

5009

GLİ TUNÇBILEK AÇIK OCAK GÜNEY PANOSU DEKAPAJ ATIĞI  
GRİ MARNLARINDAN YAPI TUĞLASI ÜRETİMİ

Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Cevher Hazırlama Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Osman ŞAN

Ağustos -1996

Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ'in YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "GLİ Tunçbilek Açık Ocak Güney Panosu Dekapaj Atığı Gri Marnlarından Yapı Tuğlası Üretimi" başlıklı bu çalışma jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

13...09...1996

Üye : Prof. Dr. Ahmet YAMIK



Üye : Doç. Dr. Hasan MANDAL



Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞAN



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 24.09/1996 gün ve  
.12...sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Doç. Dr. İ. Gökçay EDİZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada GLİ Tunçbilek açık ocak güney panosu gri marnlarından yapı tuğlası üretimi imkanları araştırılmıştır. Bu amaçla kazıdan alınan marn (yeni marn) ve iki yıl önce atık harmanına bırakılmış marn (eski marn), 1000 µm altına öğütülerek hidrolik pres ile üç farklı sıkıştırma basıncında (80, 100 ve 130 kg/cm<sup>2</sup>) şekillendirilmiş ve dört farklı sıcaklıkta (900, 950, 1000 ve 1050 °C) pişirilmiştir.

Deney sonuçları bu marnlardan standartlara uygun yapı tuğlası üretiminin, 130 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında şekillendirilerek, 2.5 °C/dak pişirme hızı ve 1000 °C'de sinterlenmesi ile mümkün olduğunu göstermiştir. Doğal şartlarda kalan marnın karbonatlı mineralleri yağmur suları ile yıkanarak bir miktar bünyeden uzaklaşmıştır. Bu malzemeden üretilen tuğlanın birim hacim ağırlığı, kazıdan yeni alınan marn'dan üretilen tuğlaya göre yaklaşık olarak %30 daha hafiftir. Ayrıca, yıkanmış marn'dan üretilen tuğla kiremit kırmızısı renge sahiptir. Kazıdan yeni alınan marn ise açık sarı renkte tuğla vermektedir.

## ABSTRACT

In this study, utilization of the tailings from open pit mines of Tunçbilek Colliery, Turkish Coal Enterprises (T.K.I), as the raw material in brick industry was researched. For this purpose, the specimen taken from excavation site (new marl) and spoil heap deposited two years ago (old marl) were prepared by grinding under the size of 1000  $\mu\text{m}$  and shaping at three different pre-compression pressures (80, 100 and 130  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) and finally sintered at four different temperatures (900, 950, 1000 and 1050°C).

The results of the experiments applied to the marl samples showed that the best building bricks will be manufactured when the samples were sintered at the temperature of 1000 °C and at the pre-compression pressure of 130  $\text{kg}/\text{cm}^2$  with the sintering rate of 2.5 °C/min. Due to the weathering conditions, some of the carbonated minerals were washed away from its original structure. Unit volume weight of the bricks made from old marl is approximately 30% lighter than the ones manufactured from newly excavated samples. Despite the colour of the brick made of washed marl is almost roof tile colour, the colour of the brick manufactured from newly excavated marl is pale yellow.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yürütülmesinde gördüğüm yakın ilgi nedeniyle tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Osman ŞAN'a teşekkür etmeyi borç bilirim. Tuğlaların şekillendirilmesinde ve kullanılan kalıpların imalatında yardımlarını esirgemeyen GLİ kalite kontrol Őefi Halil ERGUN'a, ayrıca laboratuvar imkanlarını sağlayan GLİ makina ikmal Őube müdürlüğüne, kalite kontrol laboratuvarı çalışanlarına, Selçuk Üniversitesi İnőaat Yapı Laboratuvarı görevlilerine ayrıca teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. TUĞLA-KİREMİT TOPRAKLARI .....	3
2.1. Tuğla-Kiremit Topraklarının Oluşumu .....	3
2.2. Tuğla-Kiremit (Kil) Topraklarının Aranması ve Değerlendirilmesi.....	4
2.3. Tuğla-Kiremit Topraklarının Teknolojik Özellikleri .....	6
2.4. Tuğla Çeşitleri .....	12
3. TUĞLA-KİREMİT ÜRETİM TEKNOLOJİSİ .....	16
3.1. Cevher Hazırlama .....	16
3.2. Şekillendirme.....	17
3.3. Kurutma.....	17
3.4. Pişirme.....	18
3.4.1. Killerin termik özellikleri .....	19
3.4.2. Killerin pişirilme işlemi.....	24
4. GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ (GLİ).....	25
4.1. Bölge Müdürlüğünün Yeri, Kuruluş Amacı ve Tarihçesi .....	25
4.2. Tunçbilek Havzasının Jeolojisi.....	25
4.2.1. Lokasyon .....	26

## İÇİNDEKİLER (devam)

4.2.2. Stratigrafi.....	26
4.2.3. Yapısal jeoloji.....	28
4.3. Tunçbilek Bölgesi Üretim Sistemleri .....	28
4.3.1. Açık ocak.....	29
4.3.2. Yeraltı üretimi .....	30
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
5.1. Numunenin Alınışı .....	32
5.1.1. Boyut küçültme .....	32
5.1.2. Şekillendirme.....	36
5.1.3. Kurutma.....	36
5.1.4. Pişirme.....	37
5.2. Fiziksel Testler .....	38
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	39
6.1. Eski ve Yeni Marn Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	46
6.2. Malzemenin Şekillendirme Özelliği.....	49
6.3. Yapı Tuğlası Fiziksel Özellikleri.....	49
6.4. Tuğla Özelliklerine Üretim Parametrelerinin Etkileri .....	50
6.4.1. Pişme hızı ve sıcaklığın etkisi .....	50
6.4.2. Şekillendirme basıncının etkisi.....	51
6.5. Üretilen Tuğlaların Standartlara Uygunluğu .....	51
7. SONUÇLAR.....	53
7.1. Öneriler.....	54
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kumlu ince seramik ve mikalı killerin dilatometri eğrileri.....	19
3.2. Bağlayıcı killerin DTA eğrisi.....	20
3.3. Ocaktan yeni kazılan marnın DTA eğrisi.....	22
3.4. Ocaktan iki yıl evvel kazılıp harmana atılan bozuşmuş marnın DTA eğrisi.....	23
4.1. Tunçbilek havzasına ait stamp.....	27
5.1. Eski marnın mineralojik analiz sonuçları.....	34
5.2. Yeni marnın mineralojik analiz sonuçları.....	35
5.3. Numunelerin oda içindeki görünüşü.....	37



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Tuğla-kiremit killерinin yataklanma özelliklerine ait örnek.....	6
2.2. Türkiye'de kullanılan tuğla standartları.....	7
2.3. Avrupa ülkelerinde kullanılan tuğla standartları.....	7
2.4. Konya-Sarayönü, Bahçesaray köyü topraklarının özellikleri.....	11
2.5. Killere ait kimyasal analiz sonuçları.....	12
4.1. Açık ocak dekapaj ve kömür üretim miktarları.....	30
4.2. Yeraltı kömür üretim miktarları.....	31
5.1. Yeni ve eski marnın kimyasal analiz sonuçları.....	33
5.2. Fiziksel testler ve hesaplama metodları.....	38
6.1. Yeni ve eski marn numunelerinin plastisite ve kuruma küçülmeleri.....	39
6.2. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan 80 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	40
6.3. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan 100 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	41
6.4. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan 130 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	42
6.5. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan 80 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	43
6.6. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan 100 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	44
6.7. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan 130 kg/cm <sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.....	45

## 1. GİRİŞ

Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Açık ocak güney panolarında yapılan dekapaj hafriyatının önemli miktarını marn serisi teşkil etmektedir. İkiyüz metre kalınlığa kadar ulaşabilen bu serinin harmanlara atılmasıyla bölgede suni dağlar oluşmuştur. Bu çalışmada atık marnların yapı tuğlası olarak değerlendirilme imkanları araştırılmıştır.

Tuğlalar, insanların biçim ve boyutlarını, ihtiyaçlarına uygun olarak belirleyip ürettikleri ilk yapı malzemeleridir. Tuğla üretimi ile ilgili ilk bilgiler Mısır uygarlığı dönemine rastlamaktadır. Özellikle, Mezopotamya uygarlıklarında seramiğin yapı malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Asur'lular kilden hazırladıkları çamuru doğal şartlarda kurutarak yapı malzemesi olarak kullanmışlardır. Binlerce kilometre uzunluktaki meşhur Çin Seddi, kalın iki tuğla duvar arasına toprak ve taş doldurulmak suretiyle meydana getirilmiştir. İbraniler meşhur Babil Kulesini tuğladan yapmışlardır. Bu kavimler seramik üzerine yazı yazarak insanlık tarihinin ilk yazılı belgelerini bırakmışlardır. Roma uygarlığının sembolü olan taş, bu uygarlığın son devirlerinde yerini tuğlaya bırakmıştır. Anadolu uygarlıklarında da seramik malzemeler yaygın kullanım alanı bulmuştur. Anadolu Selçuk uygarlığı, bu malzemeyi taşıyıcılık fonksiyonundan, dekorasyona kadar çok değişik şekil ve anlayışta kullanmıştır (Toydemir, 1976).

19.yüzyılda, teknolojide makina gücünün uygulanması, tuğla-kiremit üretiminde bir el sanatı olmaktan çıkarmış, bir endüstri kolu haline getirmiştir. Böylece tuğla makine gücüyle boşluklu bir yapı olarak imal edilebilme özelliği kazanmıştır. İlk olarak delikli tuğlayı 1885 yılında, Borie imal etmiştir. 1858'de Hoffman, aralıklı olarak çalışan seramik fırınlarının büyük zaman kaybına sebep olmalarını gözönüne alarak yaptığı çalışmalar neticesi, kendi adını verdiği fırını yaparak, seramik malzemelerin pişirilmesinde karşılaşılan bir çok problem de ortadan kalkmıştır.

Bu tez çalışmasında GLİ açık ocak güney panosu dekapaj atığı marnların yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ocaktan iki yıl önce kazılarak harmana atılan marn (eski marn) ve yeni kazıdan alınan marn (yeni marn) örnekler alınarak tuğlalar üretilmiştir. Daha sonra bu numuneler standart tuğla testleri olan pişme küçülmesi, birim hacim ağırlığı, su emme, basınç dayanımı, zararlı manyezi-kireç ve don testlerine tabi tutulmuştur.

Deneyle sonuçunda standartlara uygun yapı tuğlası üretiminin,  $130 \text{ kg/cm}^2$  basınçta şekillendirilerek,  $2.5^\circ\text{C/dak}$  pişirme hızında ve  $950\text{-}1000^\circ\text{C}$ 'de sinterlenmesi ile en iyi sonuçların alındığı görülmüştür.

## 2. TUĞLA-KİREMİT TOPRAKLARI

### 2.1. Tuğla-Kiremit Topraklarının Oluşumu

Kil yatakları, kaolen bakımından zengin killi şist, grovak ve feldspatça zengin kayaçların alterasyon örtüsünün aşınma ve taşınma sonucu tatlı su havzalarında çökmesinden meydana gelir. Kaolen ve kil teşekkülü tektonik ve epirojenetik hareketlerin yavaşladığı, iklimin yağışlı ve sıcak olduğu devirlerde yaygındır. Kil yatakları genellikle tersiyer yaşlıdır. Jeolojik yaş ile beraber diyajenez etkisi de arttığından killer refrakter killere, boksitlere ve şifertona dönüşerek plastisite özelliğini geniş ölçüde kaybederler. İnce seramik killeri ve bağlayıcı killer genellikle Neojen, refrakter killer Eosen, boksitler ve şifertonlar Karbonifer yaşlıdır.

Tuğla-kiremit imaline elverişli topraklar ya alterasyon örtülerinde, ya Pliokuaterner yaşlı alüvyonlarda veya Neojen havzalarının üst seviyelerinde aranır. Alterasyon örtüleri, ya yerinde teşekkül etmişlerdir veya çok az yer değiştirmeye maruz kalmışlardır. Bunların kalınlığı genellikle birkaç metredir. Bu örtülerde malzemenin ağırlığa ve tane iriliğine göre ayrılması mümkün olmadığından bu ayırım öğütme, eleme, yıkama ve dinlendirme ile sonradan sağlanmalıdır. Bu çeşit yataklar tabanda değişmemiş orijinal kayaç, üzerinde bir geçiş zonu ve en üstte kısa mesafelerden gelmiş veya yerinde teşekkül etmiş topraklar ihtiva eder. Her üç zonun kimyasal ve mineralojik bakımdan kendilerine mahsus özellikleri vardır. Bazı oksitler ve mineraller geçiş zonunda, bazıları ise alterasyon örtüsünde zenginleşmektedir. Ana kayaç grovak, kuvarsit, arkoz ve kumtaşı ise, meydana gelen topraklar killi, ana kayaç bazik ve ultrabazik ise, topraklar Fe-Mg bileşikleri ve montmorillonit mineralleri bakımından zengindir.

Tuğla-kiremit toprakları bakımından zengin olan Neojen havzalarında ve genellikle akarsu boylarında uzanan Pliokuaterner alüvyon ovalarında az da olsa bir sedimantasyon mevcuttur. Bu ovaların etüdünde, çevre kayalardan gelen malzemeler ve çok uzak mesafelerden taşınan ince taneli detritik malzemeler birbirinden ayrılmalıdır. Çevre kayalardan gelen iri taneli malzemeler genellikle periyodik olarak sel sularıyla taşınır ve ana yatak içinde adeseler oluşturur. Adeseler oluşuktan sonra aynı menşeyli ince malzeme bir bant halinde çökebilir. İri taneli adeseler havza kenarı istikametinde birbirleri ile birleşerek devamlı bir seviye haline gelirler. Eğer çevre kayalarından periyodik olarak değil de devamlı olarak sediment geliyorsa bu takdirde çok uzak mesafelerden taşınan ince taneli kumlu killerin de kalitesi bozulur ve yatağın tamamı değersiz hale gelir. Çünkü yıkama ve dinlendirme havuzlarında toprakların iri taneli elemanlardan ayrılmasına ancak zorunlu hallerde başvurulmaktadır.

Plio-kuaterner yaşlı alüvyon ovalarında ve Neojen havzalarında çökelen tuğla-kiremit topraklarına yakın çevrenin etkisi, sadece iri taneli klastik malzeme naklinden ibaret değildir.  $CO_3$ ,  $SO_4$  ve Cl gibi iyonlar, çeşitli anyonlar, katyonlar, tuzlar ve oksitlerde birlikte havzaya taşınırlar. Bunlar killerin kalitesini bozabilirler. Özellikle kalkerlerin olumsuz etkisi büyüktür. Kılcal damarlar olayı ile bazı oksitlerin ve tuzların belirli seviyelerde birikmesinde zararlıdır.

## 2.2. Tuğla-Kiremit (Kil) Topraklarının Aranması ve Değerlendirilmesi

Kil yatakları genellikle açık ocak yöntemiyle işletilir. Tuğla-kiremit topraklarının aranmasında en önemli hususlar kilin ucuz ve nakliye masraflarının az olmasıdır. Tuğla-kiremit fabrikalarına uzak olan kil yatağının ekonomik bir işletmeciliğe imkan vermesi zordur.

Tuğla-kiremit toprakları ovada arandığı zaman 3-4 m'den daha fazla derinde olmamalıdır. Çünkü bazı bölgelerde yeraltı sularının açığa çıkması ve bataklıkların teşekkül etmesi sebebiyle böyle bir işletmeye izin verilmemektedir. Yeraltı üretim metodları ekonomik olmayıp, açık işletmelerde damar kalınlığı 0.5 m'den az olmamalıdır (Seyhan, 1972).

Tuğla-kiremit topraklarında aranan diğer bir özellik ise, bu hammaddelerin herhangi bir cevher hazırlama işlemine gerek duyulmadan kullanılabilmesi imkanındır. Eğer yıkama ve dinlendirme havuzlarına ihtiyaç duyuluyorsa, bu tesislerin fabrika yanında olması daha uygundur. Aramalarda dikkat edilecek konulardan biride ocağın rezervidir. Günde birkaç yüz ton toprak işleyen bir fabrikanın 20-25 yıllık ihtiyacı için birkaç milyon ton toprak rezervi olmalıdır. Arama yapılacak sahada alüvyoner ovalar ve Neojen havzaları yoksa, alterasyon örtüsünün kalın olduğu bölgeler etüt edilmelidir. Kalkerli ve dolomitli Mesozoik formasyonların alterasyon örtüsü kuvarssız, çok plastik terra-rossa halindedir ve bol karbonatlıdır. Tuğla-kiremit üretimine elverişli topraklar daha çok paleozoik ve metamorfik masiflerin üzerinde bulunur. Alüvyon ovalarında ve Neojen havzalarında yapılacak aramalarda, sedimantasyon alanının Mesozoik formasyonlarının etkisinden uzakta kalan kısımlarında arama yapılmalıdır.

Tuğla-kiremit toprakları ince taneli kumlu kil bileşiminde olup, bunlar sedimantasyon havzasının kenarlarında fazlaca iri taneli kum ve çakıl ihtiva ederler. Bu kısımlar pişme esnasında tuğlanın çatlamasına sebep olurlar. Sedimantasyon havzasının merkezinde bulunan malzemeler ise az kumlu ve çok ince tanelidir. Bu plastik killer tuğla-kiremit üretiminde direk olarak kullanılamazlar. Çünkü bu killerin kuruma ve pişme küçülmesi fazladır ve bunun sonucu olarak çatlamalar meydana gelebilir.

Tuğla-kiremit killerinin yataklanma özelliklerine bir fikir vermesi açısından Konya-Kadınhanı Başmar köyü yakınlarından bir kesit örnek Çizelge 2.1'de verilmiştir (Seyhan, 1972).

Çizelge 2.1. Tuğla-Kiremit killерinin yataklanma özelliklerine ait örnek.

Derinlik (m)	Özellikler
0.20	Toprak örtüsü (dekapaj)
1.25	Gri renkli, kalkerli kil
0.20	İnce kum ve kumlu kil
0.70	Kahverengi, az plastik kil
0.20	Kum,çakıl
0.70	Az plastik, kahverengi kil
Taban	İri çakıllı ve kumlu seviyeler

### 2.3. Tuğla-Kiremit Topraklarının Teknolojik Özellikleri

Tuğla-kiremit topraklarında aranan özellikler ülkemizde, Türk Standardları Enstitüsünün hazırlamış olduğu "Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli Tuğla. TS.705 1985" standardında belirlenmiştir. Bu standart Çizelge 2.2'de verilmiştir. Tuğla üretiminde Avrupa'da kullanılan standartlar ise Çizelge 2.3'de görölmektedir (Seyhan, 1972).

Çizelge 2.2. Türkiye'de kullanılan tuğla standartları.

Tuğla Sınıfı	Tuğla Sembolü	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	Tuğla Delik Oranı /(%)	Su Emme (%)	Don Emniyeti (%)	
Dolu Tuğla	2.0/240	190-240	2000-1801	15	5-15	İstenir	
	2.0/180	145-180					
	2.0/120	95-120					
	1.8/220	175-220	1800-1601				
	1.8/150	120-150					
	1.8/100	80-100					
Seyrek Delikli Tuğla	1.6/220	175-220	1600-1401	20	5-15	İstenir	
	1.6/150	120-150					
	1.6/100	80-100					
	1.4/200	160-200	1400-1201				25
	1.4/120	95-120					
	1.4/80	65-80					
Az Delikli Tuğla	1.2/150	120-150	1200-1001	35	5-15	İstenir	
	1.2/100	80-100					
	1.2/60	45-60					

Çizelge 2.3. Avrupa ülkelerinde kullanılan tuğla standartları.

Ürün cinsi	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Su emme (%)	Don Emniyeti	Boyut hatası,(mm) (en, boy, yük.)
Düz kiremit	125	6-15	istenir	6-8
Tuğla	150	8	istenir	±(10/5/2,5)



Tuğla-kiremit yapımına en uygun killere illit ve kaolen cinsinden killerdir. Halloysit ve montmorillonit cinsinden killere bünyelerine su aldıklarında fazla şişme yapacağından ve buna bağlı olarak pişme küçülmeleri fazla olacağından uygun değildir.

Yapı tuğlası imali için kullanılacak kilin seçiminde kimyasal yapısından çok mekanik özellikler rol oynar. Tuğla-kiremit topraklarında istenen fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıda verilmiştir (Seyhan, 1972; Sarıöz ve Nuhoglu, 1992).

**Plastisite :** Tuğla-kiremit imalinde kullanılacak toprakların plastisite suyu %25-35 arasında bulunmalıdır. Fazla yağlı killere kururken ve pişerken çatlamalara sebep olurlar. Çok kumlu killere ise kalıplanması zordur. Az plastik killere %20 civarında su alırlar. Çok plastik killerde bu oran %26-27 olabilir.

**Kuruma Küçülmesi :** Plastik kil miktarı fazla olan topraklarda boyut küçülmesi yüksek olur. Fazla olan boyut küçülmeleri yapıda deformasyona sebep olabilir. Bu da malzemenin kalitesini bozar ve standart tuğla üretimi güçleştirir.

**Toprağın Rengi :** Pişme rengi açık olan tuğla ve kiremitlerin ticari değeri azdır. Tuğla toprakları fazla kalker içeriyorlarsa pişme rengi 900 °C'nin üstünde sarıya döner. Toprağa kırmızı rengi veren hematit ve limonit gibi demir bileşikleridir. Fakat toprakların gri, sarı ve yeşilimsi olmalarının sebebi, demirin iki dereceli bileşikler halinde olmalarındandır. Tuğla oksitleyici bir fırında pişirildiklerinde, kiremit renginde olur. Toprakların sarı, yeşilimsi ve mavi renkleri  $TiO_2$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  gibi bileşiklerden gelebilir. Kahverengi olması ise mangan bileşiklerine veya toprakta bulunan organiklere bağlı olabilir. Toprağın rengi ile pişme rengi arasında her ne kadar kesin bir bağlantı olmasada, hammaddenin %5'in üzerinde demir bileşikleri içermesi kiremit rengin elde edilmesi için gereklidir.

**Tane İnceliği :** Teknolojik etüdlerde 3 mm ve 0.2 mm'den iri tanelerin yüzdesi tespit edilir. Eğer 3 mm'den büyük tanelerin miktarı %1 den fazla ise pişme sırasında çatlama görülebilir. Bunun için muhtelif yollarla boyutlarının küçültülmesi gereklidir.

**Kalker (CaCO<sub>3</sub>) İçeriği :** Kalker analizi için arazide yapılan ilk işlem, numuneye asit damlatmaktır. Köpürme oranına göre kabaca kireç içeriği hakkında fikir edinilebilir. Kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri her türlü zeminde çok bulunan malzemelerdir. Kalker toprağın sinterleşme derecelerini birbirlerine yaklaştırdığından bol kireç bulunması pişirme tekniğini güçleştirir. Ayrıca sağlamlığı ve sinterleşmeyi artırmak için pişme ısı yükseltildiğinde, kalkerin etkisiyle kiremit renk kaybolur. Fazla kireç içeren topraklardan yapılan tuğla ve kiremitlerin porozitesi ve su emme özelliği artar, dona dayanımları ise azalır.

İnce öğütülmüş ve kilin bünyesine iyice karışmış kalker, genellikle fazla zararlı değildir. Kalker miktarı arttığında pişmiş tuğla sarımsı bir renk alır ve pişme sırasında tuğlalarda şekil bozuklukları meydana gelir. Büyük granüller halinde kalsiyum tuzları mamül tuğlanın kullanımında, havanın nemini emip kalsiyum hidroksit şekline dönüşürken hacimce genişlemeye yol açar ve tuğlada özellikle yüzeyde çatlamalara sebep olabilir. Pişmiş toprak malzemesi için kullanılacak killerde bulunan ince öğütülmüş kalker miktarı %8'i geçmemelidir.

**Kuru Mukavemet :** Şekil verilmiş ve kurutulmuş kilin, belirli mukavemete sahip olması istenir. Tuğlalarda bu değer malzemenin fırınlara taşınması ve kalıplara konulması sırasında bozulmayacak değerlerde olması arzu edilir.

**Sıcaklıkta Ergime Özelliği :** Tuğla yapımında kullanılan killer 600-900 °C'de pişerler. Az su emen ve suyun etkisiyle yumuşamayan, sağlam ve az gözenekli bir

yapıya sahip olmalıdır. Pişmiş tuğla özelliğine göre standartlardaki basınç değerine kırılmadan dayanabilmeli ve su emme özelliği %10-15 civarında olmalıdır.

**Kum :** Tuğla yapımında kullanılacak topraklarda doğal olarak bulunan kum çok ince tanelidir ve tane boyutları 10-40 µm arasındadır. Kum kilin plastisitesini düşürerek, kuruma ve pişme sırasında meydana gelen hacimsel küçülmeleri azaltır. Doğal yapıda plastik özellik fazla olursa boyut küçülmesi fazla olur. Bu da yapıda deformasyonlara sebep olabilir. Malzemenin plastisitesi fazla olduğu durumlarda dışarıdan kum, şamot vs. dolgu maddeleri ilave edilebilir.

**Demir :** Bazen demir, sülfat parçacıkları halinde bulunmakla birlikte çoğunlukla demiroksit ve hidratları şeklinde bulunup kilin bünyesine dağılmıştır. Pişmiş toprak malzemeye kırmızı rengini veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Malzemede bulunan fazla demir veya toplanmış olarak bulunacak demirsülfat ve karbonatlar malzemenin pişirilmesi sırasında şişme ve çatlamalara sebep olur. Ayrıca tuğlaların yüzeylerinde çiçeklenme, yağmur suyu ile akan ve boyayan lekeler yapabilir. Bu demirsülfat ve karbonatları olabildiği kadar az bulunmalı, toplam demiroksit ve hidratları da %8-10 oranını geçmemesi gerekir.

**Organik Maddeler :** Killerin mavi, gri, yeşil ve siyah renklerde bulunması çoğunlukla içlerindeki organik maddelere bağlıdır. Pişme sırasında bu organik maddeler genellikle 400 °C'den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri bırakır. Hammaddede organik malzeme miktarı arttığında, tuğlanın görünümü bozulur ve mukavemeti azalır.

**Suda Eriyen Tuzlar :** Bunlar genellikle sülfat ve klorür tuzlarıdır. İyi kalitede tuğla-kiremit imali için bu tuzların %1,5 altında olması gereklidir. Eğer fazla miktarda bulunursa tuğlanın yüzeyinde çiçeklenme ve dökülmelere yol açar.

**Diğer Safsızlıklar :** Killerde suda eriyen tuzlar, mikalar, kükürt, jips, pirit vb. az miktarda bulunmalıdır. Aksi takdirde tuğlalar pişerken çatlar ve çiçeklenirler. Dona ve basınça karşı mukavemetleri azalır. Ayrıca su geçirgenlikleri de artar.

Tuğla-kiremit topraklarında aranan şartlara bir misal olmak üzere, Konya bölgesinden alınmış bir numunenin analiz raporu Çizelge 2.4'de verilmiştir (Seyhan, 1972).

Ayrıca tuğla-kiremit imalinde kullanılan killerin kimyasal bileşimine ait bir örnek Çizelge 2.5'de görülmektedir (Sarız ve Nuhoglu, 1992).

Çizelge 2.4. Konya-Sarayönü, Bahçesaray köyü topraklarının özellikleri.

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Test Sonuçları</b>
Toprağın rengi	Kahverengi
CaCO <sub>3</sub> içeriği	Eser
3 mm den iri taneler	%0,52
0,2 mm den iri taneler	%4
İri tanelerin cinsi	Mika, şist, az kuvars, az kalsit
Toprağın plastisitesi	Orta
Plastisite suyu	%28
Kalıplama özelliği	Normal
Gölgede kuruma durumu	Normal
Kuruma küçülmesi	%8-9
Pişme derecesi	800-1100 °C

Çizelge 2.5. Killere ait kimyasal analiz sonuçları.

Bileşikler	% Miktar
$Al_2O_3$	16.3 - 20.6
$SiO_2$	42.7 - 64.5
$TiO_2$	0.95 - 1.2
$Fe_2O_3$	2.8 - 7.0
CaO	0.7 - 9.5
MgO	6.2 - 0.8
$K_2O$	1.7 - 3.6
$Na_2O$	0.1 - 0.8
$SO_3$	0.03
$CO_2$	5.9 - 6.3
Karbonatlardan kayıplar	6.3 - 1.5

#### 2.4. Tuğla Çeşitleri

Yapı malzemeleri ve kullanılma yerleri dikkate alınarak tuğlalar genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- 1-Adi el tuğlası
- 2-Adi makine tuğlası,
- 3-Delikli tuğlalar,
- 4-Prese tuğlalar,
- 5-Hafif tuğlalar,
- 6-Klinker tuğlalar,
- 7-Kaldırım tuğlaları,
- 8-Ateşe dayanıklı tuğlalar.
  - a- Alümin- şamot tuğla
  - b- Dinas silisyum-silika tuğla

c- Manyezit tuğla

d- Kromlu ateş tuğla

1- Adi El Tuğlası : Elde veya makinada yapılmış kalıplar ile üretilir. Makina ile yapılan kalıplama, elde yapılanaya göre daha iyi sonuç verir. Bundan dolayı daha dayanıklıdır. Bu tuğlalar basit fırınlarda 600-800 °C de pişirilir. Basınç dayanımları 40-60 kg/cm<sup>2</sup> dir. Harman tuğlası olarakta adlandırılır. Harman tuğlalarında standart boyut ve homojen pişirme söz konusu olmadığından zayıf fazladır. TS.704 standardında harman tuğlası değerleri verilmiştir (TS.704 EK.1 de verilmiştir).

2- Adi Makina Tuğlası : Tüm işlemler makine ile yapılır ve sabit fırınlarda 800 °C pişirilir. Basınç dayanımları 80-100 kg/cm<sup>2</sup> dir. Dolu tuğlanın ısı iletkenliği, delikliye nazaran daha fazladır.

3- Delikli Tuğlalar : Tuğla içinde kare, dikdörtgen veya daire şeklinde delikler açılır. Boyuna delikler kare ve dikdörtgen, enine delikler daire kesitlidir. Dolu tuğlalara göre daha dayanıksızdır. Fakat delikli tuğlaların ısı iletkenliği doluya göre daha azdır. Genellikle hafif olması gereken duvarlarda ve bölme duvarların örülmesinde kullanılır.

4- Prese Tuğlalar : Normal dolu tuğla şekline getirilen çığ kil hamurunun bir miktar kurutulup preslenecek kıvama gelince, ikinci bir defa presle sıkıştırılması ve tekrar kurutulup pişirilmesi sonucu elde edilen tuğlalardır. Bu tuğlanın dayanımı diğerlerine nazaran daha fazladır. Yaklaşık 1000 °C civarında pişirilir ve mukavemetleri 150 kg/cm<sup>2</sup> olmaktadır. Su emme miktarı %8-10 civarındadır. Üretimlerinde özellik sebebiyle daha pahalıdır. Sıvanmayacak duvarlarda dekoratif amaçla kullanılır.

5- Hafif Tuğlalar : Bu tür tuğlaların üretiminde çamur hazırlanırken içine odun talaşı, meşe kabuğu veya kömür tozu gibi yanıcı maddeler karıştırılır. Tuğla piştiği zaman, yapı içinde yanarak boşluklar meydana getirir. Hafif olduğu için dayanımları azdır. Ses ve ısı geçirimleri düşük olduğundan bölme duvarlarda kullanılır.

6- Klinker Tuğlalar : Yapımları prese tuğlalara benzer, fakat pişirilmesindeki sıcaklık derecesi daha yüksektir. Böylece daha iyi sinterlenme sağlanarak mukavemet artırılır. Su emme değerleri %2-3 arasındadır. Bina kaplamalarında kullanılırlar.

7- Kaldırım Tuğlaları : Kil ve şist karışımlarının 1100 °C'de pişirilmesiyle elde edilir. Açık veya koyu sarı renklidir. 150 kg/cm<sup>2</sup> basınçta dayanıklıdır. Aşınmaya ve çarpmaya karşı da dayanımları yüksektir. Sert, yoğun ve geçirimsizdirler. Kolon, kemer ve ayakların yapımında, fabrika baca inşaatı, yollar, garlar ve rıhtımlarda kullanılır.

8- Ateşe Dayanıklı Tuğlalar : Bileşiminde serbest silisyum ve alüminyum oksidi çok olan tuğla topraklarından imal edilirler. Ateş etkisi bulunan yapı elemanlarında, fabrikaların ocaklarında ve bacalarında kullanılır. 1500 °C'de erimez ve hacimlerini değiştirmezler. Bileşimlerine göre dört çeşittir.

a- Alümin-Şamot Tuğla : %58-70 Şamot, %42-30 ham kil karışımı ile yapılan tuğladır. Yapılış ve bileşimlerine göre ergitme fırınlarının iç cidarlarında, yüksek ısılu fırınlarda, dökümhane ocak ve potalarında, haddehane tav fırınlarında yoğun olarak kullanılırlar. İçinde %50-85 oranında kil bulunanlar çimento sinter fırınlarında kullanılırlar. 1750 °C'ye kadar erimeden dayanabilirler.

b- Dinas Silisyum-Silika Tuğla : Bu tuğlalar adını, içinde yüksek oranda silisyum oksit bulunan kuvars (%98) ile birleştirici malzeme olarak kullanılan kireçten (%2) alırlar. Bu tuğlaların özelliklerini hammaddenin çeşidi, tane iriliği, pişirme

sıcaklığı etkiler. Yüksek ısılarda pişirilen silika tuğlaları, çok yüksek ısılara (1730 °C'ye kadar) dayanabilir.

c- Manyezit Tuğlalar : Manyezitin özel olarak pişirilmesiyle elde edilir. Bileşimindeki FeO yapıştırıcı bir madde olup, kahverengimsi siyah renk almasına neden olur. 1790 °C'ye kadar dayanır. 2000 °C'nin altındaki sıcaklıklarda hacimlerini değiştirmezler. Demirçelik fırınları, elektrik fırınları ve ham demir fırınlarında kullanılırlar.

d- Kromlu Ateş Tuğlası : Kromitten yapılarak, çelik sanayisinde kullanılırlar



### 3. TUĞLA-KİREMİT ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Tuğla üretiminde hammaddenin hazırlanması boyut küçültme ile başlar, daha sonra şekillendirme ile devam eder, kurutma ve pişirme ile ürün haline dönüşür.

#### 3.1. Cevher Hazırlama

Ocaklardan çıkarılan kilin açık havada uzun müddet bekletilmesi ve atmosfer şartlarına maruz bırakılması kilin kolay işlenebilmesine neden olur. Devamlı bir şekilde donma-çözülme, ıslanma ve kuruma kilin bünyesinin gevşemesine yol açar, böylece bünye sularının kaybolması ve bazı tuzların eriyerek dışarıya atılması sağlanır.

Kaolen ve killerin yıkanarak içinde bulunan yabancı maddelerden arındırılması yaygın olarak kullanılan bir cevher hazırlama yöntemidir. Yıkama işlemi ocakta veya özel tesislerde yapılabilir. Kaolen süspansiyonu manyetik separatörlerden geçirilerek içindeki demir bileşiklerinden temizlenir (Seyhan, 1972).

Ocaktan sağlanan iri parçaların karıştırıcıda çözülüp dağılması çok zor olduğundan kırma ve öğütmeye ihtiyaç duyulur. Hammadde silosunda yeterli bir süre bekletilerek kurutulan kil blokları kırıcıya beslendikten sonra değirmende öğütülerek istenilen inceliğe getirilir. Dinlendirme havuzlarında dinlenmiş tuğla-kiremit toprakları kolay bir şekilde işlenir. Kilin mineral yapısına ve jeolojik oluşumuna bağlı olarak iri bloklu veya toz halinde üretilebilir.

### 3.2. Şekillendirme

Cevher hazırlama sonrası hammaddelere kuru presleme, plastik şekillendirme ve döküm yöntemlerinden biri uygulanır. Kuru preslemede önce az miktarda sıkıştırma ile hammaddenin içindeki hava boşaltılır. Daha sonra basınç artırılarak şekillendirme tamamlanır. Bazı killerin pişme küçülmesi fazla olur. Pişme küçülmesini ayarlamak için şamot ilavesi yapılır. Plastik şekillendirmede malzemenin çok dikkatli bir şekilde karıştırılarak homojen hale gelmesi ve daha sonra pres ile sıkıştırılması gereklidir (Seyhan, 1972).

### 3.3. Kurutma

Hammaddeyi şekillendirmede kullanılan suyun kurutma işlemi ile tekrar uzaklaştırılması gereklidir. Bu plastisite suyu dışında (ilave edilen su) absorpsiyon suyu, gözenek suyu ve molekül suyu da kurutma ve pişirme işlemlerini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle çeşitli kil minerallerine göre suyun nasıl bağlı olduğu ve kurutma sırasında hammaddeden hangi sıraya göre ayrıldığı bilinmelidir. Killerin içinde genellikle %1-5 oranında bulunan absorpsiyon suyunun uzaklaşması 110 °C'de başlar ve 250 °C'de sona erer, 80 °C'den sonra kuru mukavemet artar, 250 °C'nin üzerinde kilin su ile plastik olma özelliği tamamen kaybolur (Seyhan, 1972).

Kuruma ve buna bağlı kuruma küçülmesinin tabaka tabaka içeriye doğru ilerlemesi, yarı mamül içinde bazı gerilimlerin ortaya çıkmasına neden olur. Bazen bu gerilimler çatlamalara da sebebiyet verirler. Çatlama tehlikesi kilin ince taneli oluşuna ve suyun difüzyon (buharlaşıma) hızına bağlıdır. Yüksek plastik killerde bu çatlama tehlikesi her zaman vardır. Kil içerisinde %2-4 oranında bulunan hava boşluklarında, kılcal damarların kurumaması sonucu mukavemet azalması meydana gelir. İçerde bulunan bu hava kabarcıkları malzemenin genişlemesine ve dengesiz bir şekilde kurummasına yol açabilir.

Kurutma prosesinin en önemli sorunlarından biri, kile bağlı bulunan suların belli bir sıra ile uzaklaştırılması olayıdır. Bu sıra bozulduğu takdirde, su en kısa yoldan uzaklaşma eğilimi gösterdiği için, yapıda gerilimleri artırır ve neticede imal edilen maddenin çatlamasına sebebiyet verir. Bunu önlemek için kurutma odalarına önce sıcak su buharı verilmeli, içten ve dıştan aynı derecede ısınma sağlandıktan sonra su buharı tedricen azaltılmalıdır. Kurutma işlemi için gerekli olan süre hammaddenin cinsine, tuğlanın boyutlarına ve tesisin özelliğine göre birkaç saat ile birkaç gün arasında değişir. Kurutma zayıtının çok olması, kurutma süresinin az olmasına bağlıdır.

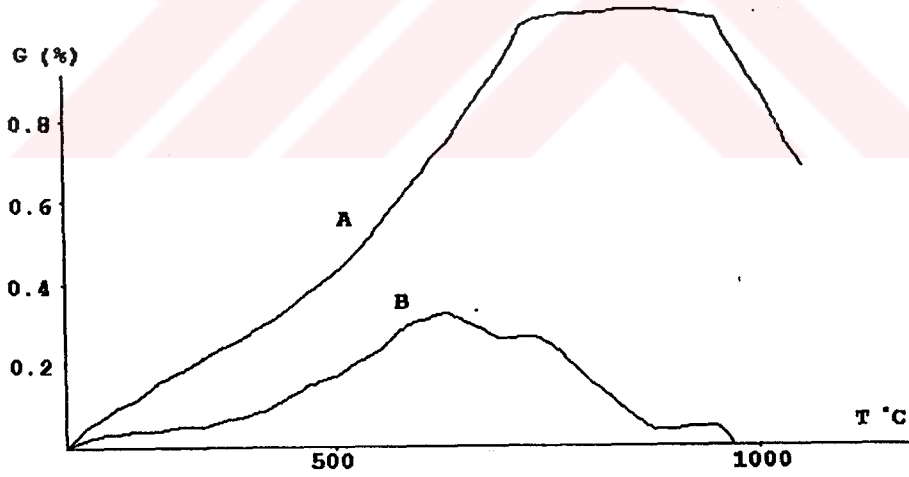
#### 3.4. Pişirme

Killerin seramikte kullanılmalarının sebebi, şekillendirme imkanı sağlamalarının yanısıra malzemeye kuru ve pişmiş mukavemet sağlamalarıdır. Şekillenme ve sinterleşme özelliğini beraberce gösteren başka bir mineral yoktur. Pişme sırasında bütün kil minerallerinin gösterdikleri termik reaksiyonlar birbirinden farklıdır. Bu farklılık çok dikkatli bir şekilde göz önüne alınmalıdır. Çünlü üretilen malzemenin sır ve çanak kısımları arasındaki gerilim farkından dolayı oluşan zayıtlar önlenabilir. Ayrıca fırın atmosferinin oksitleyici ve redükleyici ortamlarda tutulmasındaki zorluklardan doğan renk bozukluğuyla ilgili zayıtlarda önlenabilir. Kurumaya karşı son derece hassas olan ince taneli killerin fırınlarda 300-400 °C'ye kadar yavaş ve dikkatli pişirilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle pişme sırasında dış yüzeylerin erken sinterleşerek gözenekleri tıkaması gibi etkenlerden dolayı oluşan zayıtlar önlenabilir. Kil içindeki organik maddeler, eritici elemanlar ve kalker yüzdeleri seramik malzemenin pişirilmesinde önemli olmaktadır.

### 3.4.1. Killerin termik özellikleri

Killerin pişmesi sırasında kendi bünyelerinde meydana gelen endoterm ve ekzoterm reaksiyonlar Diferansiyel Termik Analiz (DTA) yöntemi ile tespit edilir. Pişme sırasında meydana gelen hacim değişmelerini dilatometri analizleri ile grafiksel olarak göstermek mümkündür. Dilatometri ve DTA eğrileri killerin mineralojik bileşimleri hakkında bir fikir verdikleri gibi, onların hangi dereceler arasında kurumaya ve pişmeye karşı hassas olduklarında gösterirler.

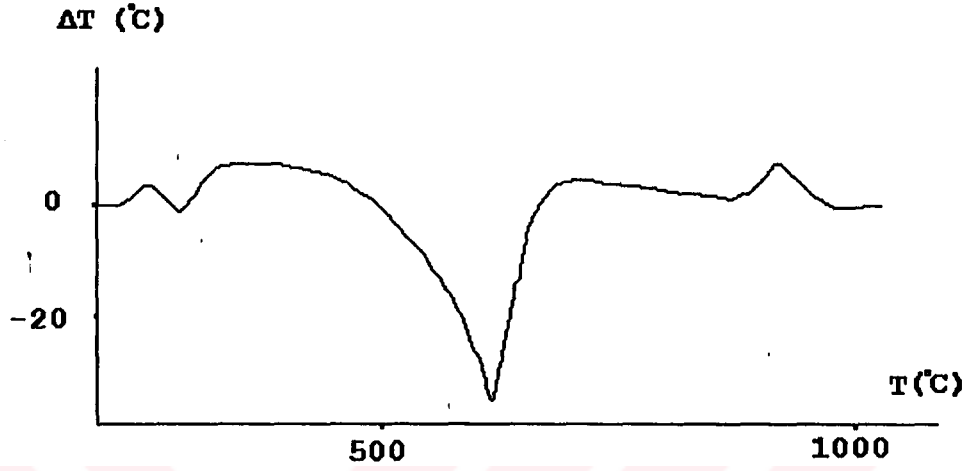
Aşağıda örnek olarak verilen kumlu ince seramik killeri ve mikalı killerin pişirme sırasında gösterdikleri termik reaksiyonlar DTA ve dilatometri eğrileri ile gösterilmiştir (Seyhan,1972).



A- Kumlu ince seramik killeri

B- Mikalı killer

Şekil 3.1. Kumlu ince seramik ve mikalı killerin dilatometri eğrileri.



Şekil 3.2. Bağlayıcı killerin DTA eğrisi.

Şekil 3.1'de kumlu ince seramik killer (az plastik bol kuarşlı ince seramik killer), 600 °C'ye kadar düzenli bir genişlemeye maruz kaldıkları görülmektedir. Bu dereceden sonra  $\beta$  kuvarsın  $\alpha$  kuarsa dönüşmesi sebebiyle genişleme artmaktadır. Bu tip killerin düşük sıcaklıklarda anomali göstermemeleri, yüksek kuvars ve az illit içermelerinin bir sonucudur. Dilatometri eğrisinin 600-650 °C'den itibaren yatay şekilde devam etmesi, kaolinitin molekül kafesinin parçalanarak kristal suyunun uzaklaşmasını ve kristal fazdan amorf faza geçişini göstermektedir. Eğrinin 900 °C'den sonraki düşme göstermesi ise azda olsa mikaların kristal yapısının bozulması ve amorf fazda bulunan kaolinitte, mullit kristallerinin oluşması ile izah edilebilir. Seramik bünyelerde çok ve küçük sayıda mullit kristali oluşursa, sinterleşme ve pişirme o derece daha iyi olur.

İllit ve kil mikası bakımından zengin olan plastik killerin termik özellikleri ise aynı şekilde mikalı killer eğrisinde verilmiştir. Buna göre mikalı kil ve kaolinit minerallerinin kristal yapılarını kaybetmeleri 600 °C'den, illit ve mikaların molekül kafeslerinin parçalanması ise 900 °C'den sonra olur.

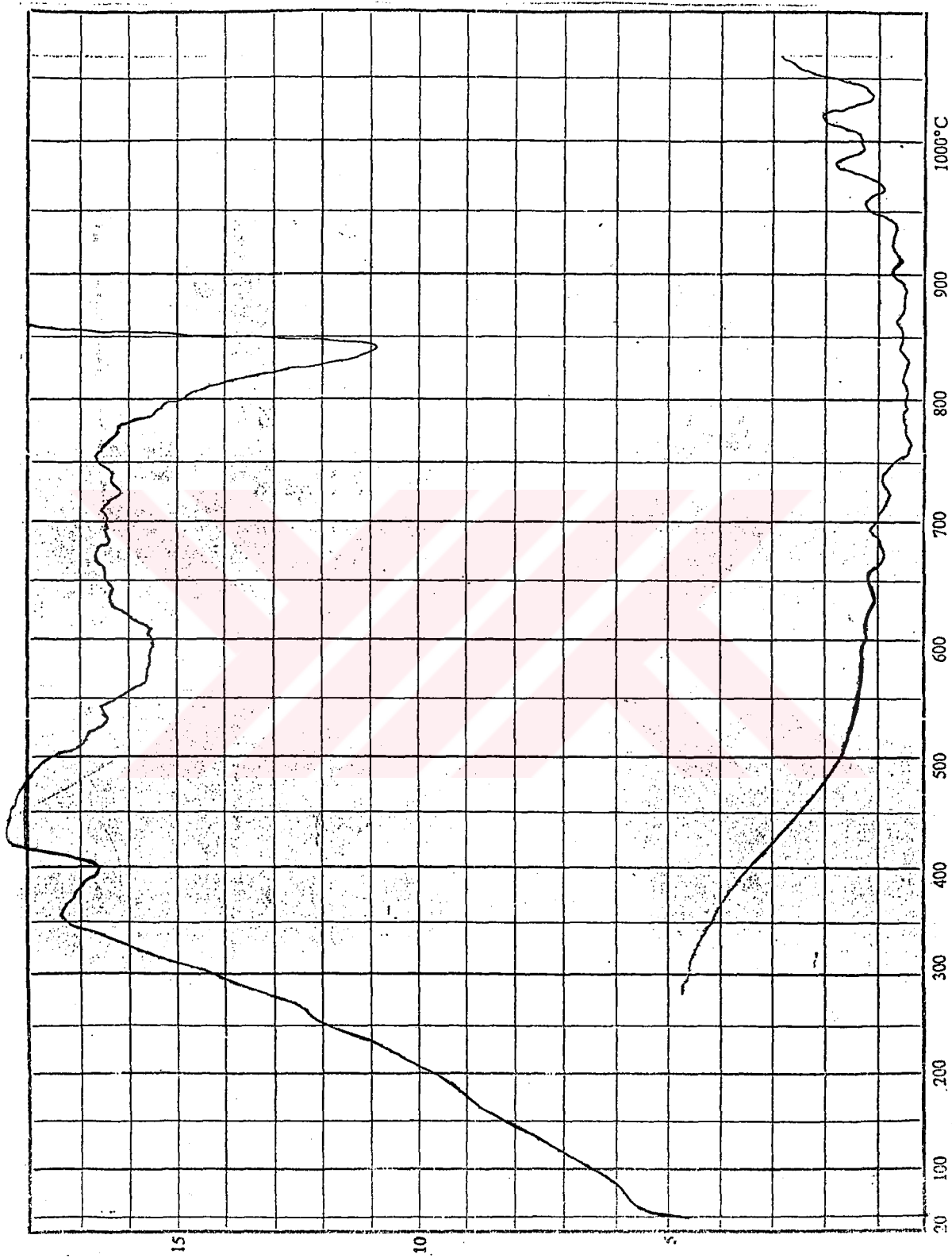
Şekil 3.2'de bağlayıcı killerin DTA eğrisi verilmiştir. Bu killerde 100-200 °C arasında görülen endotermik reaksiyon higroskopik suyun uzaklaşmasından dolayı meydana gelmektedir. Ayrıca, bu grafikten organik maddelerin 300-400 °C'de yandığı, kaolinitin 500-600 °C'de molekül yapısının bozulup kaybolduğu ve 800-1000 °C'de yeniden kristallenmenin başladığı söylenebilir.

Killer içerisinde kuvarsın ince taneli ve homojen dağılmış olması sinterleşmeyi kolaylaştırır ve çabuklaştırır. Bu tip killer ince seramik sanayii için çok uygun killerdir. İri taneli kuvars ihtiva eden killer ise refrakter sanayii için uygundur. Eğer kil, illit ve montmorillonit grubu mineraller ihtiva ediyorsa, pişirme sırasında erken sinterleşme ve erken deformasyon görülür.

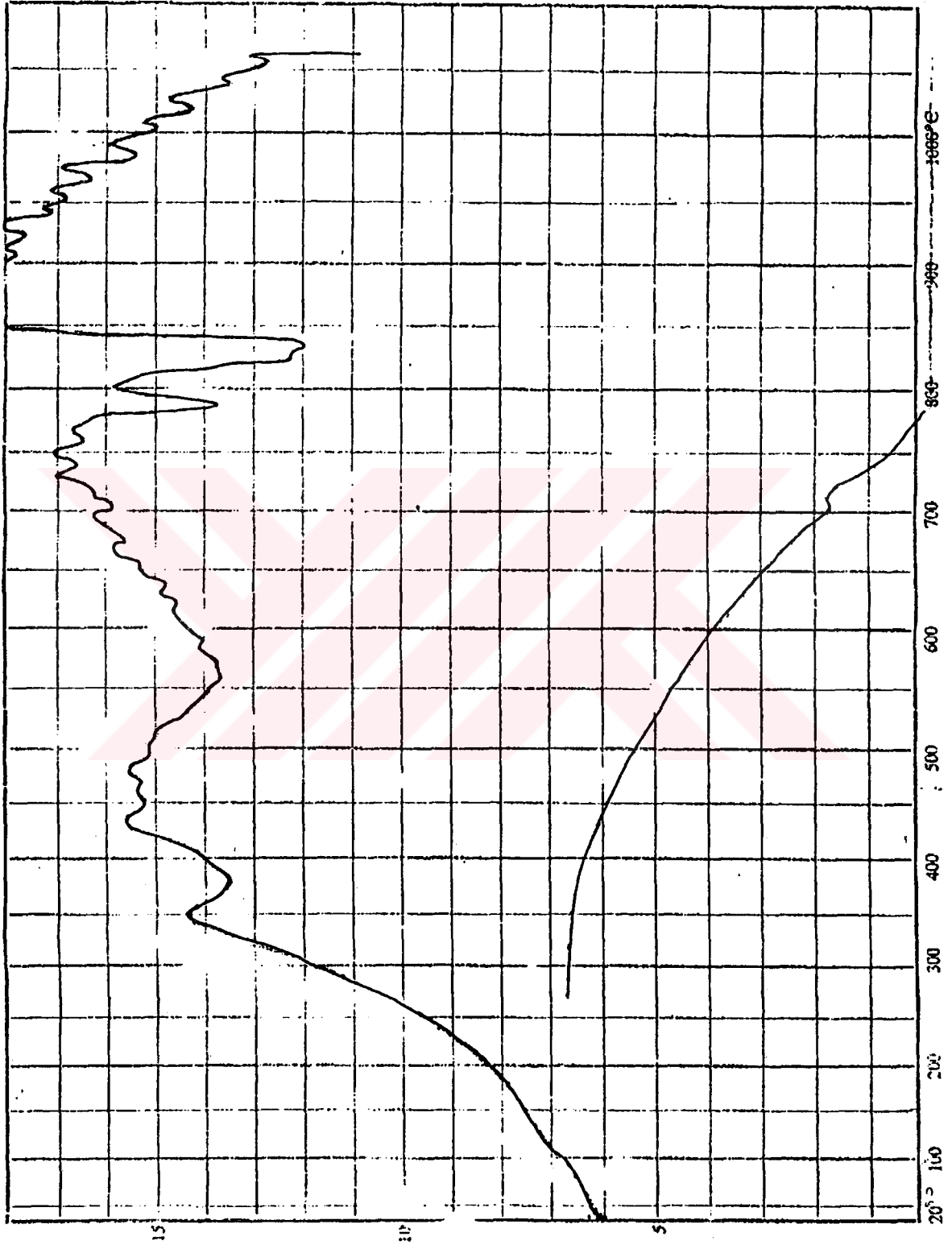
Pişme küçülmesi, molekül kafesinin parçalanması ve porozitenin azalmasının doğal bir sonucudur. Porozitenin en düşük değerine ulaşması, sinterleşmenin tamamlandığını gösterir.

Tuğla-kiremit topraklarında bol miktarda bulunan kalker, 900 °C'de reaksiyona girer ve 1100 °C'de anortite dönüşür. Killerin içinde bulunan maddelerin hangi oranda buldukları, hangi sıcaklıktan itibaren müllit oluşumunu ve neticede sinterleşmeyi engelledikleri bilinmelidir. Ayrıca, alkali ihtiva eden killerin iyi sinterleştiği, anortit oluşturamayan toprak alkalilerin ise, sinterleşme ve erime dereceleri arasındaki mesafeyi azaltarak fırın zaiyatını çoğalttığı söylenebilir (Seyhan,1972).

Bu çalışmada kullanılan tuğla hammaddeleri; ocaktan iki yıl önce harmana atılan ve doğal şartların etkisiyle bozuşmuş marn ile (eski marn), yeni kazıdan alınan marnın DTA eğrileri Şekil 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ocaktan yeni kazılan marmarın DTA eğrisi



Şekil 3.4. Ocaktan iki yıl önce kazılıp harmana atılan bozuşmuş marmarın DTA eğrisi



Şekil 3.3'de görülen yeni marnın DTA eğrisinden, organik maddelerin 325-425 °C'de yandığı, 525-625 °C'de marnın molekül yapısının bozulup kaybolduğu, 750-900 °C'de ise yeniden kristallenmenin başladığı söylenebilir. Şekil 3.4'de eski marnın DTA eğrisinde ise organik maddelerin 325-425 °C'de yandığı, 500-600 °C'de marnın molekül yapısının bozulup kaybolduğu, 750-930°C'de yeniden kristallenmenin başlayışı görülmektedir. Bu iki marn çeşidi, birbirine yakın DTA eğrileri vermektedir. Yalnızca eski marn da kristallenme aşamasında bir farklılık görülmektedir.

#### 3.4.2. Kilerin pişirilme işlemi

Şekillendirilmiş ürünün pişirilmesinde fırınlar kullanılır. Tuğla üretiminde iki türlü pişirme sistemi vardır, bunlar kamara odalar ve hoffman sistemidir. Kamaralar sisteminde, kamara şeklindeki odalarda tuğlalar pişmektedir. Pişme ve soğuma uzun sürer. Kapasite düşük, enerji kayıpları fazladır. Hoffman sisteminde, yakma olayı bir eksen etrafında toplanmıştır. Tuğlalar fırın içindeki odalara istif edilmekte ve ağızları örülmektedir. Kamaranın üzerindeki deliklerden sobalara toz kömür püskürtülerek yakılma sağlanmaktadır. Bir yandan pişirme tamamlanırken diğer yanda soğuyan bölümlerden boşaltma yapılmaktadır. Bu sistemde enerji kaybı fazladır. Bunun nedeni, fırın ısısının 1000 °C civarından, 50 °C civarına düşürülmesidir. Diğer pişirme türü ise tünel sistemidir. Tünel şeklindeki fırının bir ucundan giren tuğlalar, ilk önce pişirilmekte daha sonra soğutulmaktadır. Tuğla doldurulmuş arabalar fırın içerisinde ilerleyerek pişirilmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı, enerji kayıplarının minimuma düşürülmüş olması, hemde süreklilik arzemesidir. Sadece bakım ve ilk yatırım masrafları yüksektir.

#### 4. GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ (GLİ)

Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) 1940 yılında Etibank'a bağlı olarak kurulmuş daha sonra 1957'de yeni kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri kurumuna (TKİ) devredilmiştir.

##### 4.1. Bölge Müdürlüğünün Yeri, Kuruluş Amacı ve Tarihçesi

Kuruluş aşamasında Balıkesir'de olan işletme merkezi, 2.Dünya savaşı sırasında Tavşanlı'ya taşınmıştır. Müdürlük Tunçbilek bölgesinde faaliyetini sürdürmektedir. Tunçbilek bölgesi Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya ise 63 km uzaklıktadır.

Türkiye'nin bilinen linyit rezervlerinin en kalitelisine sahip olan GLİ, ülkemizde linyit üreten kuruluşların en büyüğüdür. İşletme üretime başladığı 1940 yılında 149.256 ton/yıl olan satılabilir linyit üretimi 1960 yılında 1.698.415 ton, 1980'de 8.746.692 ton, 1985'de 11.172.673 ton ve Seyitömer bölgesi ayrıldığı zaman 1992'de 5.873.000 ton, 1995'de 5.500.000 ton/yıl üretim düzeyine ulaşmıştır.

##### 4.2. Tunçbilek Havzasının Jeolojisi

Tunçbilek havzasının jeolojisi lokasyon, stratigrafi ve yapısal jeoloji olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

#### 4.2.1. Lokasyon

Tunçbilek kömür havzası, Kütahya ili sınırları içinde, Tavşanlı ilçesinin 10 km kuzeybatısında yer almaktadır. Karasal iklim hakimdir. Yükselti 650-1050 m civarındadır.

#### 4.2.2. Stratigrafi

Havzadaki sedimanlar karasal Neojen ve Kuvaterner oluşumludur. Havzada en yaşlı birim olarak Paleozoyik zamanlı bu birimler üzerine, Mesozoik yaşlı serpantinleşmiş ultrabazik kayalar gelir. Tüm bu birimler üzerine diskordan olarak gelen Neojen, Miyosen (Tunçbilek serisi) ve Pliyosen ile temsil edilmektedir. Bu Miyosen serisi temelde kumtaşı, onun üstündede marn bulunmaktadır. Marn birimi konkordan olarak gelmektedir.

Marn, havzanın güneyinde özellikle çok geniş bir alana yayılmaktadır. Genellikle marn, killi marn, siltli marn, silttaşı, miltaşı aralanmasından oluşur. Rengi kahvemsi, krem-grimsi, krem renklidir. Ayrıca belirli tabakalanma gösterir (Acar ve Divan, 1976). Havzaya ait stamp Şekil 4.1'de verilmiştir.

Derinlik	Tabaka Kalınlığı	Tabaka Cinsi	
8.00	8.00	Toprak	
22.00	14.00	Silisli Kalker	
26.50	4.50	Yeşil Gre	
27.00	0.50	Silex	
29.00	2.00	Yeşil Gre	
34.25	5.25	Silisli Kalker	
37.50	3.25	Yeşil ve Gri Gre	
85.50	48.00	Yer yer Silex ve Gre	
86.75	1.25	Silex	
125.75	39.00	Silex Marn	
302.25	176.50	Gri Marn	
305.30	3.25	Killi Gri Marn	
315.20	9.50	Gri Marn	
331.90	16.90	Kil Taşı K.Rengi	
336.50	4.60	Kömür	
336.65	0.15	Kil Taşı	
337.75	0.35	Kömür	
337.75	0.75	Kil Taşı	
338.65	0.90	Kömür	
339.30	0.65	Kil Taşı	
340.85	1.55	Kömür	
346.00	5.15	Kil Taşı	

Şekil 4.1. Tunçbilek havzasına ait stamp.

Bilindiği gibi kömür arakesmeleri arasında oldukça kaliteli killer bulunmaktadır. Şekil 4.1'deki Tunçbilek havzasının stampı incelendiğinde, kömür arakesmelerinde kilitaşı bulunmaktadır. Kömür damarlarının üst serilerinde marna rastlanmaktadır. Bu bölgedeki marn serilerinin oldukça büyük miktarda olduğunu görülmektedir. İşletme güney panosunda 1995 yılı itibarı ile marn serisinin dekapajını yapmaktadır. Bu tez çalışmasında, gri marn serisinin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Önümüzdeki yıllarda dekapajın devam etmesi halinde kömür serisi arakesmelerinde ulaşılacaktır.

#### 4.2.3. Yapısal jeoloji

Neojende yapısal olarak önemli olabilecek fay ve kıvrımlara rastlanılmaz. Genelde havzada eğim atımlı normal faylar gelişir. Neojen havzasında durgun olan tektonik hareket, marn biriminin çökmesinden sonra Miyosen sonlarına doğru hareketlenme başlar. Bu hareketlenme volkanik faaliyetler nedeniyle genişler.

#### 4.3. Tunçbilek Bölgesi Üretim Sistemleri

Tunçbilek bölgesinde kömür açık ocak ve yeraltı üretimi ile yapılmaktadır. Açık ocak çalışmaları güney ve yörgüç panosu olmak iki ana panoda sürmektedir. Yeraltı üretimi ise Tunçbilek ve Ömerler yeraltı ocaklarından yapılmaktadır.

##### 4.3.1. Açık ocak

Tunçbilek bölgesi açık ocaklarında iki ana panoda dekapaj çalışması yapılmaktadır. Açık ocak üretim sistemi olarak, ekskavatör-kamyon yöntemi ile çalışmaktadır. 1970'den itibaren uygulanmakta olan yeni dekapaj çalışma sisteminde, kömür üzerindeki örtü toprağı yaklaşık 20-25 m'ye kadar mevcut sistem ile alınmakta, geri kalan kısım ise Dragline ile yapılmaktadır.

Şu anda açık ocakta örtü tabakasının kalınlığı 100-150 m olup genellikle orta sertlikte marndan teşekkül etmektedir. Örtü tabakasının kazısı, 6 inç (15 cm) ve 9 inç (22,5 cm)'lik Rotary delik makineleri ile yapılmakta ve patlayıcı olarak AN-FO (amonyum nitrat + fuel oil) kullanılmaktadır (Patır ve diğ., 1989). Basamak yükseklikleri 12 m ve 15 m olup, 10 ve 20 yd<sup>3</sup>'lük elektrikli ekskavatörlerle kazı yapılmaktadır. Örtü tabakası 85 ton' luk kamyonlarla yaklaşık 1-2 km mesafadaki dekapaj harmanlarına taşınmaktadır. Dekapajı hazırlanmış sahada, dragline ile dilimler halinde kazı yapılmaktadır. Dilim genişliği yaklaşık 60 m ve dilim uzunluğu 1-2 km arasında değişmektedir.

Kömür üretimi başlıca iki panoda yapılmaktadır. Beke Yörgüç panosundan, yılda 1.500.000 ton civarında tüvenan kömür üretimi gerçekleştirilmektedir. Kömür kalınlığı 7,5-8 m'dir. Güney panolarından ise yılda 1.400.000 ton kömür alınmaktadır. Kömür kalınlığı bu panolarda 8-9 m'dir.

Açık ocaklardan üretilen kömürün ortalama %52'si kribraj tesislerine, %30'u lavvara, %18'i ise termik santrale verilmektedir (Atakuru ve diğ., 1994).

Çizelge 4.1'de, 1991-1995 yılları arası yapılan dekapaj miktarları ve bu dekapaj miktarına karşılık kömür üretimleri verilmiştir (GLİ faaliyet raporu, 1995).

Çizelge 4.1. Açık ocak dekapaj ve kömür üretim miktarları.

Üretim yılları	1991	1992	1993	1994	1995 6 ay fiili
Dekapaj (m <sup>3</sup> )	23.420.000	27.263.000	22.628.000	25.635.000	7.544.000
Kömür (ton)	4.432.000	4.907.000	4.584.000	4.022.000	1.746.000

#### 4.3.2. Yeraltı üretimi

Tunçbilek bölgesinde iki bölgede yeraltı üretimi yapılmaktadır. Bunlar Tunçbilek ve Ömerler yeraltı ocağıdır.

Tunçbilek yeraltı ocağında dönümlü uzun ayak, blok göçertme sistemi ile çalışılmaktadır. Damarın tavan ve taban taşına komşu ikişer metrelik dilimleri, tavan ve taban ayaklar ile üretilmekte, iki ayak arasında kalan kısmı ise taban ayak arkasından göçertilerek alınmaktadır.

Bu sistemle çalışabilmek için kömür damarının kalınlığı en az 7 m olmak zorundadır. Bu durumda sadece taban ayaktan üretim yapılmaktadır. Ayak boyları tabanlarda 75 m, tavanlarda 150 m dir. Ayaklarda tahkimat malzemesi olarak sürtünmeli demir direklerle hidrolik direkler ve mafsallı çelik sarmalar kullanılmakta ve bu tahkimat sistemi ağaç direk, sarma ve kamalarla takviye edilmektedir. Bir ayaktan ortalama 608 ton/gün üretim alınmaktadır (Çakır, 1985).

Bu iki ocaktan alınan üretimler Çizelge 4.2'de verilmiştir (GLİ faaliyet raporu, 1995).

Çizelge 4.2. Yeraltı kömür üretim miktarları.

<b>Üretim yılları</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995 6 ay fiili</b>
<b>Miktar (ton)</b>	1.079.000	966.000	853.000	775.000	366.000





## 5. MALZEME VE YÖNTEM

GLİ'ye ait açık ocaklarda 1943 yılından bu yana yapılan dekapaj çalışmaları neticesinde, milyonlarca metreküp toprak harmanlara taşınmaktadır. Açık ocakta kömür üstünden alınıp harmanlara atılan örtü tabakası bir nevi suni dağlar oluşturmuştur. İşletmenin güney panosunda bulunan gri marn tahmini olarak 350 milyon m<sup>3</sup>'ü bulmaktadır. Bu çalışmada harmanlara atılmış ve halen atılmakta olan gri marnın yapı tuğlası olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır.

### 5.1. Numunenin Alınışı

Gri marn'dan yapı tuğlası üretmek amacıyla iki grup malzeme üzerinde araştırma yapılmıştır. Birinci grup, yeni kazılarak (yeni marn) harmanlara atılan malzemedir. İkinci grup ise iki yıl önce kazılarak (eski marn) harmanlara atılmış ve doğal şartların etkisinde kalarak bozmuş malzemedir.

Yeni marn Şekil 4.1'deki gri marn serisinin orta kısımları olan, yaklaşık derinliği ikiyüzelli metreyi bulan yerlerdir. Eski marn ise önceden harmanlara atılan ikiyüzüncü metrelerde olan gri marn serilerinin üst kısımlarıdır.

#### 5.1.1. Boyut küçültme

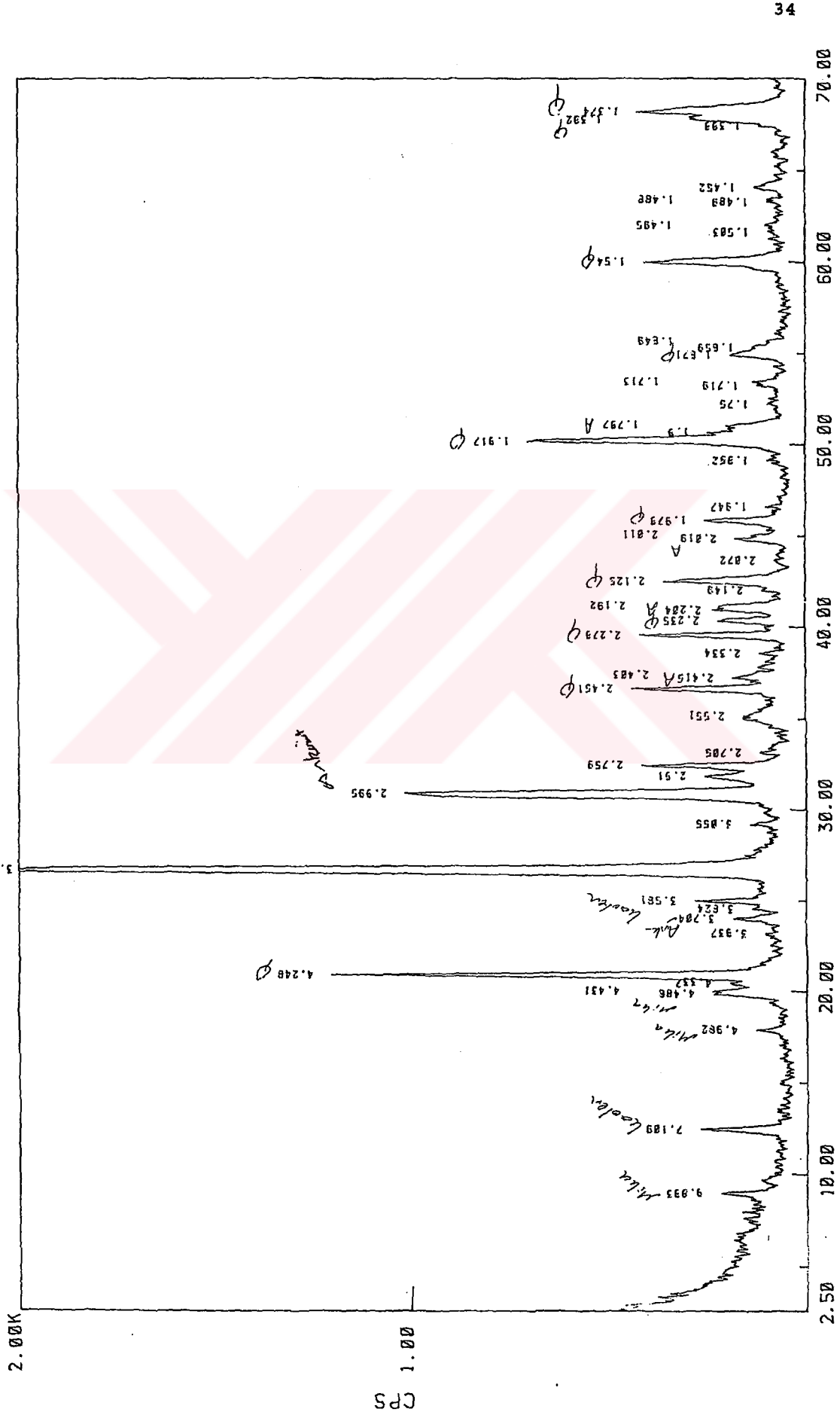
Tunçbilek bölgesi açık ocak işletmesinin Güney panosundan alınan 1000 kg'lık marn numuneleri konileme dörtleme işlemi ile azaltılarak, boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmuştur. Önce çeneli kırıcıdan geçirilerek 5 cm altına indirilmiş, daha sonra öğütme yapılarak 1000 µm altına incek şekilde elenmiştir. Bu numunelerin kimyasal analizleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Ayrıca eski ve yeni marnın mineralojik analizleri

(X-Işınları Difraksiyonu) Maden Tetkik Arama Müdürlüğünde Rigagu marka cihaz ile yapılmış ve Şekil 5.1, 5.2'de de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yeni ve eski marnın kimyasal analiz sonuçları.

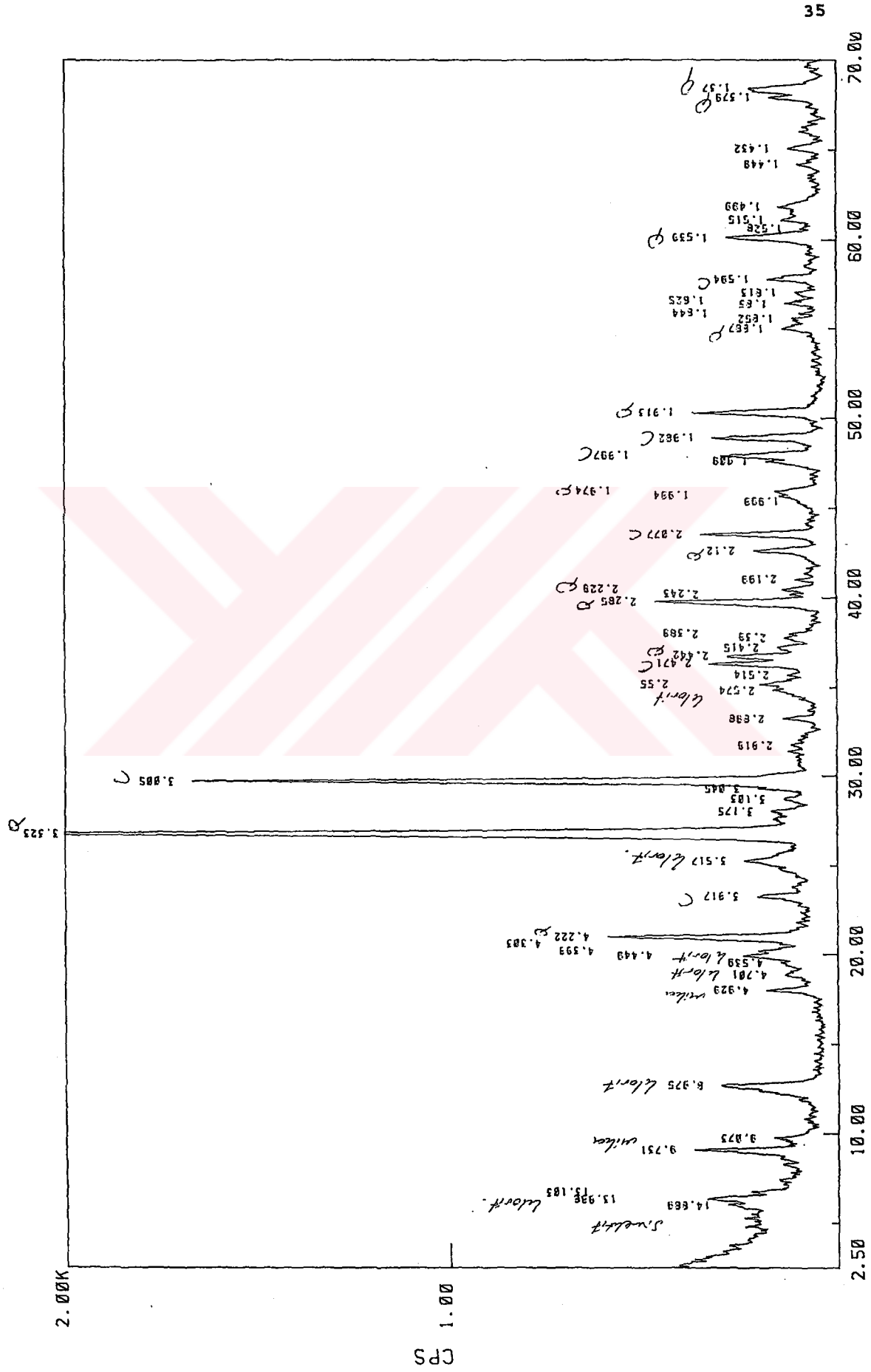
<b>Bileşikler</b>	<b>Yeni Marn (%)</b>	<b>Eski Marn (%)</b>
$\text{SiO}_2$	36.79	42.20
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5.73	2.49
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4.94	5.78
CaO	21.40	14.30
MgO	10.41	12.58
Ateşte zayıt	20.73	22.53

Sample Name : ESKI MARN



Şekil 5.1. Eski marnun mineralojik analiz sonuçları.

Sample Name : YENI MARN



Şekil 5.2. Yeni marnın mineralojik analiz sonuçları.

Yeni marn kuvars, kalsit, klorit, mika ve simektit içermektedir. Eski marn ise kuvars, ankerit, kaolen, mika ve az miktarda simektitten oluşmaktadır. Bu analiz sonuçları doğal şartların etkisinde kalan marnın, karbonatlı bileşiklerinin bir miktar yıkandığı görülmektedir. Kalsit ve kloritin yerini ankerit almıştır.

### 5.1.2. Şekillendirme

Tuğla üretiminde numunelere plastik şekillendirme metodu uygulanmıştır. Bu amaçla çelik malzemeden imal edilen silindirik bir kalıp kullanılmıştır. Silindir kalıp 2.82 cm çapında ve 5.08 cm yüksekliğindedir. Hazırlanan numuneler nemlendirilerek Ele Auto Test 3000 marka hidrolik presde sıkıştırılmıştır. Numunelerin nemlendirilmesinde yaklaşık olarak %25 civarında saf su kullanılmıştır. Püskürtme ile nemlendirme yapılmıştır.

### 5.1.3. Kurutma

Kalıptan sıkıştırılarak çıkarılan numuneler 15 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. Daha sonra numuneler Ele marka etüve konularak 105 °C sıcaklıkta, 24 saat süre ile bekletilerek kurutulmuş ve pişirilmeden önce  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ile numaralandırılmıştır. Kurutulan numuneler Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3. Numunelerin oda içindeki görünüşü.

#### 5.1.4. Pişirme

Kurutulmuş tuğla numuneleri Lenton Furnace marka sıcaklığı ayarlanabilen termostatlı elektrikli fırında pişirilmiştir. Pişirme işlemleri 900, 950, 1000 ve 1050 °C yapılmıştır. Numuneler iki değişik pişirme hızında sinterlenmiştir. Pişirme hızı öncelikle 7.5 °C/dak seçilmiş daha sonra ise 2.5 °C/dak olarak alınmıştır. Numuneler son sıcaklık değerinde bir saat bekletilmiştir. Daha sonra fırın kapatılarak numuneler fırın içinde soğutulmaya bırakılmıştır.

## 5.2. Fiziksel Testler

Üretilen tuğlalara uygulanan fiziksel testler ve hesaplama metodları Çizelge 5.2' de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Fiziksel testler ve hesaplama metodları.

FİZİKSEL TESTLER	HESAPLAMA METODU
Kuruma küçülmesi (%)	( Yaş uzunluk - Kuru uzunluk ) / Yaş uzunluk
Pişme küçülmesi (%)	( Kuru uzunluk - Pişmiş uzunluk ) / Kuru uzunluk
Plastisite suyu (%)	( Yaş ağırlık - Kuru ağırlık ) / Kuru ağırlık
Ateşte zayıt (%)	( Kuru ağırlık - Pişmiş ağırlık ) / Kuru ağırlık
Ağırlıkça su emme (%)	$E = (S/W) \times 100$
Basınç dayanım testi ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\sigma = F/A$
Birim hacim ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	Kuru numunelerin oda sıcaklığındaki hacmi
Zararlı manyezi-kireç testi	24 saat suda bekletilen numuneler 2 saat süreyle kaynatılır ve soğumaya bırakılır.
Dona dayanıklılık testi	Numune önce 1/4'ü, 1 saat sonra 1/2'si, 2 saat sonra 3/4'ü ve 24 saat sonra tamamı su ile temas ettirilir. 48 saatin sonunda numuneler buzdolabına konur. -15°C'de 2 saat bekletildikten sonra 25°C'deki suda 1 saat bekletilir. Bu işlem serisi 25 defa tekrarlanır.
E: Ağırlıkça su emme oranı, S: Emilen su miktarı (gr), W: Numunenin kuru ağırlığı (gr), $\sigma$ : Tek eksenli basınç dayanımı ( $\text{kg/cm}^2$ ), F: Numuneye etki eden kuvvet (kg), A: Kuvvetin etkidiği alan ( $\text{kg/cm}^2$ )	

## 6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

GLİ Tunçbilek açık ocak dekapaj atıkları marnları yapı tuğlası üretimi için araştırılmıştır. Bu amaçla kazıdan alınan marn (yeni marn) ve iki yıl önce atık harmanına bırakılmış marn (eski marn), 1000  $\mu\text{m}$  altına öğütülerek hidrolik presle üç farklı sıkıştırma basıncında (80, 100 ve 130  $\text{kg/cm}^2$ ) şekillendirilmiş ve dört farklı sıcaklıkta (900, 950, 1000 ve 1050°C) pişirilmiştir.

Çizelge 6.1 eski ve yeni marn numunelerinin plastisite ve kuruma küçülmelerini göstermektedir. Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4 kazıdan yeni alınan marn, Çizelge 6.5, 6.6 ve 6.7 ise iki yıl önce kazılarak harmana atılmış marnın, sırasıyla 80, 100 ve 130  $\text{kg/cm}^2$  basınç altında şekillendirilmiş malzemelere uygulanan standart tuğla test sonuçlarını göstermektedir. Burada üretilen yapı malzemesinin fiziksel özelliklerine; malzemenin tane boyutu, şekillendirme basıncı ve pişirme sıcaklığının etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 6.1. Yeni ve eski marn numunelerinin plastisite ve kuruma küçülmeleri.

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Yeni Marn</b>	<b>Eski Marn</b>
<b>Plastisite Suyu (%)</b>	31.2	23.1
<b>Kuruma Küçülmesi (%)</b>	2.5	2.2



Çizelge 6.2. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan 80 kg/cm<sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı (°C)			
	900	950	1000	1050
<b>Pişme Küçülmesi (%)</b>	0.7	0.5	0.5	0.6
<b>Birim Hacim Ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1678	1668	1663	1686
<b>Su Emme (%)</b>	10.8	10.6	10.2	10.1
<b>Basınç Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	101	151	159	106
<b>Zararlı Manyezi- Kireç (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	-	138	142	-
<b>Don Testi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	-	130	135	-

Çizelge 6.3. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan  $100 \text{ kg/cm}^2$  sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı (°C)			
	900	950	1000	1050
Pişme Küçülmesi (%)	0.8	0.6	0.7	0.5
Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	1682	1679	1669	1698
Su Emme (%)	9.8	9.6	9.5	9.1
Basınç Dayanımı ( $\text{kg/cm}^2$ )	110	158	162	109
Zararlı Manyezi- Kireç ( $\text{kg/cm}^2$ )	-	142	149	-
Don Testi ( $\text{kg/cm}^2$ )	-	138	140	-

Çizelge 6.4. Ocaktan yeni kazılarak alınan gri marnlardan 130 kg/cm<sup>2</sup> sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı (°C)			
	900	950	1000	1050
Pişme Küçülmesi (%)	0.8	0.6	0.6	0.5
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	1698	1700	1704	1730
Su Emme (%)	9.5	9.3	8.9	8.8
Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	145	160	165	113
Zararlı Manyezi- Kireç (kg/cm <sup>2</sup> )	130	150	151	-
Don Testi (kg/cm <sup>2</sup> )	125	140	145	-

Çizelge 6.5. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan  $80 \text{ kg/cm}^2$  sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı (°C)			
	900	950	1000	1050
Pişme Küçülmesi (%)	0.4	0.3	0.3	0.5
Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	1251	1248	1253	1257
Su Emme (%)	7	7.2	7.3	7.2
Basınç Dayanımı ( $\text{kg/cm}^2$ )	152	164	160	150
Zararlı Manyezi- Kireç ( $\text{kg/cm}^2$ )	124	140	145	132
Dön Testi ( $\text{kg/cm}^2$ )	112	125	139	123

Çizelge 6.6. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan  $100 \text{ kg/cm}^2$  sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı (°C)			
	900	950	1000	1050
<b>Pişme Küçülmesi (%)</b>	0.6	0.5	0.3	0.3
<b>Birim Hacim Ağırlığı (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	1279	1278	1284	1291
<b>Su Emme (%)</b>	7.1	6.7	7	6.9
<b>Basınç Dayanımı (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>	132	143	109	129
<b>Zararlı Manyezi-Kireç (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>	-	-	-	-
<b>Don Testi (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>	-	-	-	-

Çizelge 6.7. İki yıl önce kazılarak harmanlara atılan bozuşmuş marnlardan  $130 \text{ kg/cm}^2$  sıkıştırma basıncı ile üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL TESTLER	Pişme Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	900	950	1000	1050
Pişme Küçülmesi (%)	0.6	0.7	0.4	0.4
Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	1304	1310	1295	1289
Su Emme (%)	6.8	6.7	6.5	6.4
Basınç Dayanımı ( $\text{kg/cm}^2$ )	155	165	157	145
Zararlı Manyezi-Kireç ( $\text{kg/cm}^2$ )	135	142	135	130
Don Testi ( $\text{kg/cm}^2$ )	140	160	151	135

### 6.1. Eski ve Yeni Marn Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bilindiği gibi marnlar %35 kil gurubu mineraller ile karbonatlardan oluşmaktadır. Kil gurubu mineraller; klorit, mika, kaolen ve simektit olabilir, karbonatlı bileşikler olarak; ankerit ve kalsit sayılabilir.

Kazıdan yeni alınan marn numunesinin kimyasal bileşimlerinde, Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, %36.7 SiO<sub>2</sub>, %21.4 CaO, %10.4 MgO ve %4.94 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunmaktadır. Ayrıca bu malzeme %20.7 oranında organik maddeler içermektedir. Marnın bu kimyasal yapısı itibarı ile yapı tuğlası özelliklerine uymayan yönü; fazla miktarda CaO içermesidir. Ayrıca tuğla hammaddelerinde organik madde miktarının da daha az olması istenir. Doğal şartlarda iki yıl gibi uzun bir süre bırakılmış aynı ocak marn numunesinin kimyasal analizinde, Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, CaO miktarı daha azdır ( %14.3 CaO). Marnlar minerolojik açıdan değerlendirildiğinde, Şekil 5.1 ve 5.2'de görüldüğü gibi, kazıdan yeni alınmış marn da montmorillonit gurubu minerallerden simektit bulunmaktadır, eski marn da ise simektitin miktarı daha azdır.

Bilindiği gibi tuğla hammaddelerinde bulunan karbonatlı bileşikler, tuğlanın pişirilmesini güçleştirir, kiremit renginin de kaybolmasına sebep olur. Özellikle montmorillonit gurubu minerallerinden olan simektit, pişme sırasında hacimsel genişleme meydana getirerek çatlamalara sebep olmaktadır. Buradan, doğal şartlarda beklemiş marnın tuğla üretimi için daha uygun özellikler taşıdığı söylenebilir.

Doğal şartların marn üzerinde meydana getirdiği değişikliklerin tam olarak ortaya konulması bu çalışmada elde edilen veriler ile mümkün olamamaktadır. Ancak, her iki malzemenin fiziksel özellikleri ile kimyasal ve minerolojik analizlerinden bazı tespitler yapılabilir.

Aynı ocak numunesinin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1 ve minerolojik bileşimleri Şekil 5.1 ve 5.2'den görüldüğü gibi birbirinden farklıdır. Bunun sebebi numune alınan bölgenin özelliğinden kaynaklanabileceği gibi, doğal şartlarla marn bünyesinde meydana gelen etkileşimlerden ortaya çıkmış da olabilir. Deneysel çalışmalar amacıyla alınan marn numuneleri aynı ocaktan olmakla beraber, topografik kotları farklıdır. Yeni marn olarak isimlendirilen malzeme kazı panosunun 250 m kotlarından alınmış, eski marn olarak isimlendirilen malzeme ise aynı bölgenin iki yıl kazı yapıldıktan sonra 200 m kotlarından alınmıştır. Buradan görüldüğü gibi alınan numuneler arasında yaklaşık olarak elli metrelik kot farkı bulunmaktadır.

Marnların kimyasal analizlerinde gözlenen en belirgin fark, doğal şartlarda kalan marnın kireç içeriğinin düşmüş olmasıdır. Minerolojik açıdan yapılan incelemelerden görüldüğü gibi, her iki marn kuvars ve kil gurubu minerallerden mika ve simektit içermektedir. Doğal şartlarda kalan marnında kuvars miktarı daha fazla, simektit miktarı ise daha azdır. Kazıdan yeni alınan marnında bulunan kalsit ve klorit, doğal şartlarda beklemiş marnında yoktur, ancak yapıda karbonat gurubu minerallerden ankerit görülmektedir, ayrıca az miktarda kil gurubu minerallerden kaolen bulunmaktadır. Bu gözlemlerden aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- Doğal şartlarda kalmış marnın daha az karbonat içermesi yağmur suları ile yıkanma sonucunda oluşmuştur,
- yağmur suları beraberinde getirdiği metal tuzları ile doğal liç şartlarını hazırlamıştır.

Kazıdan yeni alınan marn numunesi montmorillonit gurubu minerallerden simektit içermektedir. Bilindiği gibi bu gurup minerallerde yüzey suyu kolayca kristal yapıya girer ve kolayca da uzaklaşabilir, malzeme bünyesine su aldığında hacimsel olarak büyümektedir. Bu etkileşim yağmur suları ile bazı metal tuzlarının bünyeye girmesini sağlayabilir, bunun sonucunda marnın yapısı değişebilir. Burada olduğu gibi, kazıdan alınan marnında bulunan kalsit ve klorit, doğal şartlar ile yıkanmış marnında



yöktür. Burada karbonatlı bir bileşik olan kalsitin yerini yine aynı guruptan olan ankerit ( $\text{CaCO}_3(\text{Mg,Fe,Mn})\text{CO}_3$ ) almıştır. Kalsitin ankerite dönüşebilmesi için bünyesine Mg iyonları alması gerekmektedir. Bu iyonlar yağmur sularından gelebileceği gibi, marnın bünyesinde bulunan kloritten de geçmiş olabilir. Burada doğal ortamın bir ölçüde liç şartlarını hazırladığı söylenebilir. Bilindiği gibi ankerit kimyasal yapısı ile dolomit gurubu mineral bileşiklerini içermektedir.

Doğal şartlarda uzun süre kalmış marn ile kazıdan yeni alınmış marnın fiziksel farklılıkları şunlardır;

- kazıdan yeni alınan marn gri renkli, buna karşılık atık harmanından alınan marn koyu kahvemsı ve limon sarısı renktedir,
- yeni marn kompakt bir yapıya sahip iken, doğal şartlarda beklemiş marn ince tabakalar halinde parçalanmıştır,
- harmandan alınan eski marnın birim hacim ağırlığı ortalama olarak  $1273 \text{ kg/m}^3$ , kazıdan yeni alınan marnın ise  $1663 \text{ kg/m}^3$  olmaktadır.

Bilindiği gibi, götit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) koyu kahvemsı renktedir, limonit ise ( $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) limon sarısı renge sahiptir. Buradan, yeni kazılmış marnında bulunan demir bileşikleri doğal ortamda redüksiyona uğrayarak yeni demir bileşik türleri oluşturdukları söylenebilir. Doğal şartlarda kalmış marnın birim hacim ağırlığının daha düşük olması ise yine bünyede bulunan montmorillonit türü minerallerin bünyesine su alarak şişmesi sonucu sağlanan hacimsel genişlemeye bağlanabilir. Kazıdan alınan masif yapılu marnında görülen tabakalaşma ise atmosfer şartları ile yapıda meydana gelen değişimleri doğrulamaktadır.

## 6.2. Malzemenin Şekillendirme Özelliği

Seramik malzemeye şekillendirilebilme özelliği, bünyesinde bulundurduğu montmorillonit gurubu mineraller ile kazandırılmaktadır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'den görüldüğü gibi, yeni ve eski marnın bünyesinde montmorillonit gurubu minerallerden simektit bulunmaktadır, ancak doğal şartlarda kalan marnlarda simektit miktarı daha azdır. Çizelge 6.1'de eski ve yeni marnın plastisite ve kuru küçülme değerleri görülmektedir. Doğal şartlarda yıkanmış marnın plastisite değeri, beklendiği gibi daha azdır. Plastisite değeri azalan malzemenin, kuru küçülmesinde doğal olarak düşmektedir. Eski marnlarda tespit edilen %2.2'lik kuru küçülme, malzemenin kalıptan alınması için yeterli olmaktadır. Her iki marn çeşidi içinde, kurutulması sırasında ani kuruma bölgeleri oluşmadığından çatlaksız ürünler elde edilmiştir. Bilindiği gibi, özellikle kenar bölgelerde ani kurumalar seramik üretiminde önemli bir sorun oluşturmaktadır.

## 6.3. Yapı Tuğlası Fiziksel Özellikleri

Yapı tuğlası kalitesi büyük oranda hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile üretim parametreleri, örneğin; tane boyutu, şekillendirme basıncı ve sinterleme sıcaklığı ile belirlenir. Bu çalışmada kullanılan hammadde marnıdır, ancak, bu malzeme doğal şartlarda farklı fiziksel özellikler kazanmıştır. Kazıdan ve atık sahasından alınan iki farklı özellikteki numunelerden yapı tuğlası üretiminde şekillendirme basıncı ve pişirme sıcaklığı değiştirilmiştir.

#### 6.4. Tuğla Özelliklerine Üretim Parametrelerinin Etkileri

Deney sonuçları, yapı tuğlası üretimine daha uygun mukavemette malzeme üretiminin yüksek şekillendirme basıncı ( $130 \text{ kg/cm}^2$ ) ve  $1000 \text{ }\mu\text{m}$  altı tanelerin  $950 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de pişirilmesi ile mümkün olduğunu göstermektedir. Bu sonuç yapı malzemesi üretiminde şekillendirme basıncı ve pişirme sıcaklığının önemini göstermektedir.

##### 6.4.1. Pişme hızı ve sıcaklığın etkisi

Deneylerde iki farklı pişme hızı tatbik edilmiştir. Pişirme hızı  $7.5^\circ\text{C}/\text{dak}$  olarak seçildiğinde numuneler üzerinde kılcal çatlamlar meydana gelmiştir, eski marında bu çatlamlar daha az olmaktadır. Ancak, bu malzemeler yapı tuğlası özellikleri taşımamaktadır, dolayısıyla bunların fiziksel özelliklerini araştırmaya yönelik çalışmalar yapılmamıştır. Daha sonra malzemelerin pişirme hızı daha düşük bir değer olarak seçilmiş ve  $2.5^\circ\text{C}/\text{dak}$  hızda yapılan pişirmelerde çatlaksız, sağlıklı ürünler elde edilmiştir.

Hızlı pişirim sonucunda malzemede kılcal çatlakların oluşumu, marnın bünyesinde bulunan simektitten veya organik maddelerden kaynaklanabilir. Bunun tespit edilmesi amacıyla malzemenin bünyesinde bulunan organik maddeler  $400^\circ\text{C}$ 'de yakılmış ve bu numunelerden hızlı pişirim ile tuğlalar üretilmiştir. Bu tuğlalarda da çatlamlar oluşmuştur. Buradan hızlı pişirim sonucunda tuğlalarda meydana gelen çatlamların simektitten kaynaklandığı söylenebilir. Yavaş pişirimde simektit daha dengeli genişlediğinden çatlama meydana gelmemektedir. Eski marında hızlı pişirim yapıldığında daha az çatlama meydana gelmesi, simektitin bileşimde az olmasından kaynaklanmaktadır.

Deney sonuçlarından, malzemenin sinterlenmesi için seçilen  $900 - 1050^\circ\text{C}$  arasındaki sıcaklıkların, malzemenin basınç dayanımını önemli ölçüde etkilediği

görülmektedir. Diğer taraftan, pişme sıcaklığı artışı ile ürünün su emme değeri de bir miktar azalmaktadır. Malzemede en yüksek mukavemet 1000°C'de yapılan pişirme ile sağlanmıştır, 900°C'de yapılan pişirmelerde yeterli sinterleme meydana gelememektedir, 1050°C'de ise malzemede bir miktar camlaşma oluşmuş, bu ise mukavemeti düşürmüştür.

Pişme sıcaklığının artırılması ile malzemenin su emme değerinde gözlenen bir miktar azalma, malzemenin bünyesinde bulunan mika ve benzeri minerallerin eriyerek boşlukları doldurmasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi, hammadde bileşiminde bulunan mika ve feldspat türü mineraller pişme sırasında eriyerek viskoz bir sıvı oluşturur, bu sıvı soğuma sırasında tamamen kristalize olmaz, camlaşarak gözenekleri doldurur. Pişme sıcaklığının 1000°C-1200°C'ye yükseltilmesi ile üretilen tuğlalarda daha fazla camlaşma görülmüştür.

#### 6.4.2. Şekillendirme basıncının etkisi

Bu çalışmada öğütülen marn numuneleri 80, 100 ve 130kg/cm<sup>2</sup> basınç altında şekillendirilmişlerdir. Çizelge 6.2-7'de görüldüğü gibi sıkıştırma basıncı arttıkça malzemenin basınç dayanımı artmaktadır. Yüksek sıkıştırma basıncında malzeme daha iyi sıkı paketlemekte ve sinterlenmektedir.

#### 6.5. Üretilen Tuğlaların Standartlara Uygunluğu

Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4'de kazıdan yeni alınmış marn ile ilgili fiziksel testler değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır,

- Seçilen tane boyutu, pişme sıcaklığı ve sıkıştırma basıncının pişme küçülmesi üzerinde fazla bir etkisi görülmemiştir. Yeni ve eski marnın pişme küçülmesi

değerleri %0.3-0.8 arasında değişmektedir. Beklendiği gibi plastisitesi daha düşük olan eski marnın pişme küçülmeside düşük olmuştur.

- Yeni marn'dan üretilen tuğlaların seçilen tane boyutu ve pişme sıcaklığının birim hacim ağırlığına fazla bir etkisi olmamıştır. Ancak sıkıştırma basıncı arttıkça daha sıkı paket elde edildiğinden malzemenin birim hacim ağırlığı artmaktadır. Yeni marn'dan üretilen tuğlaların burada seçilen deney şartlarında değeri 1549-1730 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Eski marn'da ise bu değer 1241-1310 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Buradan görüldüğü gibi eski marn birim hacim ağırlığı yönüyle yaklaşık olarak %30 daha hafiftir. Eski marnın daha hafif olmasının nedeni, doğal şartların etkisiyle daha önce açıklandığı gibi marnın yapısında meydana gelen değişikliklerdir. Özellikle montmorillonitin yüzey sularını bünyesine alarak şişmesi, malzemenin yoğunluğunu düşürmesidir.
- Çizelge 6.5, 6.6 ve 6.7'de görüldüğü üzere tane boyutu ve sıkıştırma basıncının fazla bir etkisi görülmemiştir. Ancak pişme sıcaklığı arttıkça malzemenin su emme oranı bir miktar azalmaktadır. Yeni marnın su emme oranı % 8.8-10.8 değerleri arasındadır. Eski marn'da ise bu değer %6.4-7.6 arasındadır. Eski marn'da bu değerler daha düşüktür. Bilindiği gibi fazla kireç içeren hammaddelerde su emme oranı yüksektir. Yeni marn yağmur suları ile yıkanarak kireç miktarı bir miktar azaldığından, eski marnla üretilen tuğlaların su emme oranı düşmüştür.
- Eski ve yeni marn'dan üretilen tuğlalardan basınç dayanımı 150 kg/cm<sup>2</sup> 'ye yaklaşan numuneler zararlı manyezi-kireç ve don deneylerine tabi tutulmuştur. Çizelge 6.2-7'den görüldüğü gibi bu malzemelerin basınç kayıpları kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Zararlı manyezi-kireç ve don testlerine tabi tutulan malzemelerin basınç kaybı %15'i geçmemiştir. Testler sonucunda numuneler üzerinde yapılan kontroller neticesi herhangi bir dağılma, pullanma, çatlama ve kopma gibi hasarlar gözlenmemiştir.

## 7. SONUÇLAR

GLİ Tunçbilek bölgesi açık ocak güney panosundan alınan yeni kazı marndan ve aynı panodan iki yıl önce kazılarak harmana atılmış marnlardan yapı tuğlası üretme imkanlarının araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir :

1- Standartlara daha uygun özelliklerdeki tuğlanın eski ve yeni marnlardan 1000  $\mu\text{m}$  altına öğütülen malzeme, 130  $\text{kg/cm}^2$  basınçta sıkıştırılarak 950-1000  $^{\circ}\text{C}$ 'de sinterlenmesi ile elde edilmiştir.

2- Marnlardan üretilen yapı tuğlalarında pişirme hızı önemli olmaktadır. 7.5 $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  pişirme hızında malzemede çatlama oluşmuş, pişirme hızı 2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  olduğunda ise sağlıklı ürünler elde edilmiştir. Malzemenin çatlamasına bünyede bulunan simektit sebep olmaktadır.

3- Eski marndan üretilen yapı tuğlasının birim hacim ağırlığı, yeni marndan üretilen tuğlaya göre daha düşüktür. Yeni marndan üretilen tuğla 1549-1730  $\text{kg/m}^3$  arasında birim hacim ağırlığına sahip iken, harmandan alınan eski marn bu değer 1241-1310  $\text{kg/m}^3$  arasında olmaktadır. Yaklaşık olarak %30 daha hafif olan eski marn tuğlası ticari açıdan değerlendirildiğinde nakliye ve bina ölü ağırlığı açısından tercih edilebilecek özelliktedir.

### 7.1. Öneriler

Araştırma sırasında yapılamayan, fakat yapılması önerilen konular aşağıda verilmiştir.

1- Elde edilen tuğlaların ses ve ısı iletkenlikleri, yapılacak deneyler ile belirlenmelidir.

2- İşletmeden alınacak marn malzemesi, endüstriyel çapta bir tuğla fabrikasında ve fabrika şartlarında denenmelidir.

3- Marn malzemesine katkı maddeleri ilavesiyle sonuçların daha da iyileştirilmesi deneyleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar, C. ve Divan, Z., 1976, GLİ Tunçbilek bölgesi ömerler köyü civarı tektonik etüdü, TKİ, Ankara.
- Atakuru, T., Atakuru, N. ve Patır, O., 1994, Ara kesmeli kalın kömür damarlarının selektif üretim yöntemi, Türkiye 9.Kömür kongresi, Zonguldak, 359-371 s.
- Çakır, O., Karakoç, K. ve Kundur, A., 1985, GLİ Tunçbilek bölgesinde pilot mekanize ayak uygulaması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, Türkiye madencilik bilimsel ve teknik 9.kongresi, Ankara, 137-162 s.
- Çavuşoğlu, E., Atasoy, A., 1976, Döküm teknolojisi kum deneyleri, İstanbul
- Ediz, N., 1994, Kırka Boraks işletmesi atık killilerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Eskişehir, 92 s.
- GLİ Bölge Müdürlüğü faaliyet raporu, 1995, Tavşanlı
- Patır, O., Atakuru, T. ve Coğuplugil, N., 1989, GLİ Tunçbilek bölgesi açıkocaklarında patlatma çalışmalarının değerlendirilmesi, Türkiye madencilik bilimsel ve teknik 11.kongresi, Ankara, 137-160 s.
- Sarız, K. ve Nuhoğlu, İ., 1992, Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği, Eskişehir, 218-220 s.
- Seyhan, İ., 1972, Kaolin, Bentonit, Kil ve tuğla-kiremit toprakları jeolojisi, Ankara, 20-51 s.
- Toydemir, N., 1976, Seramik yapı malzemeleri, İstanbul, 1-5 s.
- Yaman, C., 1995, Sur tuğlalarının ve pişme sıcaklığının belirlenmesi, 7.Ulusal kil sempozyumu
- 
- Standart no: TS.704, 1985



EK-1 TS.704, 1985 Standardı

SINIFLAR	Tuğlanın Sembolü	Hacim Ağırlığı (max) kg/dm <sup>3</sup>	Ortalama Basınç		Ortalama Basınç	
			Dayanımı (min) kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Dayanımı (max) Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Dayanımı (min) Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Dayanımı (max) Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
Dolu Harman	Orta		Sınırlan			
	Dayanımlı	DOHT/50	dirilmiştir	50 (5.0)	40 (4.0)	
Tuğlası	Az					
	Dayanımlı	DOHT/30	-	30 (3.0)	25 (2.5)	
Delikli Harman	Orta					
	Dayanımlı	DEHT/50	1.40	50 (5.0)	40 (4.0)	
Tuğlası	Az					
	Dayanımlı	DEHT/30	1.40	30 (3.0)	25 (2.5)	