmek koşuluyla pişirilmiştir. Sonra işaretli noktalar arası mesafeler tekrar ölçülerek ölçüm farkı pişme küçülmesi olarak hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır.

$$\% \text{Pişme Küç.} = \frac{(\text{Kuru uzunluk-Pişme uzunluk})}{\text{Kuru uzunluk}} \times 100$$

Bu hesaplamalarla ilgili sonuçlar Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 6.KİI Numunelerinin Kuruma ve Pişme
Küçülmeleri

Numune No	1	2	3
Kuruma Küçülmesi (%)	7.75	2.88	3.51
Pişme Küçülmesi (%)	1.29	0.10	0.15

2.5.4. Su Emme Değerlerinin Bulunması

Pişirilen çubuklar desikatörde soğutmaya alınmış ve kuru tartımları yapılmıştır. Tartma işleminden sonra bir saat süre ile soğuk su içerisinde bekletilip, aynı su kabı ile 4 saat süre ile kaynatılmıştır. Çubuklar kaynatılan suda bu sefer 12 saat su içerisinde tekrar beklemeye bırakılmıştır. Böylece çubukların makro ve mikro gözeneklerinin suyu emmesi sağlanmıştır. Bu süre sonunda sudan çıkartılan çubukların üzerindeki su damlacıkları kurulandıktan sonra yaş tartımı yapılmıştır. Kuru ve su emmiş ağırlık farkından ağırlığa bağlı su emmesi % cinsinden hesaplanmıştır (Gökgöz G., 1996, Seramik Lab. Föyü).

$$\% \text{Su Emme} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

A = Kuru tablet
B = Islak tablet

Killerin su emme miktarları ile birlikte pişme esnasında meydana gelen küçülmelerin % değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde pişme küçülmesi ile su emme miktarları arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.KİI Numunelerinin Su Emme ve Pişme
Küçülmesi Değerleri

Numune No	1	2	3
Pişme Küçülmesi (%)	1.29	0.10	0.15
Su Emme (%)	14.22	21.10	19.80

2.5.5. Mukavemetlerin Bulunması

Bu çalışmada kuruma küçülmesinden geçen çubuklar "Netsch 401 Bending Strength Tester" mukavemet cihazında kırılmıştır. Mukavemet çubukları, kırma aletinin iki trnağı üzerine yerleştirilip orta noktasına artan ağırlıklar konularak belirli aralıkta kırılmıştır. Her çubuk için ayrı ayrı ölçüm yapıp, bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Kuru mukavemet aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur (Tanişan H.H. ve Mete Z., 1986, Seramik Lab. Föyü).

$$\text{Mukavemet (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Fb} \times \text{L}_s}{4 \text{ W}} : 9,807$$

$$\text{W} = \frac{\text{b} \times \text{h}^2}{6}$$

Fb = Kırılma esnasındaki bindirme yükü (Newton)

L_s = Destekler arasındaki mesafe (cm)

b = Kırılma yüzeyinin taban genişliği (cm)

h = Kırılma yüzeyinin yüksekliği (cm)

Pişirme mukavemetinin bulunması için ise; 1000 °C'de pişirilen çubuklar aynı kuru mukavemette olduğu gibi mukavemet cihazında kırılmış ve ölçüm değerlerinin ortalaması alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 8'de görülmektedir.

Çizelge 8. Kil Numunelerinin Kum ve Pişmiş Mukavemetleri

Numune No	1	2	3
Kuru Mukavemet (kg/cm²)	124.0	69.1	101.9
Pişme Mukavemeti (kg/cm²)	214.9	122.0	190.3

3.TUĞLA ÜRETİM ÇALIŞMALARI

3 1 Tuğlalardaki Kil Oranının Optimizasyonu

Çizelge 9. Deneyleerde Kullanılan Hammadde Kombinasyonları

Karışım No	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	
Numune No	1	100	90	90	80	80	70	70	60	50	50	50	50	0	0
	3	0	10	0	20	0	30	0	40	50	40	30	20	100	0
	2	0	0	10	0	20	0	30	0	0	10	20	30	0	100

Çizelge 10. İncelenen Hammadde Kombinasyonlarının Sonuçları

Karışım No	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	
Numune No	1	100	90	90	80	80	70	70	60	50	50	50	50	0	0
	3	0	10	0	20	0	30	0	40	50	40	30	20	100	0
	2	0	0	10	0	20	0	30	0	0	10	20	30	0	100
Pljitisite Suyu(%)	34.8	30.0	30.0	27.0	27.0	24.0	24.0	24.0	30.0	31.0	31.0	31.0	28.1	25.0	
Kuru Küçülme(%)	7.75	7.29	6.15	6.38	5.48	5.48	5.04	5.26	4.16	5.04	4.82	5.26	2.88	3.51	
Kuruma Hassa(%)	1.84	1.71	0.98	1.42	0.92	0.83	0.59	0.8	0.3	0.3	0.5	0.32	0.3	0.41	
Pişme Sıcak (°C)	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	
Pişme Küçül (%)	1.29	0.65	0.21	0.85	0.41	0.21	0.21	0.63	0.21	0.1	0.42	0.1	0.1	0.15	
Su Emme (%)	14.2	22.4	23.0	23.8	21.9	24.4	21.1	23.2	23.4	22.9	25.1	24.9	21.1	19.8	
Kur Muk (kg/cm ²)	124	112	120	97.3	105	95.4	76.1	89.9	91.6	98.2	87.8	80.7	69.1	101	
Piş Muk. (kg/cm ²)	214	196	202	186	189	191	143	168	177	193	180	164	122	190	

Deneysel çalışmaların bu bölümünde daha önceki bölümlerde mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen üç kil numunesi değişik oranlarda karıştırılarak optimum hammadde bileşimi bulunmaya çalışılmıştır. Kullanılan hammaddeler aşağıdaki safhalardan geçirilerek tuğla numuneleri hazırlanmıştır (Onoda G.Y. ve Larry L.H., 1978, Erdoğan S. 1994).

1. Hammaddenin öğütülmesi
2. 0,8 mm elek ile elenmesi
3. Plastisite suyu miktarının bulunması
4. Numunelerin kalıplanması
5. Kurntma
 - a) Kurutma hassasiyetinin bulunması
 - b) Kurutma küçülmesinin ölçülmesi
6. Pişirme (900 °C sıcaklıkta)
 - a) Pişirme küçülmesinin ölçülmesi
 - b) Su emme ölçümü
 - c) Eğilme mukavemetlerinin ölçümü

Yukarıda bahsedilen özelliklerin bulunması, daha önceki bölümlerde anlatıldığı şekilde yapılmıştır (Plastisite suyunun bulunması, kuruma ve pişirme küçülmelerinin ölçümü, su emme ve eğilme mukavemetlerinin ölçümü). Tüm bu bilgiler ışığı altında incelenen hammadde kombinasyonları Çizelge 9'da verilmiştir. Çizelge 9'a göre hazırlanmış karışımlarla yapılan çubuklara ait tüm özellikler Çizelge 10'da görülmektedir.

Sonuç olarak Çizelge 10'dan da görüldüğü üzere en iyi özellikleri sağlayan tuğla bileşimi %50 1 nolu kil + %40 3 nolu kil + %10 2 nolu kil karışımıdır. Bu bileşim diğer bileşimler ile karşılaştırıldığında; örneğin plastisite suyu değeri %310'dır. Yani oldukça plastiktir. Kuru küçülme değeri ise %5,48'tir. Bu değer 1 nolu kilin oranca fazla olduğu karışımlara göre daha düşük, 2 nolu kilin oranca fazla olduğu karışımlara göre ise daha yüksektir. Genel olarak gerek 2 nolu kil, gerekse 3 nolu kil ilavesi ile küçülme değerleri düşürülmüştür. Kuruma hassasiyeti değeri de 0,50'dir. Yani 1'den küçüktür. Bu değer sözkonusu bileşimin hassas bir kurumaya sahip olmadığını gösterir. Genel olarak bakıldığında ise, 1 nolu kilin kuruma hassasiyeti çok yüksektir. JBu ise, kuruma sırasında çatlamalara ve mukavemetin düşmesine sebep olur. 2 ve 3 nolu killerin ilavesi, ile bu hassasiyet düşürülmüştür. Pişme küçülmesi değerleri hemen hemen bütün killerde kabul edilebilir değerlerdedir. Bu da pişirme işlemi esnasında çatlama problemlerini büyük oranda azaltır. Su emme değerlerine bakıldığında 2 ve 3 nolu killerin ilavesi ile değerler yükselmektedir. Ancak seçtiğimiz bileşimin su emme değeri uygundur. Yine mukavemet sonuçlarına baktığımızda kuru ve pişmiş mukavemet değerleri yüksektir.

Netice itibariyle yukarıdaki karşılaştırmaların ışığında optimum özellikleri sağlayan tuğla hammaddesi bileşiminin %50 1 nolu +-%40 3 nolu + %10 2 nolu kil karışımı olduğu ortaya çıkmaktadır.

3.2. Tuğlalarda Boyut Dağılımının incelenmesi

Gerek kuma gerekse öğütmeyle yapılan tane boyutunu küçültme işlemlerinde kullanılan farklı yöntemler-farklı tane boyutu ve şekli sağladıkları için pratik olarak optimum bir tane basamaklandırılması tutturulamamaktadır. Çarpma ile çalışan makineler, tanelere daha çok keskin köşeli ve taş kırıntısı şeklinde biçim verirken, sıkışma' veya yontma şeklinde çalışanlar (Merdaneler, Konili Kırıcılar) yuvarlanmış bir biçim kazandırır. Tane boyutunu küçültme işlemlerinde oluşan tane boyutu dağılımı ve şekli önemli ölçüde öğütülecek malzemenin cinsine de bağlıdır. Kırılgan malzemeler, kuvars ve yüksek sıcaklıkta pişmiş şamot gibi, merdaneli kırıcılarda eksen taş kırıntısı şeklinde taneler ve fazla miktarda ince tane oranı verirler. Sert malzemeler ise buna karşılık düşük ince tane oranına sahip yuvarlak taneler verirler. Ama yapılan- araştırmalara göre 1 mm'den yukarı yaklaşık bir tane boyutuna kadar olan ince tanelilik, öğütmenin türünden ve malzemenin

bileşiminden bağımsız olan belli öğütme yasalarına uyar (Hüttig G.F., 1953, Özen İ., 1992, Manegold E. ve Soif, K., 1931).

Belli bir tane boyutu X(M) üzerinde kalan malzeme miktarı R(%), aşağıdaki şekilde ifade edilir. $R = 100 \cdot e^{-bx}$

Burada b ve n sabitlerdir. Şayet yukarıdaki eşitlikte 2 defa logaritma alınırsa aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\lg(-\lg R/100) = n \lg x + \lg b + \lg (1ge)$$

$$\lg (\lg 100/R) = c + n \lg x$$

Elde edilen bu eşitlikten, $\lg (\lg 100/R)$ ile $\lg x$ arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir, eğer b yerine $b = 11\%$ koyarsak bu durumda,

$$R = 100e^{-(x/2)}$$

elde edilir.

Diğer bir ifadeyle, Andreasen Eşitliği elde edilir.

$$P = 100(x/\%)^n$$

Bu eşitlikte ;

P = d boyutundan ince malzemenin yüzdesi
x = Malzeme içindeki tane boyutları
% = Malzeme içindeki en büyük tane boyutu
n = Boyut dağılım sabiti

olarak belirlenmiştir.

Andreasen, çok değişik boyut dağılımlarındaki kuvars taneleri ile çalışmalar yapmış ve optimum paketleme dağılımını tespit etmiştir. Yaptığı çalışmalarda $x=4750\mu m$ olan alümina-silisli bir refrakter yapı için "optimum paketlemenin $n=0,33$ ile 0,5 değerleri arasında gerçekleştiğini tespit etmiştir (Andreasen A.H.M., 1930, Burmester L. ve Aangew Z., 1924).

Tanelerin sıkıştırılarak paketlenmesinde "diğer bir önemli husus da optimum boşluk hacmini bulmaktır. Bu hacmi bulurken de malzemedeki S/L büyük önem taşımaktadır.

Burada ;

S = Malzeme içindeki en küçük tane boyutu
L = Malzeme içindeki en büyük tane boyutu

Yme Andreasen'in yapmış olduğu çalışmalarda, S/L küçüldükçe taneler arasında oluşan boşluk hacmi azalmaktadır. Bir önceki bölümde (Bölüm 2) en uygun özellikleri sağlayan tuğla bileşimi tespit edilmişti. D*eney

numuneleri, tespit edilen kil bileşim oranlarına sadık kalınarak, Andreasen denklemindeki n değerine uygun olarak gerekli oranlarda karıştırılmışlardır. Bu karışımlar Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Andreasen Denklemine Göre Hazırlanan Karışımlar

Boyut Aralığı (mm)	A	B	C	D	E
	% Miktar	% Miktar	% Miktar	% Miktar	% Miktar
-2+1	18.8	24.2	29.3	34.1	41.6
-1+0.6	11.5	14.1	16.0	17.4	13.5
-0.6+0.3	13.1	14.9	16.0	16.5	12.1
-0.3+0.1	15.9	16.6	16.4	15.5	7.3
-0.1+0.053	7.1	6.8	6.1	5.2	6.6
-0.053	33.6	23.4	16.2	11.3	18.9
TOPLAM	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
n	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

Çizelge 11'den de görüldüğü gibi farklı n değerlerinde 5 ayrı deneme tuğlası hazırlanmıştır. Fakat bu 5 ayrı deneme tuğlasında da %50 1 nolu kil, %10 2 nolu kil ve %40 2 nolu kil bulunmaktadır. A, B, C, D tuğlalarının her bir boyut grubu için % kil bileşimleri Çizelge 12 ve 13'te görülmektedir. E ise karışımın orijinal dağılımıdır.

Çizelge 12. A ve B Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri

Boyut Aralığı (mm)	A				B			
	1 Nolu Kil	2 Nolu Kil	3 Nolu Kil	Toplam	1 Nolu Kil	2 Nolu Kil	3 Nolu Kil	Toplam
-2+1	9.4	1.9	7.5	18.8	12.1	2.4	9.7	24.2
-1+0.6	5.7	1.1	4.6	11.5	7.1	1.4	5.6	14.1
-0.6+0.3	6.6	1.3	5.2	13.1	7.4	1.5	6.0	14.9
-0.3+0.1	7.9	1.6	6.4	15.9	8.3	1.6	6.6	16.6
-0.1+0.053	3.6	0.7	2.8	7.1	3.4	0.7	2.8 *	6.8
-0.053	16.8	3.4	13.5	33.6	11.7	2.4	9.3	23.4
TOPLAM	50.0	10.0	40.0	100.0	50.0	10.0	40.0	100.0

Çizelge 13. C ve D Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri

Boyut Aralığı (mm)	C				D			
	1 Nolu KU	2 Nolu Kil	3 Nolu Kil	Toplam	1 Nolu Kil	2 Nolu KU	3 Nolu Kil	Toplam
-2+1	14.6	2.9	11.7	29.3	17.1	3.4	13.7	34.1
-1+0.6	8.0	1.6	6.4	16.0	8.7	1.7	7.0	17.4
-0.6+0.3	8.0	1.6	6.4	16.0	8.2	1.7	6.6	16.5
-0.3+0.1	8.2	1.7	6.5	16.4	7.8	1.6	6.2	15.5
-0.1+0.053	3.1	0.6	2.5	6.1	2.6	0.5	2.0	5.2
-0.053	8.1	1.6	6.5	16.2	5.6	1.1	4.5	11.3
TOPLAM	50.0	10.0	40.0	100.0	50.0	10.0	40.0	100.0

Karışımların tümünde en büyük tane boyutunun en küçük tane boyutuna oranı $S/L = 0.038$ 'dir. ayrıca bir üst boyut ile bir alt boyut arasında PM/R_s s 0.5 gibi bir oran mevcuttur.

Çizelge 12 ve 13te karışımları verilen deney numuneleri kuru olarak karıştırılıp, şekillendirme amacıyla %7 su ilavesi yapılmıştır. Daha sonra yaklaşık 500 kg/cm^2 basınçla sıkıştırılarak tuğla haline getirilmişlerdir. Ancak burada uygulanan kuvvet iyi ayarlanarak tanelerin ezilmesi engellenmiş ve Çizelge 11.'de verilen boyutlar korunmaya özen gösterilmiştir. Üretilen bu tuğlaların hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri tayin edilerek kıyaslamalar yapılmıştır.

3.2.1. Hacim Ağırlığı Tayini

Bu çalışmada hacim ağırlığı tayini DEST 51065'e göre yapılmıştır. Yalnız bu norm kapsamında yer alan 2 farklı yöntemden yararlanılmıştır. Birincisi preslenmiş numunelere uyguladığımız ölçüm yöntemi, ikincisi ise temperlenmiş numunelere uyguladığımız tartım yöntemidir. Ölçüm yönteminde, 105°C 'de etüvde kurutulmuş numunelerin ilk olarak kuru ağırlıkları tespit edilmiş, daha sonra ise preslenmiş numunelerin yükseklik ve çapları bir kumpasla ölçülüp hacimleri bulunmuştur. Ölçümler 3 noktadan alınan değerlerin ortalamasıdır. Bulunan ağırlık ve hacim değerlerinden aşağıdaki eşitliğin de yardımıyla hacim ağırlığı (Paketleme Yoğunluğu) hesaplanmıştır.

$$pR = m_s / V_R$$

$$PR = \text{Hacim ağırlığı} / \text{cm}^3$$

$$V_R = \text{Preslenmiş numune hacmi} (\text{cm}^3)$$

$$m_k = \text{Kuru ağırlık} (\text{g})$$

İkinci yöntem olan tartım yönteminde, DİN 51056'e göre yapılan porozite tayininde olduğu gibi kura tartımları yapılan numuneler, 4 saat suda kaynatılmış ve sudan çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki su filmi nemli bir bezle alındıktan sonra havadaki ve su içindeki ağırlıkları tespit edilmiştir. Suda yapılan tartım, askı ağırlığının tespit edilmesi içindir. Yaş ve askı ağırlıkları arasındaki fark numunenin cm^3 olarak hacmine eşittir. Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak temperlenmiş numunelerin hacim ağırlığı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 14'de verilmektedir.

$$PR = (m_k / (m_d - m_A)) \cdot ps$$

$$m_k = \text{Kuru ağırlık} (\text{g})$$

$$m_d = \text{Suya doymuş ağırlık} (\text{g})$$

$$m_A = \text{Askı ağırlığı} (\text{g})$$

$$p_R = \text{Hacim ağırlığı} (\text{g/cm}^3)$$

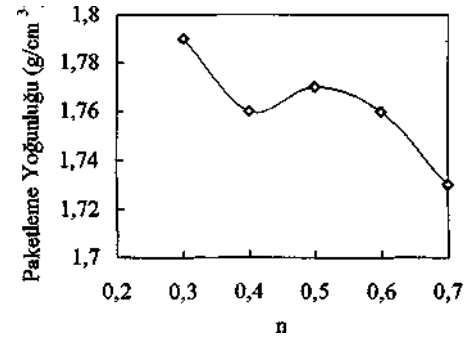
$$ps = \text{Kullanılan sıvının yoğunluğu} (\text{g/cm}^3)$$

(su için 1 g/cm^3)

Çizelge 14. Deneme Tuğlalarının Preslenmiş, Sinterlenmiş Hacim Ağırlıkları

Karışım No	A	B	C	D	E
Preslenmiş Numunenin H.A.(g/cm ³)	1.79	1.76	1.77	1.76	1.73
Sinterlenmiş Numunenin H.A.(g/cm ³)	1.87	1.92	1.89	1.86	1.75
N	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

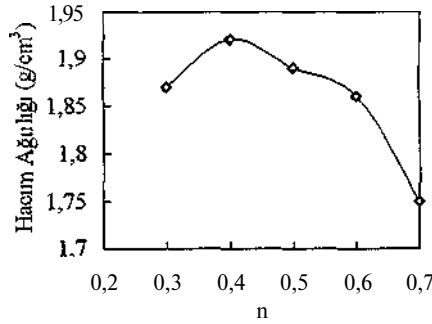
Çizelge 14'te görüldüğü gibi n değeri küçüldükçe hem preslenmiş numunelerin hacim ağırlığı, hem de sinterlenmiş numunelerin hacim ağırlıkları farkedilir derecede artmıştır. Bu durum Şekil 1'de de net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1. n ile Karakterize Edilen Tane Boyut Dağılımıyla Preslenmiş Numunelerin Hacim Ağırlığı (Paketleme Yoğunluğu) Değişimi

n katsayısının azalması ile paketleme yoğunluklarının artmasının en büyük sebebi n sayısının azalması ile malzemedeki ince boyut miktarının artmasıdır. Yani A tuğlası E tuğlasından daha ince boyutlu malzeme ile yapılmıştır (Çizelge 11). Bu da daha sıkı bir granülasyon ve paketlemeyi sağlamaktadır.

Şekil 2'de ise n katsayısının değişimi ile sinterlenmiş numunelerin hacim ağırlıkları değişimi görülmektedir.



Şekil 2 n ile karakterize edilen tane boyut dağılımıyla sinterlenmiş numunelerin hacim ağırlığı değişimi

Sinterlenmiş numuneler için de n değeri azaldıkça hacim ağırlıkları artmaktadır. Ancak burada preslenmiş numunelerde olduğu gibi tek etken ince boyut miktarının artması değildir. Çünkü tuğlaların sinterlenmesi sırasında önceki bölümlerde bahsedilen birçok oksitlenme ve bozunma reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda ise yeni yapılar oluşmaktadır. Bu da doğal olarak tuğlanın hacim ağırlığını etkilemektedir.

Sonuç olarak en yüksek hacim ağırlıkları n 'nin 0,3 ve 0,4 olduğu deneme tuğlalarında bulunmuştur.

3.2.2. Soğukta Basma Mukavemeti Tayini

Bir tuğlanın soğukta basma mukavemeti, DİN 51067'e uygun olarak oda sıcaklığında belirlenmekte ve mekanik mukavemet için bir ölçü olmaktadır

Basma mukavemeti tayininde maksimum 20 ton güce sahip ELLE AUTOTEST 3000 marka pres kullanılmıştır. Burada, daha önceden 50 mm çapında ve yaklaşık 50 mm yüksekliğinde preslenmiş ve takiben temperlenmiş standart numuneler, 200 kg/sn presleme hızı ile basınca tabi tutulmuş ve kırılma esnasındaki basınç değerleri, cihazın göstergesinden okunmuştur. Bulunan bu değerler, aşağıdaki formüle yerine konulmak suretiyle de numunelerin soğukta basma mukavemetleri saptanmıştır.

$$\text{ÖSBM} = \frac{F_{\text{max}}}{F_0}$$

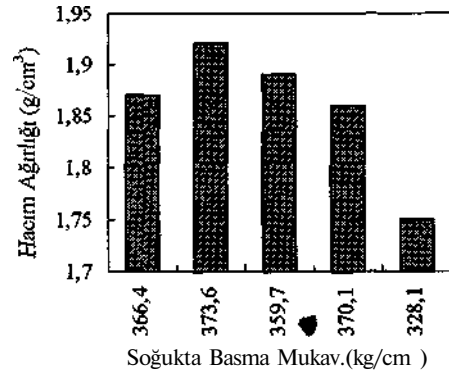
ÖSBM Soğukta basma mukavemeti (kg/cm²)

F_{max} Kırılma anındaki pres basıncı (kg)

F_0 Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin başlangıç kesiti (cm²) ve Şekil 3'te sonuçlar Çizelge 15'de görülmektedir.

Çizelge 15. Sinterlenmiş Numunelerin n değerine Bağlı Olarak Soğukta Basma Mukavemeti Değerleri

Kaşıım No	A	B	C	D	E
Soğukta Basma Mukav. (kg/cm ²)	366.4	373.6	359.7	370.1	328.1
Sinterlen. Numune H.A. (g/cm ³)	1.87	1.92	1.89	1.86	1.75
N	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7



Şekil 3. Sinterlenmiş Numunelerin Hacim Ağırlıklarına Göre Soğukta Basma Mukavemeti Değerleri

Gerek çizelge 15 ve gerekse şekil 3'ten anlaşılacağı üzere yüksek hacim ağırlıklarında yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Sonuç olarak paketleme yoğunluğu, hacim ağırlığı ve soğukta basma mukavemeti değeri en düşük olan tuğla E tuğlasıdır. Bunun sebebi E tuğlasını oluşturan kıl numunelerinin hiç bir granülasyon işlemine tabi tutulmadan kırıcıdan çıktığı hali ile deneylerde kullanılmasıdır

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, Tekirdağ-Hayrabolu bölgesinden elde edilen kil numunelerinin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyerek, optimum özellikleri sağlayan tuğlayı üretmek olmuştur. Bu amaçla killerin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir, tanımlanan killere değişik oranlarda karışımlar yapılarak optimum bileşim saptanmıştır. Son olarak da kil numunelerinin boyutları değiştirilerek, mukavemet ve hacim ağırlığı artırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise şunlardır:

1. Kil numuneleri ile yapılan kimyasal analiz sonucunda SiO_2/Al_2O_3 oranlarının, saf kaolinitin oranı olan 1,3'den çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da numunelerin kil ve kuvars karışımı olduklarını göstermektedir. Yüksek K_2O ve MgO miktarları ise illit ve montmorillonitin varlığını göstermektedir. Ateş kayıpları incelendiğinde değerler biraz yüksektir. Bunun sebebi, yüksek toprak alkali içerikleri dolayısıyla karbonat varlığı ve organik safsızlıklardır.

2. Kil numuneleri üzerinde yapılan X-ışınları incelemesi sonucunda, killerin mineralojik açıdan birbirlerine çok benzer olduğu ortaya çıkmıştır, incelemede, numunelerde yüksek miktarda kuvars, bununla birlikte kaolinit, montmorillonit, kalsit ve illit mineralleri tespit edilmiştir.

3. Kil numunelerinin DTA ve dilatometre eğrileri incelendiğinde, DTA eğrilerinde killer yaklaşık $100^\circ C$ 'de yüzey sularını, $450-600^\circ C$ 'de kristal sularını kaybetmektedirler. $900^\circ C$ civarında ise spinel oluşturmaktadırlar. Ayrıca ara sıcaklıklarda ($600-800^\circ C$) oluşan egzotermik reaksiyonlardan organik safsızlıkların varlığı anlaşılmaktadır. Dilatometre eğrilerinde ise kristal suyunu kaybedene kadar bir büzülme, daha sonra da sürekli genleşme tespit edilmiştir, bunun sebebi, özellikle 1 ve 3 nolu numunenin genleşen bir mineral (illit, mika) içermesi ve yapıda bulunan kuvarstır.

4. Yapılan mikroskobik incelemelerde 1 ve 2 nolu kilin marn ve silt karakteri taşıdığı tespit edilmiştir. 2 nolu kilde yüksek miktarda sebest silise raslanmıştır. 3 nolu kilde ise, yüksek oranda feldspat tespit edilmiştir. Bunun yanında limonit, hematit mineralleri ile mika olduğu saptanmıştır.

5. Killerin fiziksel özellikleri incelendiğinde, 1 nolu kilin plastikliğinin yüksek (%34,84) , 2 ve 3 nolu kilin ise daha düşük (%25,07-28,13) olduğu saptanmıştır. Buna bağlı olarak %7,75 kuruma küçülmesi ile en fazla büzülen 1 nolu Mİ olmuştur. 2 nolu kil %2,88 , 3 nolu kil ise %3,51 küçülmüşlerdir. Pişme küçülmeleri ise önemsizdir (< %2).

6. Eğme mukavemetleri incelendiğinde; 1 nolu kil, diğerlerine göre daha plastik olması ve daha yüksek Al_2O_3 içermesi sonucu en yüksek mukavemeti göstermiştir (124 kg/cm^2). Bunun tersine, 2 nolu kil ise düşük plastikliği ve Al_2O_3 içeriği nedeniyle en düşük mukavemeti göstermiştir ($69,12 \text{ kg/cm}^2$). 3 nolu kil de yüksek mukavemete sahiptir ($101,95 \text{ kg/cm}^2$). Pişme mukavemetleri ise sırasıyla $214,9 \text{ kg/cm}^2$, $122,0 \text{ kg/cm}^2$, $190,3 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur. Her üç kilin mukavemet değerleri de standartların üzerindedir (TS 705).

7. Kil numunelerinin su emme değerleri, pişme küçülmeleri ile kıyaslandığında bir orantı çıkmaktadır. Yani pişme küçülmesi en yüksek olan (%1,29) 1 nolu kilin su emme değeri (%14,22) en düşüktür. Tersine, pişme küçülmesi en düşük olan (%0J) 2 nolu kilin su emme değeri (%21,10) en yüksektir. 3 nolu kil ise, %0,15'lik küçülmeye karşılık %19,80 gibi bir su emme değerine sahiptir.

8. Yukarıdaki yedi maddede tanımlanmaya çalışılan 3 kil numunesinden değişik oranlarda karışımlar yapılarak, uygun kil bileşiminde optimum özellikleri sağlayan tuğla tespit edilmiştir. Yapılan her bir karışımın tüm fiziksel özellikleri (plastisite, kuruma ve pişme küçülmesi, kuru ve pişmiş mukavemet, su emme) tespit edilerek, bir optimum tuğla bulunmuştur. Buna göre optimum tuğla bileşiminde; %50 1 nolu kil,%10 2 nolu kil, %40 3 nolu kil bulunmaktadır.

Fiziksel özellikleri ise şöyledir; plastisite %31,0 , kuruma küçülmesi %5,04, pişme küçülmesi %0,1, kuru mukavemet $98,2 \text{ kg/cm}^2$, pişmiş mukavemet $193,8 \text{ kg/cm}^2$, su emme değeri %22,91'dir.

9. Çalışmanın son bölümünde optimum kil karışımına (%50 1nolu, %10 2 nolu, %40 3 nolu kil) bağlı kalınarak boyut dağılımı çalışmaları yapılmıştır. Andreasen denklemiindeki n değerine

bağlı olarak boyutları belirlenen tuğlaların paketleme yoğunlukları, hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri belirlenmiştir. Boyut dağılımları belirlenen tuğlalar (A,B,Ç,D) ile, boyut dağılımı ayarlanmamış (kırıcı çıkışı boyutlar) tuğla, (E) kıyaslanmıştır Burada n değeri küçüldükçe, malzemedeki ince boyutlu malzeme miktarı artmaktadır Tuğlaların paketleme yoğunluklarına bakıldığında, n değeri büyüdükçe yoğunluk azalmaktadır Burada en düşük paketleme yoğunluğu E tuğlasına aittir ($1,73 \text{ g/cm}^3$). Bu yoğunluk $n=0,7$ 'ye karşılık gelmektedir. En yüksek paketleme yoğunluğu ise $1,79 \text{ g/cm}^3$ ile A tuğlasına aittir Bu yoğunluk ise $n=0,3$ 'e karşılık gelmektedir.

Sinterlenmiş tuğlaların hacim ağırlıkları incelendiğinde, n değerine göre boyutları ayarlanan tuğlaların (A3,C J}) hacim ağırlıkları E tuğlasına göre çok daha yüksektir. Sinterlenmiş tuğlaların soğukta basma mukavemetleri incelendiğinde ise yine boyutları ayarlanmış tuğlaların soğukta basma mukavemetleri E tuğlasının çok üzerindedir. Sonuç olarak, boyut dağılımı çalışması yapılarak tuğlada bulunan ince malzeme miktarı artırılmıştır. Bu sayede yapıdaki boşlukların daha ıy dolması sağlanarak sıkı bir yapı elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Acarsoy A., 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Andreasen A.H.M., 1930. Kolloid 2, Bd. 50, pp. 217. 1928. Kolloidchem. Beih. Bd. 27, pp. 349-458. VDI, Forschungsh. Nr. 399.
- Burmester L. ve Angew. Z., 1924. Math. Mechan. Bd. 4, pp. 33.
- Erdinç H., 1989. Kil Jeolojisi ve Teknolojisi, U.U. Balıkesir Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı.
- Erdoğan S., 1994. İnşaat tuğlası Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Etkilerinin incelenmesi, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Metalürji Fakültesi, İstanbul.
- Gokgoz G., 1996. Karo Üretiminde Göbeklenme Problemi, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Metalürji Fakültesi, İstanbul.
- Huttig G.F, Vidmajer, Z., 1953. anorg. allg. Chem. Bd. 272, pp. 40.
- Kaytaz " Y, 1997. Seramik ve Tuğla Hammaddelerinin Hazırlanması, Ders Notu, İ.T.U. Maden Fakültesi, İstanbul.

- Manegold E. ve Solf K., 1931. Kolloid 2, Bd. 55 pp. 273.
- Manegold E., Hofmann U.K., Solf K, 1931. Kolloid 2, Bd. 56, pp. 142.
- Onoda G.Y. ve Larry, L.H., 1978. Ceramic Processing Before Firing, Wiley-Interscience Publication.
- Özen I., 1992. Magnezit-Karbon Refrakterlerde Granülasyon İncelemesi ve Antioksidan Katkısı, *Yüksek Lisans Tezi*, İT Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgen S., 1997. Geleneksel Seramiklerin Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler, Ders Notu, İ. T.O. Metalürji Fakültesi, İstanbul.
- Seramik Laboratuvarı Deney Föyü, İ.T.Ü. Metalürji Fakültesi, İstanbul.
- Tanışan HJH. ve Mete, Z., 1986. Seramik Teknolojisi ve Uygulaması C. I.
- Toton C, 1973. Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerine Katkı, *Doktora Tezi*, İ.T.U Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Ocak-Şubat-Mart 1997
- Yılmaz S.G., 1994. Kılıç (Şile-İstanbul) Killerinin Jeokimyasal Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.