

**SİLİS DUMANI KATKILI KERPIÇLERİN  
MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Julide KIVRAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2007**

**ANKARA**

Julide KIVRAK tarafından hazırlanan SİLİS DUMANI KATKILI KERPIÇLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Atilla DORUM .....  
Tez Danışmanı, Restorasyon Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ .....  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Atilla DORUM .....  
Restorasyon Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İlhami DEMİR .....  
Yapı Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 21 / 09 / 2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Julide KIVRAK

**SİLİS DUMANI KATKILI KERPIÇLERİN  
MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Julide KIVRAK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Eylül 2007**

**ÖZET**

Bu araştırmada, Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesinde atık malzeme olarak çıkan silis dumanı değerlendirerek, çevre kirliliğini engellemek ve kerpiç malzemesi karışımına, belirli oranlarda katılarak, kerpiçlerin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Kerpiç üretiminde, Çorum Bağlar mevki inşaat sahasından “TS 1901” İnşaat Mühendisliğinde Sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemlerine uygun olarak alınan killi toprak kullanılmıştır. Kerpiç toprağına, kütlece %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranında silis dumanı eklenmiş ve saman ile karıştırılarak, kerpiç üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, birim hacim ağırlık deneyi, basınç dayanımı deneyi, suya dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. İlave edilen silis dumanı oranlarındaki değişimin kerpiçler üzerindeki mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, silis dumanı ilave edilmesinin, numuneler üzerinde gerçekleştirilen bütün deneylerde olumlu sonuç verdiği görülmüştür.

**Bilim Kodu : 714.1.143**  
**Anahtar Kelimeler : Silis Dumanı, Kerpiç, Toprak**  
**Sayfa Adedi : 56**  
**Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Atilla DORUM**

**INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF SILICA FUME BLENDED ADOBES**

**(M. Sc. Thesis)**

**Julide KIVRAK**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**September 2007**

**ABSTRACT**

**In this study, silica fume which comes out from Antalya Etibank Electrometallurgy Managing as a waste material is evaluated and, certain proportion of silica fume is used in adobe mixture. The environmental pollution is prevented by using silica fume in these adobe. Mechanical and physical characteristics of these produced adobe are researched. Clayey soil which is taken from Corum Baglar location's construction field and, is suitable for 'TS 1901 : Drilling methods in civil engineering for disturbed and undisturbed sample taking' is used in these adobe production. The adobe are produced from mixture of adobe soil , hay and different mass proportion of silica fume (%0, %5,%10,%15,%20,%25). The unit volume-weight experiment, the water resistance experiment and, the pressure resistance experiment are made on these produced samples. Mechanical and physical characteristics of these adobe are researched for different proportion of silica fume and finally, it has observed that silica fume addition has a positive result on all the experiment done.**

**Science Code : 714.1.143  
Key Words : Silica Fume, Adobe, Soil  
Page Number : 56  
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Atilla DORUM**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Atilla DORUM'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan, Hitit Üniversitesi M.Y.O. Müdürü Prof. Dr. İrfan ÇAĒLAR'a, tez çalışmam boyunca üstün sabır ve moral desteğini esirgemeyen, sevgili eşim, Serhat Oęuzhan KIVRAK'a ve bugünlerimi borçlu olduğum sevgili anne ve babama sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Kerpiç ve Silis Dumanı ile İlgili Önceki Araştırmalar .....	14
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	19
3.1. Malzeme .....	19
3.1.1. Toprak .....	19
3.1.2. Silis dumanı .....	20
3.1.3. Saman .....	21
3.1.4. Karışım suyu .....	21
3.2. Yöntem .....	22
3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması .....	22
3.2.2. Biçim ve görünüş özellikleri .....	23
3.2.3. Birim hacim kütle deneyi .....	23
3.2.4. Basınç mukavemeti deneyi .....	24

**Sayfa**

3.2.5. Suya dayanıklılık deneyi.....	26
3.2.6. İstatistik işlemler .....	26
4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	27
4.1. Biçim ve Görünüş Özellikleri .....	27
4.2. Birim Hacim Kütle.....	28
4.3. Basınç Mukavemeti.....	31
4.4. Suya Dayanıklılık.....	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	40
5.1. Sonuçlar.....	40
5.2. Öneriler.....	40
KAYNAKLAR.....	42
EKLER.....	45
EK-1 Kerpiç yüzlerinin adları, kerpiç boyut adları, kalıp ve masterlama çubuğu .....	46
EK-2 Çimentolu kerpiçlerde boyutların ölçülmesi.....	47
EK-3 Basınç mukavemeti deneyi için hazırlanmış numunelerde derz ve başlık görünüşü .....	48
EK-4 Kerpiç bloklarda basınç mukavemeti tayini .....	49
EK-5 Suya dayanıklılık deneyi.....	50
EK-6 Kerpiç boyutları.....	51
EK-7 Kalıp örneği.....	52
EK-8 Mala .....	53
EK-9 Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması .....	54
EK-10 Siliko ferrokrom ve ferrokrom üretim şeması.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Geleneksel yöntemlerle üretilen kerpiçlerin boyutlarına göre sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.2. Çimentolu kerpiçlerin boyutlarına göre sınıflandırılması .....	4
Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan kerpiç toprağının fiziksel özellikleri .....	19
Çizelge 3.2. Antalya Etibank Elektrometalurji silis dumanı'nın kimyasal özellikleri .....	20
Çizelge 4.1. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, birim hacim kütle değerleri .....	28
Çizelge 4.2. Varyans çözümleri tablosu.....	29
Çizelge 4.3. Sheffe testi sonuçları .....	30
Çizelge 4.4. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, basınç mukavemet değerleri.....	32
Çizelge 4.5. Varyans çözümleri tablosu.....	33
Çizelge 4.6. Sheffe testi sonuçları .....	34
Çizelge 4.7. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, suya dayanıklılık değerleri .....	36
Çizelge 4.8. Varyans çözümleri tablosu.....	37
Çizelge 4.9. Sheffe testi sonuçları .....	38

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Suya dayanıklılık deneyi yapılışı .....	26
Şekil 4.1. Silis dumanı katkıli kerpiçlerin, birim hacim kütle değerleri grafiği .....	31
Şekil 4.2. Silis dumanı katkıli kerpiçlerin, basınç mukavemet değerleri grafiği .....	35
Şekil 4.3. Silis dumanı katkıli kerpiçlerin, suya dayanıklılık değerleri grafiği .....	39

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. İznik Sansarak köyündeki kerpiç yapılar .....	5
Resim 2.2. Harput'ta kerpiç yapı.....	5
Resim 2.3. Kaman Savcılı köyünde kerpiç yapı.....	6
Resim 2.4. Gümüşhane Kelkit'te kerpiç yapı .....	6
Resim 3.1. Numunelerin üretildiği kerpiç kalıbı.....	23
Resim 3.2. Basınç dayanımı ölçme cihazı .....	25
Resim 4.1. Numunelerin biçim ve görünüşleri.....	27

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>SD</b>	Silis dumanı
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Mikrometre
<b><math>d_h</math></b>	Birim hacim ağırlığı, $\text{kg}/\text{dm}^3$
<b>G</b>	Kurutulmuş numunenin kütlesi, kg
<b><math>V_h</math></b>	Numunenin hacmi ( $b \times l \times h$ ), $\text{dm}^3$
<b><math>f_b</math></b>	Numunenin basınç mukavemeti, $\text{N} / \text{mm}^2$
<b><math>P_k</math></b>	Kırılma anındaki maksimum yük, (N)
<b><math>A_o</math></b>	Basınç uygulanan yüzey alanı, ( $\text{mm}^2$ )
<b>D.İ.E.</b>	Devlet İstatistik Enstitüsü
<b>FeSi</b>	Ferrosilisyum
<b><math>\text{SiO}^2</math></b>	Silisyum dioksit
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	Alüminyum oksit
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	Demir Oksit
<b>CaO</b>	Kireç
<b>MgO</b>	Magnezyum
<b><math>\text{SO}_3</math></b>	Kükürt trioksit
<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>Na</b>	Sodyum
<b>H</b>	Hidrojen

## 1. GİRİŞ

Kerpiç, toprağın su ile yoğrulup kalıplanmasından sonra açık havada kurutulmasıyla meydana gelen bir yapı malzemesidir. Ana malzemesi topraktır. Kerpiç, insan ve hayvan barınağı yapımında kullanılır. İmalatı sırasında toprağa bazı bağlayıcı maddeler karıştırılmasının, kerpicingin bazı mekanik özelliklerini iyileştirici etkide bulunduğu yapılan araştırmalar sonucu ortaya konulmuştur. Kerpiç toprağına çeşitli bağlayıcı maddeler katılmasından beklenen en önemli fayda kerpicingin suya karşı mukavemetini yükseltmek ve basınç dayanımını artırmaktır [1].

Günümüzde, ülkemizin kırsal kesiminde yaşayan insanlar, tek katlı konut, hayvan barınağı ve depo yapıları olarak, kerpiçten yapılan yapılar kullanmaktadır. Bunun nedeni, hammadde'nin kolayca bulunması, önemli bir ekonomiklik kazandırması, izolasyon ve insan gücünün değerlendirilmesidir. Oysa günümüzdeki sosyal ve ekonomik şartlar, toprağın yapı için yararlı yönlerini ön plana çıkarmıştır [2].

Toprak yapı, az gelişmiş ülkelerden gelişmiş ileri endüstri ülkelerine kadar dünyanın her yerinde, üzerinde en çok çalışma ve araştırma yapılan konulardan biridir [3].

Toprak yapı, günümüzde çağdaş yapı niteliğı kazanmıştır. Elbette ki toprak yapının da, diğer yapı türlerinde olduğu gibi bazı sakıncalı yönleri vardır. Bunlar gerekli önlemler alınarak ve öngörülen koşullara uyularak ya tamamen giderilebilir yada en aza indirilebilir [3].

Toprak, günümüz sosyal, ekonomik ve çevre kirliliğı sorunlarının çözümüne katkıda bulunabilecek bir yapı malzemesidir. Özellikle arsa kısıtlaması ve çok katlı yapı yapma zorunluluğı bulunmayan bölgelerde kerpiç yapı konut sorununun çözümünde uygun bir seçim olabilir [4].

Kerpiç, ucuz ve kolay temin edilebilen, işçiliğı az ve köy şartlarına uygun bir yapı malzemesidir [5].

Kerpicingin, en çok mukavemetsiz olduğu yer su ile temas ettiği kısımlarıdır. Bu bakımdan, kerpiç yapıların sudan korunması için gerekli tedbirlerin alınmaması

halinde bu yapılar kısa ömürlü ve bundan da önemli olarak tehlikeli de olabilmektedirler [6].

Toprak malzemenin en belirgin iki sakıncalı yönü, basınç dayanımının az, rutubete karşı duyarlılığının fazla olmasıdır. Ülkemizde bir çok yörede, yeterli iyi kalitede toprak bulmak mümkündür. Daha iyi, yani, basınca daha dayanıklı, rutubete karşı duyarlılığı daha azaltılmış, suda dağılmayan, yüzeyleri düzgün ve toz üretmeyen kerpiç elde etmek amacıyla, toprağa çimento, kireç, alçı ve diğer bazı katkı maddeleri katılır [3].

Kerpicin özelliklerini iyileştirmek amacı ile en çok uygulanan yöntem kerpiç toprağına bağlayıcı madde ilave edilerek yapılan stabilizasyon çalışmalarıdır [7].

Kerpicin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve suya karşı direncini arttırmak için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi katkı malzemesi ile kerpiç toprağını stabilize etmek, diğeri de duvar yüzlerine sıva, badana ve boya tatbik ederek dış tesirlerden koruma sağlamaktır [8].

Bu çalışmada, klasik yöntemler ile üretilen kerpiçlerin, silis dumanı katkısı ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu araştırmada, silis dumanının, toprak ve saman ile klasik yöntemlerle üretilen kerpiçlerin, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelendiğinden, silis dumanı, toprak ve kerpiç ile ilgili kaynaklar incelenmeye alınmıştır.

Kerpiç, kum, silt ve kil karışımı olan toprağın, su ve katkı maddeleri ile karıştırılıp bir harç haline getirildikten sonra, özel kalıplar içerisinde şekillendirilerek, güneşte kurutulmaları ile elde edilen bir yapı malzemesidir [5].

Kerpiç, ısı yalıtım değeri yüksek bir malzemedir. Her mevsimde bina içindeki kullanıcıya en uygun yaşam koşullarını sağlar. Bu yönüyle ayrı bir ısı yalıtım malzemesine ihtiyaç bırakmayarak ekonomi sağlamaktadır [9].

Kırsal ve tarımsal karakteri olan yerlerdeki ekonomik durum, taş, tuğla, ahşap vb. gibi yapı malzemelerinin pahalı olması ve güç temin edilmesi, yeterli ve ucuz malzeme olan kerpicing kullanılmasını teşvik etmektedir [5].

Kerpiç, ucuz ve kolay elde edilebilen, işçiliği az ve köy şartlarına uygun bir yapı malzemesidir. Diğer taraftan, ısıyı az geçirmesi, yangından az zarar görmesi ve sesi az geçirmesi gibi faydaları bulunmaktadır. Buna karşılık, suya karşı dirençsizliği, mekanik etkenlere karşı az dayanıklı olması gibi sakıncaları vardır. Bu nedenle, taşkın yataklarda, su taşma tehlikesi olan yerlerdeki yapılarda ve deprem bölgelerinde kullanılması istenmez [5].

Toprak yapı sistemi sadece kırsal bölgeler için ve çağdaş malzemeler bulunmadığında kullanılan ilkel bir sistem olarak görülmemelidir. Aksine en ileri düzeydeki konfor şartlarını, önemli ölçüde enerji ve maliyet indirimi sağlayarak yerine getiren bir yapı türüdür. Gelişmiş ülkelerde enerji darlığı ve çevre kirliliği gibi ağırlık kazanan nedenlerle, gelişmekte olan ülkelerde ise yerleşme sorununa ancak bu yolla çözüm getirilebileceği görülerek, tüm dünyada toprak yapıya yönelme görülmektedir [9].

Kerpiç, yapı yerinde kolaylıkla hazırlanabilir. İşçiliği az ve ucuzdur. Kalıplara dökülmesi ile duvarda kullanılması arasında geçen zaman kısadır. Kurutulması kolaydır. Rutubete karşı yeterli miktarda korunmak şartı ile uzun zaman dayanabilir [10].

TS 2514'e göre geleneksel olarak üretilen kerpiçlerin boyutlarının sınıflandırılmaları Çizelge 2.1'de, TS 537'ye göre üretilen çimentolu kerpiçlerin boyutlarının sınıflandırmaları ise Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Geleneksel yöntemlerle üretilen kerpiçlerin boyutlarına göre sınıflandırılması [11]

Sınıflar		Boyutlar (cm)
I	Kuzu	12x19x40
II	Ana	12x30x40
III	Kuzu	12x18x30
IV	Ana	12x25x30

Çizelge 2.2. Çimentolu kerpiçlerin boyutlarına göre sınıflandırılması [12]

Sınıflar	Sembolleri	Boyutlar (cm)
Çimentolu Modüler Kerpiç	M-ÇK	19x9x8,5
Çimentolu Kare Kerpiç	K-ÇK	19x19x13,5
Çimentolu Orta Kerpiç	O-ÇK	29x19x13,5
Çimentolu Büyük Kerpiç	B-ÇK	39x19x13,5
Çimentolu Enli Kerpiç	E-ÇK	39x29x13,5

Ülkemizin kırsal kesiminde halen barınmak için çoğunlukla kerpiç yapılar kullanılmaktadır. Bu yapılara ait örnek resimler, Resim 2.1, Resim 2.2, Resim 2.3 ve Resim 2.4' de verilmiştir.



Resim 2.1. İznik Sansarak köyündeki kerpiç yapılar



Resim 2.2. Harput'ta kerpiç yapı



Resim 2.3. Kaman Savcılı köyünde kerpiç yapı



Resim 2.4. Gümüşhane Kelkit'te kerpiç yapı

Kerpicin ısı tutucu bir malzeme olması kışın ısıtma yazın soğutma enerjisinden ve yakıttan tasarruf sağlamakta, kerpiç yapı uygun ısı ve nem dengesi ile sağlık açısından da iyi bir biyoklimatik konfor sağlamaktadır [13].

Diğer yapı malzemelerinin geri dönüşümü söz konusu olmadığı halde kerpiç öğütülüp, ıslatılarak yeniden kullanılabilmekte zaman içinde toprağa karışarak doğaya zarar vermemektedir [14].

D.İ.E. tarafından, 1960 yılında yapılan araştırma sonucunda, ülkemizin çeşitli bölgelerinde kerpiç ile inşa edilen köy konutlarının, aynı bölgelerin toplam köy konutları içindeki dağılım oranları aşağıdaki şekildedir. Bu konuda yeni bir araştırma yapılmadığından bu veriler esas olarak alınmıştır [2].

- Orta Anadolu Bölgesinde	:	% 41,97
- Marmara ve Trakya Bölgesinde	:	% 30,29
- Batı Anadolu Bölgesinde	:	% 25,07
- Güney Doğu Anadolu Bölgesinde	:	% 36,31
- Doğu Anadolu Bölgesinde	:	% 19,31
- Akdeniz Bölgesinde	:	% 24,06
- Karadeniz Bölgesinde	:	% 9,74

Ülkemizin çeşitli bölgelerindeki binalarda, özellikle ziraat işletmeleri binalarında kerpicin yapı malzemesi olarak kullanılmasının ve tercih edilmesinin sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kerpicin ilkel malzemesi olan toprağın, her yerde kolaylıkla temin edilmesi mümkündür.
- Kerpiç yapımı için fazla teknik bilgiye ihtiyaç duyulmaz ve imalat işlemi kolaydır.
- Kerpiç yapı malzemesinin, maliyeti ucuzdur ve çiftçinin hizmetinden arta kalan atıl zamanının değerlendirilmesine imkan verir.
- Yapı malzemesi olarak kullanıldığı binalarda, iyi bir ısı ve ses yalıtımı sağlar.
- Yapı işçiliği kolaydır ve fazla zaman sarfını gerektirmez.

Binaların inşasında kerpiç malzeme kullanılmasının bu iyi özelliklerine karşılık, bazı sakıncaları da vardır. Bunlardan en önemlileri; basınç mukavemetinin düşük oluşu, su ile temas ettiğinde sahip olduğu basınç direncinin ve stabilitesinin azalması hususlarıdır. Fakat yukarıda sayılan avantajları sebebiyle, kerpiç, ziraat işletmeleri binalarının ve özellikle köy binalarının önemli durumu muhafaza etmektedir [15].

Yıllık yağışı düşük olan bölgelerde, tek katlı binaların inşasında kerpici duvar yapı malzemesi olarak kullanılması önemli bir sakınca göstermez. Fakat, deprem bölgelerinde kullanılan kerpiç malzemenin basınç direncinin daha yüksek olması ve yağışı fazla olan bölgelerde kullanılan kerpicingin ise, su ile temasta stabilitesini muhafaza edebilme özelliğine sahip olması arzu edilir [15].

İnşaat yerine mümkün olduğu kadar yakın bir yerde bulunabilen, ucuz, maliyeti azla artırmadan yerli işçilerin kolaylıkla öğrenip uygulayabileceği bir yapı malzemesi olarak tanımlanan kerpicingin sayılan özelliklerinden dolayı çok kullanıldığı bilinmektedir. Malzeme seçimine dikkat edilmesi ve hidrolik bağlayıcılar katmadan istenilen nitelikte kerpiç elde etme yollarının aranması ve kerpiçle yapı yapma metotlarının geliştirilmesi gerekir. Kerpicingin şekillendirilip kurutulması ve bunun duvar örgü malzemesi olarak kullanılmasının; kerpiç harcının kalıplar arasına dökülerek bütün bir duvar olarak kurumaya bırakılmasına tercih edilecek bir seçenek olduğu görülür [1].

Kerpiç imali sırasında kerpiç toprağına bazı stabilizan maddeler karıştırılmasının; kerpicingin bazı mekanik özelliklerini iyileştirici etkide bulunduğu bilinmektedir. Kerpiç toprağına çeşitli stabilizan maddeler katılmasından beklenen hususlardan en önemlileri, kerpicingin sudan olumsuz yönde etkilenmesini önlemek ve basınç mukavemetini yükseltmektir [15].

Kerpiç toprağına çeşitli kimyasal maddeler katarak özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan malzemeler iki grupta toplanabilir. Reçineler, elektrolitler, organik katyonlar ve bitümlü maddeler, tecrit maddesi sınıfına; kireç, kireç-puzolan karışımı ve çimento ise bağlayıcı maddeler sınıfına

sokulmaktadır. Bu maddeler içinde çimento ile stabilizasyon, kerpiç yapımına en uygun olarak gösterilmektedir [2].

Anadolu’da yüzyıllardan beri pişmiş toprak, kireç ve sudan oluşan tarihi bir bağlayıcı olan “Horasan” harcı kullanılmıştır. Bu tarihi harçtan esinlenerek, öğütülmüş tuğla ve kiremit atıkları kireç ve uçucu kül ile birlikte kerpiç toprağına katılmış ve kerpiç için standartta öngörülen değerlerin üzerinde basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir [16].

Kerpicingin, suya ve basınca karşı direncini artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan stabilize edici katkı malzemelerinin belli başlıları, portland çimentosu ve emülsiyel asfalttır. Çimento ve emülsiyel asfalt gibi bağlayıcı maddeler ilavesiyle elde edilen kerpiç toprağı, sıkıştırılırsa katkı maddesi oranının yüksekliğine bağlı olarak prese kerpicingin direnci yükselir [5].

Kerpicingin basınç direncinin düşüklüğü, su ile temasta stabilitesini muhafaza güçlüğü gibi arzu edilmeyen mekanik özelliklerinin; imalat sırasında kerpiç toprağına çeşitli stabilizan maddelerin karıştırılması, kerpiç harcının statik basınç altında kalıplanması gibi bazı tedbirlerle iyileştirilmesi mümkündür [17].

Kerpicingin hammaddesi olan toprak, suya karşı herhangi bir mukavemete sahip olmadığı için bundan yapılan kerpiçlerden de bu yönde bir mukavemet beklenmemelidir. Su ile temasta bulunan veya su içinde kalan kerpiçler oldukça kısa bir zamanda dağılmaya ve bünyesini değiştirmeye mahkumdurlar. Esasen kerpiçlerin en belli başlı kusurları arasına giren suya karşı dirençsizliğini azaltmak veya kısmen ortadan kaldırmak amacıyla kerpiçlerin, asfalt, katran gibi malzemelerle stabilize edilmesi mümkün ise de, bu gibi malzemelerin pahalı oluşları ve özellikle kerpiç yapıların kullanıldığı bölgelerde zor bulunması kerpicingin bu gibi maddelerle suya karşı dayanıklılığını artırmak ekonomik olmamaktadır. Bu bakımdan, kerpiçlerin, suya karşı dayanıksız oluşlarının her an göz önünde bulundurulması gerekir [6].

Kerpiçte stabilizan olarak kullanılan maddelerden biri de kireçtir. Toprak zeminin stabilizasyonunda kullanılan kireç, toprak çeşidine göre değişen miktarlarda

kullanılması tavsiye edilmektedir. Tavsiye edilen ağırlık karışım oranı, az plastik topraklar için % 2-5, fazla plastik topraklar için % 5-10 arasında değişmektedir. Zira kireç, az plastik toprakların plastikliğini artırır, fazla plastik toprakların plastikliğini azaltır. Böylece toprak çeşidine uygun olarak karıştırılan kireç, toprağın yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini artırabilir [15].

Toprak bünyesine karıştırılan kirecin, toprak malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirici etkilerinden biri, toprağa karıştırılan kireçle çoğalan  $Ca^{++}$  iyonlarının toprak bünyesinde mevcut  $H^+$  ve  $Na^+$  gibi diğer iyonlarla yer değiştirmesi; diğeri kirecin bağlayıcı etkisi; bir diğeri ise, kirecin zamanla karbonat şekline çevrilerek sertleşmesidir. Kirecin iyon değişikliği etkisi, kerpiç çamurunun ve dolayısıyla kerpicingin röversibilite ve rötire özelliğini azaltır. Kirecin, kerpiç içinde uzun süre devam eden karbonatlaşması ve puzolanik etkisi, kerpiç basınç mukavemetinin yükselmesine yardım eder [15].

Çimento ve kireç karıştırılarak imal edilen toprakların plastik kıvama getirilmesi için ilave edilen suyun önemli rolü, çimentonun hidratasyonunu temin etmektir. Yaş kerpiçler içindeki bu suyun zamanla buharlaşması sebebiyle, kerpiçlerin dinlendirilmesi süresince, hidratasyon için gerekli miktarda muhafazası mümkün olamaz. Bu sebeple çimentolu kerpicingin imalinden sonra, kerpiç yüzeyinin kurummasını takiben en az 4 gün, günde birkaç kere sulanması gerekmektedir. Sulama işlemine 4 hafta devam edilmesi halinde daha iyi sonuçlar alınabilmektedir [15].

Stabilizan maddeler etkisiyle kerpicingin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde; bu maddelerin katılma oranı kadar, kerpiç ana maddesi olan toprağın kendi özelliklerinin de etkisi vardır [15].

Kerpiç yapılarda iyi sonuç almak için dikkat edilmesi gereken husus, bu iş için uygun toprak türünün seçilmesidir. Toprak yapı malzemesinin en belirgin sakıncalı yönü, basınç dayanımının ve suya karşı dayanımının azlığı, birim ağırlığının fazla olmasıdır [2].

Türkiye’de bir çok yörede, yeterli kalitede toprak bulmak mümkündür. Bu kaliteli toprakla, kerpicin teknik özelliklerini iyileştirmek amacıyla değişik bağlayıcıların kullanıldığı bilinmektedir [2].

Kerpicin üretiminde kullanılan toprak bilindiği gibi çok eski dönemlerden beri insanların barınmak için yararlandıkları malzemelerin başında gelmektedir. Toprağın yapı malzemesi olarak hemen hemen her yerde kolay ve bol tedarik edilebilmesi nedeniyle ise de, diğer yönden de topraktan oluşturulan yapının diğer malzemelerle yapılanlara nazaran birçok yönden daha yararlı olmasından kaynaklanır. Bugün toprak yapı, en az gelişmiş ülkelerden en gelişmiş ileri endüstri ülkelerine kadar, dünyanın her yerinde, üzerinde en çok çalışma ve araştırma yapılan konuların başında yer alanlardan biridir. Yapı malzemesi olarak toprağın kullanılması hem enerji tasarrufunu sağlayarak çevre kirlenmesinin önlenmesinde hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır [9].

Kerpiç yapımında kullanılan toprak, %20-40 arasında kil ihtiva etmeli, göz açıklığı 5 mm. olan kare gözlü elek üzerinde kalan miktar %3’den fazla olmamalıdır [12].

İyi tip kerpiç toprağı içindeki kum tanelerinin çapları hakkında kesin rakamlar verilmemektedir. Ancak toprak içindeki büyük çaplı kumların, kerpiç bünyesinin sağlamlığı üzerinde olumsuz etkisi olduğu kabul edilmektedir [18].

İnce malzemenin fazlası, büzülme ve çatlaklara neden olduğundan dolayı tercih edilmez. Kerpiç toprağında kaba kum ve bir miktar ince kum bulunması arzu edilir. Buna karşılık çakıl gibi daha kaba malzeme arzu edilmez. İdeal kerpiç toprağı kil, silt ve kum karışımıdır [5].

Çeşitli deneyler, kerpicin mekanik özelliklerinin, beton örneğindeki gibi, malzemenin doluluğu ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle toprağı oluşturan tanelerin büyüklüklerinin ayarlanması yani uygun granülometrinin sağlanması gereklidir [1].

Toprak malzemenin sıkıştırılarak yoğunluğunun yükseltilmesinde toprak içinde bulunan su miktarının büyük etkisi vardır. Toprağı ilave edilen su, belirli bir katkı

oranına kadar; sıkıştırılma sırasında toprak zerrecilerinin birbiri üzerinden kolayca kayarak, hava boşluklarının doldurulmasına ve böylece yoğunluğun artmasına yardım eder. Fakat belirli bir sınırdan sonra, katılmaya devam edilen fazla su, toprak zerrecikleri tarafından doldurulması arzu edilen boşluğu işgal eder. Böylece fazla su kerpiç yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Sıkıştırmada tatbik edilen basıncın fazlalığı, sıkıştırılan harç kitlesinin yoğunluğunun artmasına yardım eder [15].

Sıkıştırılarak elde edilen kerpiç malzemenin yoğunluğunun artması, bu kitlenin su geçirgenliğini ve su emme kapasitesini azaltır [19].

İşlenebilmesi için katı halden plastik hale getirilmesi amacı ile toprak içine ilave edilmesi gereken su miktarı, kerpiç toprağının fiziki karakterine göre değişir. Gerektiğinden fazla su ilave edilerek imal edilen kerpiçlerde; suyun zamanla buharlaşmasından arta kalan hava boşlukları, kerpicingin basınç direncini zayıflatır. Bu sebeple kerpiç toprağına ilave edilen suyun, ancak kerpiç imaline uygun plastik bir kıvam meydana getirebilecek oranda olması gerekir [15].

Toprak malzemenin plastiklik derecesi, iki metotla değerlendirilebilir. Bunlardan biri toprağın akıcılık limitine, diğeri ise plastiklik indeksine dayanır. Esasen her iki değerlendirmede birbirine paralel anlam taşır. Toprağına plastik limitten itibaren ilave edilen su, onun işlenebilme özelliğini artırır. Fakat bu limitten sonra ilave edilen su, kerpicingin kurumması sırasında gösterdiği arzu edilmeyen rötne özelliğini de artırır. Bu nedenle, kerpiç harcındaki su miktarının, kerpiç yapımını kolaylaştırabilecek plastikliği sağlayan su oranından fazla olmaması gerekir. Aynı anlama paralel olarak, kerpiç toprağına ilave edilecek su miktarının, bu toprağın akıcılık limiti ve plastiklik indeksi içinde olması gerekir. Aksi halde, aynı nedenden dolayı, kerpicingin kurumması sırasında göstereceği rötne de fazla olur [15].

Topraklar, plastiklik özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Atterberg'e göre; plastiklik indeksi 7'den küçük olan topraklar az plastik, 7-17 arasında olanlar orta plastik, 17'den büyük olanlar fazla plastik topraklardır. Burmister ise; bu sınıflandırmayı genişleterek, plastiklik indeksi 1-5 arasında olan topraklar pek az plastik, 5-10 arasında olanlar az plastik, 10-20 arasında olanlar orta plastik, 20-40

arasında olanlar fazla plastik, 40'dan fazla olanlar ise çok fazla plastik olarak adlandırılmaktadırlar [1].

Plastiklik indeksi küçük olan toprakların bünyesindeki kum miktarı, genellikle fazladır. Buna karşılık plastiklik indeksi büyük olan toprakların bünyesinde, kil-silt miktarı fazla olur. Böylece, plastiklik indeksi küçük olan toprak çeşidi ile imal edilmek istenen kerpice fazla su ilave edilmesi gerektiği anlaşılır [2].

Kerpiçte istenmeyen özelliklerden biri olarak söz edilen çatlak oluşumu, kuruma sırasındaki kerpiç çamurunun su miktarının giderek azalması ve sonunda rötre limitine ulaşması şeklinde açıklamak mümkündür. Bu nedenle kullanılan toprağın plastisite ve rötre özelliklerinin istenilen nitelikte kerpiç elde etmede önemli rolü vardır. Ayrıca, kerpiç basınç dayanımının su muhtevası ve kum yüzdesi ile yakın ilişkisi vardır. Kurumanın yavaş olmasının sağlanması, depreme karşı hafif çatılar yapılması ve dış tesirlere karşı da boya, badana gibi çözümlere gidilmesi gerekmektedir [2].

Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçaları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur [20].

Atık bir malzeme olmasına rağmen SD yüksek puzolanik özelliğe sahip olması nedeniyle hem bir yan ürün konumuna girmiş hem de diğer puzolanik malzemelerin içinde en kıymetlisi durumuna geçmiştir. SD silikon metali veya silikonlu metal alaşımı üreten fabrikalarının bir yan ürünü olup, günümüzde beton ve çimento katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [21].

SD, yüksek oranda (%85-98)  $\text{SiO}_2$  içeren, puzolanik özelliğe sahip, gri renkli, çimentodan 100 kat daha ince, 0,1-0,2 mm. çapında toz halinde bir malzemedir. İçerdiği karbon oranına bağlı olarak koyu gri veya beyaza yakın renk alır [22].

## 2.1. Kerpiç ve Silis Dumanı ile İlgili Önceki Araştırmalar

SD'nin değerlendirilmesi konusundaki ilk çalışmalar, çevre koruması programıyla 1950'li yıllarda Norveç'te başlamıştır. Çok ince taneli ve puzolonik özelliği yüksek olan bu maddenin çimento katkısı olarak kullanımı NORÇEM firması tarafından 1969'da denenmiştir. SD'nin betonun bir çok özelliği üzerindeki olumlu etkisinin ortaya çıkması ile bu konu üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır [23].

Erol, uçucu kül katkısıyla kerpiç üretimi üzerine bir araştırma yapmış ve ürettiği kerpiç'in basınç dayanımları ve suya karşı dayanımları, katkı maddelerine göre karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ise, uçucu küllü kerpiçlerin basınç dayanımları çimentolu ve samanlı kerpiçlere göre daha iyi olduğunu belirlemiştir [2].

Durmuş, çeltik kavuzu katkısıyla kerpiç üretimi üzerine bir araştırma yapmış ve çeltik kavuzu katkılı kerpiç çamuruna çimento ilavesi ile yığma binalar için duvar malzemesi olarak kullanılabilir bir malzeme olabileceğini belirtmiştir [1].

Postacıoğlu, kerpiç malzemesine çimento ilave edilmesinin, başta basınç dayanımı olmak üzere, suya karşı direnci ve donmaya karşı dayanıklılığı artırdığını, böylece, malzeme maliyetinde oldukça küçük bir artışa karşılık önemli üstünlükler elde edildiğini, bu malzeme ile yapıların ömürlerinde önemli derecede artış olacağını belirtmiştir [2].

Alkan, 1964'te yapmış olduğu çalışmada, düşük basınç dayanımı ve suya karşı dirençsizliği kerpicingin başlıca teknik kusuru olduğundan, ekonomik nedenlerle çok kullanılan bu yapı malzemesinin söz konusu kusurlarının giderilmesi için kerpiç yapılacak toprağa, hacim olarak 1/10-1/18 oranında çimento katılmasını önermiştir. Bu şekilde elde edilen çimentolu prese kerpiçlerin, suya dayanımının ve donma-çözülme direncinin yüksek, ısı ve ses izolasyonu bakımından yapı malzemesi olarak kullanılabilir niteliklere sahip olduğu belirtmiştir [2].

Gerbrandt ve arkadaşları, A.B.D.'de yapı malzemesi olarak kerpicingin hangi oranlarda kullanıldığını belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmada, kerpicingin sadece güney batı

bölgelerinde kullanıldığını, halen 176.000 kerpiç yapı bulunduğunu ve her yıl bu sayıya 1.500 civarında ilave yapı yapıldığını belirtmişlerdir [24].

Homans ve arkadaşları, yapıda malzeme olarak kerpiç kullanıldığında, ekonomik, ses izolasyonu fazla, yangına karşı dayanıklı, işçilik giderleri düşük ve ısıtma giderleri az olan bir konut elde edilebileceğini belirtmişlerdir [25].

Aslan ve arkadaşları, kerpiç duvarların su geçirimsizliğini sağlamak amacıyla, içeriğinde asfalt bulunan malzemenin duvar yüzüne püskürtülerek su geçirmez hale gelen yüzeyin badanalanmasının çabuk ve etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir [26].

Değirmenci, yaptığı çalışmada, kerpicing özelliklerini geliştirmek ve zayıf yönlerini kısmen de olsa giderebilmek amacı ile katkı olarak endüstriyel atık ürün olan, gübre fabrikası atığı fosfoalçı ve termik santral atığı uçucu kül kullanılmıştır. Kerpiç stabilizasyonunda uçucu kül ile birlikte fosfoalçı kullanımının, basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar vermekle birlikte suya karşı dayanımının bir miktar azaldığından belirtmiştir [4].

Acun ve arkadaşları, bugünün uygarlık düzeyinde her türlü konforu, en kolay, en ucuz ve en az enerji gereksinmesi ile sağlayabilecek; niteliği iyileştirilmiş kerpiç malzemesinin özellikle kırsal yörelerde yapılaşmaya önemli katkısı olacağından ve belirtmişlerdir [5].

Kafesçioğlu, yaptığı çalışmada, geleneksel metotla üretilen kerpiç yerine farklı karakterdeki killi topraklara değişik oranlarda alçı-kireç ve kireç katarak kerpicing özelliklerinde ortaya çıkan farklılıkları incelemiştir. Sonuç olarak; topraktan, basit işlemlerle ve bazı katkılarla yığma yapılar için yeterli özelliklere sahip bir duvar malzemesi üretmenin mümkün olabileceğini, toprağa alçı katkısının diğer bağlayıcılara nazaran olumlu sonuçlar verdiğini, yapı sektöründe önemli ölçüde enerji sağlayacağı ve kalkınma için gerekli diğer alanlara kaynak kaydırabileceğini, kendi evini yapan kişilerin emeklerinin değerlendirilmesine imkan sağlayacağını, ülkemizde, yoğun kent merkezleri dışındaki yerleşim birimlerinde konut ve hizmet

binalarının yapılmasında, alçı katkılı kerpiç kullanılarak sorunların çözümünde olumlu yaklaşımlar gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir [2].

Alkan, kerpiç toprağına % 10 oranında karıştırılan çimentonun, prese kerpiçlerin su ile temasta plastik veya likit hale dönüşmelerini (reversibilitelerini) engelleyici bir etki yaptığını, aynı dozajdaki (% 10) çimentonun, dökme kerpiçlerde reversibilite özelliğini sağlayabilmesi ancak % 36-66 oranında kum ihtiva eden tiplerde mümkün olduğunu belirtmiştir [15].

Long ve arkadaşları, kerpiç toprağına karıştırılan çimentonun en küçük oranının % 6 civarında olması gerektiğini, bu oranın % 15'e doğru yükseltilmesiyle, daha iyi sonuçların elde edilebileceğini belirtmişlerdir [27].

Hamady, çeşitli stabilizanlar karıştırılarak imal edilen prese kerpiç toprağında, yaklaşık % 75 kum, % 25 kil-silt bulunması halinde iyi sonuçların alınabildiğini belirtmiştir [15].

Sönmez, 1 m<sup>3</sup> kerpiç toprağına ortalama olarak, 20 kg. çürümemiş, temiz, ince döğen samanı katıldığında, çatlamayı engelleyici rolü sebebiyle iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir [28].

Akray, içerisine çimento ve samanın birlikte ilave edildiği toprak malzeme ile imal edilen kerpiçlerin, basınç yönünden iyi sonuç verdiğini belirtmiştir [15].

Balaban, yaptığı çalışmada, kerpiç hammaddesi olan toprağın, belirli fiziksel özelliklere sahip olması ve başlıca elemanları olan kil ve kumun, uygun oranlarda karışımına dikkat edilmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Su miktarının iyi ayarlanması gerektiği, 1 m<sup>3</sup> toprağına 20-100 kg çimento ilavesinin basınç dayanımını düşürdüğü buna karşılık suya karşı direncin arttığından söz etmektedir. Kerpicin yüzeyine katran sürülmesi ise, pahalı fakat suya karşı direnci artırıcı bir yol olarak belirtmiştir [2].

Eriç ve arkadaşları, kırsal kesimde geleneksel yöntemlerle hazırlanan kerpiçlerin, uygulayıcı açısından ekonomik ve pratik önerilerle kalitesinin yükseltilmesinin

amaçlandığı ifade edilerek, kerpiçlerin düşük basınç dayanımı ile suda çözülme gibi olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır. Yapılan deneyler irdelendiğinde, bitkisel katkı maddelerinin hiçbir etkisinin olmadığı, kerpiç harcındaki fazla suyun basınç dayanımını azalttığı, buna karşılık %15 alçı ve kireç katılmasının, blokların sıkıştırılarak hazırlanmasının kaliteyi artırdığı sonuçlarına varıldığından belirtmişlerdir [29].

Şimşek ve arkadaşları, kerpicin olumsuz yönlerini iyileştirmek amacıyla, kerpiç toprağı, uçucu kül ve samanla stabilize edilerek kerpiç blokların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak; suya dayanıklılık deneyinde, %10 oranında çimento ilave edilerek üretilen kerpiçlerin yıpranmalarının, diğer oranlara göre daha az olduğunu, ayrıca el kalıbı ile üretilen kerpiçlerin, pres makinesi ile üretilen kerpiçlere nazaran daha iyi sonuç verdiğini, dolayısıyla, uçucu küllü kerpiçlerin, el kalıbı ile daha ekonomik ve kolay bir şekilde üretilebileceğini belirtmişlerdir [30].

Özbek, SD'nin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak SD ilavesinin tüm karışımlarda su gereksinimini artırdığı dolayısıyla taze betondaki çökme miktarını azalttığını belirlemiştir [31].

Kılınçkale, 1996 yılında yaptığı çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, Silis dumanı, pirinç kabuğu küllü gibi yapay puzolanların ve trasın özelliklerini ve puzolanik aktivitesini incelemiştir. Sonuç olarak tüm puzolanların puzolanik aktiviteye sahip olduğunu belirtmiştir [32].

Çelik ve arkadaşları, yaptıkları araştırmada, çimento ağırlığının %5-10-15'i oranlarında SD ile yer değiştirmesi sureti ile elde edilen çimento pastalarının priz sürelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, %5 SD ikame oranında priz başlama ve bitiş sürelerinin etkilenmediği, %10-15 oranlarında ise belirgin olarak geciktiği belirtilmiştir [33].

Tokgöz ve arkadaşları, SD'nin, briket imalinde kullanılan çimentonun yerine %5, %10, %15 oranlarında ikame edilerek, briket imalinde kullanılabilirliği ve briketin

dayanımını araştırmışlardır. Sonuç olarak SD ikamesinin, birim hacim ktle değerlerinin azaldığını, donma-çözülme ve basınç mukavemeti değerlerini artırdığını belirlemişlerdir [34].

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzeme

##### 3.1.1. Toprak

Deneysel çalışmalarda, Çorum Bağlar mevki inşaat sahasından “TS 1901” İnşaat Mühendisliğinde Sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemlerine uygun olarak alınan killi toprak kullanılmıştır [35].

Yapılan toprak analizinde, bünyesinde %23 oranında kil bulundurduğu tespit edilmiş olduğundan yağsız toprak grubuna girdiği TS 2514’e göre belirlenmiştir [11]. Deneylerde kullanılan toprağın, fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kerpiç toprağının fiziksel özellikleri

ÖZELLİKLER	I. ÖRNEK	II. ÖRNEK
Likit Limit (%)	58	54
Plastik Limit (%)	32	29
Plastisite İndisi (%)	27	27
Rötre Limiti (%)	16	15
Birim Hacim Kütle (gr/cm <sup>3</sup> )	2,76	2,78
pH	7,5	7,5
Renk	Esmer	Esmer
ELEMEN %'leri		
Çakıl	-	-
Kum	54,21	55,36
Silt	22,15	23,12
Kil	23,64	21,52
Bünye	Kumlu-Killi-Tınlı	Kumlu-Killi-Tınlı

### 3.1.2. Silis dumanı

Antalya Etibank Elektrometalurji işletmesinden temin edilen FeSi tozu kullanılmıştır. Silis dumanı'nın kimyasal ve fiziksel analizleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Antalya Etibank Elektrometalurji silis dumanı'nın kimyasal özellikleri [20]

Kimyasal Özellikler	FeSi
SiO <sub>2</sub>	94,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,70
CaO	0,80
MgO	1,25
SO <sub>3</sub>	0,23
Kızdırma kaybı	0,75
Tayin edilemeyen	1,46
Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık ( gr / cm <sup>3</sup> )	2,21
Özgül Yüzey (m <sup>2</sup> / kg ) (BET Metodu)	20000

#### Silis dumanının fiziksel özellikleri

##### Renk

Silisyum tozunun rengi, açık sarı ve koyu gri arasında değişmektedir. Renkteki koyuluk karbon miktarı ile orantılıdır [31].

### Özgül ağırlık

Normal bir portlant çimentosunun  $3.10 \text{ t/m}^3$  olan değeri ile kıyaslandığında tipik bir SD'nin özgül ağırlığı  $2.20 \text{ t/m}^3$  'tür. Bazen bu değer  $2.50 \text{ t/m}^3$ 'e çıkabilir [31].

### Birim ağırlık

SD'nin birim ağırlığı, normal portlant çimentosu için verilen  $1200 \text{ kg/m}^3$  ile kıyaslandığında  $250\text{-}300 \text{ kg/m}^3$  'tür [31].

### Özgül yüzey (BET metodu)

Çoğunlukla küresel olan SD taneleri  $0,1 \text{ }\mu\text{m}$  civarında ölçülen ortalama çapları ile çimento tanelerinden yaklaşık 100 kere daha küçüktürler. Yüksek silis oranı silis dumanını etkin bir puzolan yapmaktadır. Ancak çok fazla olan incelik belirli bir kıvam için gerekli su miktarını artırmaktadır [31].

### Tane şekilleri

SD taneleri mükemmel küreler şeklindedir. Elektron mikroskobu altında taneler bir araya gelerek küre yığınları halinde gözükürler. Hidratasyondan sonra ise tamamen amorf bir görünüme sahip olurlar [31].

### **3.1.3. Saman**

Hayvan yemi olarak kullanılan patoz samanı kullanılmıştır.

### **3.1.4. Karışım suyu**

Deneyisel çalışmada, TS EN 1008' e uygun olan Çorum ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır [36].

### 3.2. Yöntem

Yapılan çalışmada, -Çimentolu Kerpiç Bloklar-Duvarlar İçin- TS 537 standardı esas alınmıştır. Bu standarda göre toprak ve kerpiç üzerinde yapılması istenen deneyler yapılmıştır. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler, Hitit Üniversitesi Çorum Meslek Yüksekokulu Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

TS 537'de özellikleri belirlenen toprak malzemenin kerpiç yapımına uygun olduğu belirlendikten sonra deney örneklerinin üretilmesine geçilmiştir.

Öncelikle göz açıklığı 30 mm. olan elekto toprak elenmiş ve 1 m<sup>3</sup> toprağa 500 lt. su katılarak çamur haline getirilmiştir. Karıştırma sırasında, 1 m<sup>3</sup> toprak içerisine 7 kg. patoz samanı ilave edilerek çamur hazırlanmıştır. Bu karışım 12 saat dinlendirilmiştir. Daha sonra, 120 x 180 x 300 mm. boyutunda hazırlanmış olan kalıplara sıkıştırmak suretiyle doldurulan çamur, kalıptan çıkarılarak kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi gölgede başlatılmış ve çevrilmek suretiyle bütün yüzeylerin aynı şekilde kuruması sağlanmıştır. Örnekler değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Üretilen kerpiçler, şahit numune olarak kabul edilmiştir.

Aynı işlem, kerpiç toprağına kütlece, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında SD ilave edilerek, her oran için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Deneyler için, ilave edilen SD oranlarının her birinden 5'şer adet, kerpiç üretilmiştir.

Bu araştırmada kullanılan kalıp Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1. Numunelerin üretildiği kerpiç kalıbı

### 3.2.2. Biçim ve görünüş özellikleri

Numune kerpiç blokların, dış görünüşlerinin dikdörtgenler prizması şeklinde, karşılıklı yüzlerin birbirine paralelliğine bakılmıştır. Kerpiçlerin kullanımında mahzur teşkil edecek boyut ve sayıda çatlak, çukur, çıkıntı ve kırık olup olmadığına bakılmıştır. Köşe ve kenarlarına gönye uygulanarak dik açıdan sapma miktarı tespit edilmiştir [12].

### 3.2.3. Birim hacim kütle deneyi

Deney numunelerin, TS 537 standardın da belirtilen esaslara uygun olarak, dış boyutları 0,1 mm. hassasiyetle ölçülerek hacimleri bulundu. Hacimleri bulunan numuneler,  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutuldu. Kurutmanın son dört saatlik süresi içinde numunenin ağırlığında % 0,5'den fazla azalma görülmediği için bu ağırlık değişmez ağırlık olarak kabul edildi. Numune, etüvden çıkarıldıktan sonra bir desikatörde soğutulup

0,1 g. hassasiyetle tartıldı. Elde edilen numuneye ait kütle (kg) , numunenin hacmine ( $\text{dm}^3$ ) bölünerek numunenin kuru birim hacim ağırlığı ( $\text{kg} / \text{dm}^3$ ) elde edildi [12].

$$d_h = G / V_h \text{ kg/dm}^3$$

Bu formülde;

$$d_h = \text{Birim hacim ağırlığı, kg/dm}^3$$

G = Kurutulmuş numunenin kütlesi, kg

$V_h$  = Numunenin hacmi ( b x l x h ),  $\text{dm}^3$ , dir.

### 3.2.4. Basınç mukavemeti deneyi

TS 537'ye uygun olarak üretilen numuneler, imal edildikten 28 gün sonra basınç deneyine tabi tutulmuş, deney cihazı Resim 3.2 ve Resim 3.3'te gösterilmiştir.

Deney numuneleri iki bloğun aralarına bir harç tabakası ilavesiyle üst üste konulması suretiyle hazırlandı. Deney numunesinin alt ve üst yüzeyleri, düzgün ayna camı kullanılarak aynı harçla başlıklandı.

Başlıklar döküldükten sonra, ilk iki gün doygun nemli bir yerde, sonra da  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve en az %55 bağıl nemli bir ortamda 5 gün olmak üzere toplam 7 gün süre ile bekletildi. Bu suretle hazırlanan ve yük uygulanacak yüzey boyutları ölçülen deney numunesi, deney presi başlıkları arasına ve tam ortasına gelecek şekilde yerleştirildi. Deney, basınç deney presinde, numuneler kırılana kadar artırılan bir (P) kuvveti uygulaması ile yapıldı. Kuvvet artışı, saniyede  $0,05 \text{ N/mm}^2 - 0,06 \text{ N/mm}^2$  olacak şekilde ayarlandı [12].



Resim 3.2. Basınç dayanımı ölçme cihazı

Numune basınç mukavemeti;

$$f_b = \frac{P_k}{A_o} \quad \text{N / mm}^2$$

formülü ile tam sayıya yuvarlatılarak bulunur. Bu formülde;

$f_b$  = Numunenin basınç mukavemeti,  $\text{N / mm}^2$

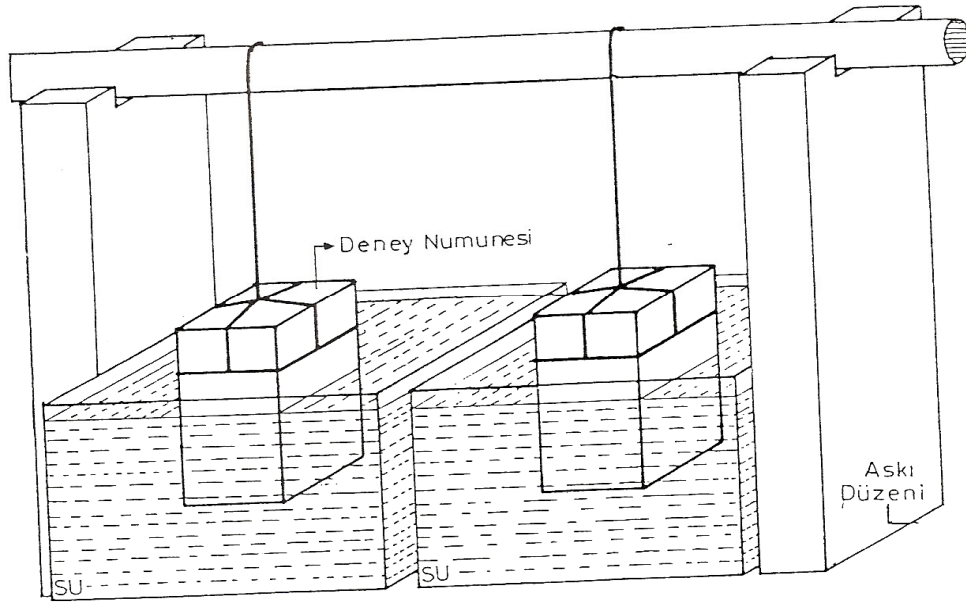
$P_k$  = Kırılma anındaki max. yük, (N)

$A_o$  = Basınç uygulanan yüzey alanı, ( $\text{mm}^2$ )' dir.

TS 537 Çimentolu Kerpiç Bloklar-Duvarlar İçin- ve TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları standartlarına göre, en düşük basınç dayanımının  $0,8 \text{ N/mm}^2$  olması gerektiği belirtilmiştir.

### 3.2.5. Suya dayanıklılık deneyi

Kerpiç deney numuneleri, alın yüzeyi alta gelecek şekilde askıya alınarak su dolu bir kabin yarısına kadar daldırıldı. Daldırılan kısım 2 saat süre ile gözlemlendi. 2 saat sonra suya daldırılan kısımlarda, çatlama, ayrılma, dağılma olup olmadığı tesbit edildi [12]. Numunelerin suya dayanıklılık deneyinin yapılışı, Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Suya dayanıklılık deneyi yapılışı

### 3.2.6. İstatistik işlemler

Numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçların güvenilirliğini tespit etmek amacı ile SPSS 13.0. programı kullanılarak bilgisayar ortamında, tek yönlü varyans çözümü uygulanarak, ileri sürülen hipotezlerin doğruluğu 0,95 güvenilirlikte araştırılmıştır. Gruplar arasında hangi grubun farklı olduğunu tespit etmek amacı ile ise, yine SPSS 13.0. programı kullanılarak Scheffe testi uygulanmıştır.

## 4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

### 4.1. Biçim ve Görünüş Özellikleri

Numune kerpiç blokların, dış görünüşlerinin dikdörtgenler prizması şeklinde, karşılıklı yüzlerin birbirine paralel olduğu, kerpiçlerin kullanımında mahzur teşkil edecek boyut ve sayıda çatlak, çukur, çıkıntı ve kırık olmadığı görülmüştür. Üretilen numunelerin biçim ve görünüşleri Resim 4.1’de verilmiştir.



Resim 4.1. Numunelerin biçim ve görünüşleri

#### 4.2. Birim Hacim Kütle

Numuneler üzerinde yapılan, birim hacim kütle deneyi sonucunda, şahit numune değeri  $1,337 \text{ kg/dm}^3$  bulunmuştur. SD ilave oranlarına göre sırasıyla, %5 oranında SD ilave edilen numune  $1,319 \text{ kg/dm}^3$ , %10 oranında SD ilave edilen numune  $1,284 \text{ kg/dm}^3$ , %15 oranında SD ilave edilen numune  $1,233 \text{ kg/dm}^3$ , %20 oranında SD ilave edilen numune  $1,228 \text{ kg/dm}^3$ , %25 oranında SD ilave edilen numune  $1,221 \text{ kg/dm}^3$ , değerleri elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde, SD ilave edilmesinin birim hacim kütle değerlerini düşürmüş olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.1' de, grafikler ise Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, birim hacim kütle değerleri

Deney No	Şahit Numune (%0) ( $\text{kg/dm}^3$ )	%5 Silis Dumanı Katkılı Numune ( $\text{kg/dm}^3$ )	%10 Silis Dumanı Katkılı Numune ( $\text{kg/dm}^3$ )	%15 Silis Dumanı Katkılı Numune ( $\text{kg/dm}^3$ )	%20 Silis Dumanı Katkılı Numune ( $\text{kg/dm}^3$ )	%25 Silis Dumanı Katkılı Numune ( $\text{kg/dm}^3$ )
1	1,348	1,324	1,301	1,236	1,238	1,216
2	1,346	1,302	1,249	1,226	1,215	1,228
3	1,328	1,314	1,278	1,222	1,224	1,221
4	1,335	1,325	1,311	1,239	1,233	1,223
5	1,327	1,331	1,281	1,244	1,229	1,219
Ort.	1,337	1,319	1,284	1,233	1,228	1,221
Değişim Oranları (%)	-	- 1,346	- 3,964	- 7,778	- 8,152	- 8,676

Deneyler sonucunda elde edilen verileri anlamlı hale getirmek ve sonuçların güvenilirliğini tespit etmek amacı ile tek yönlü varyans çözümü uygulanarak, aşağıda ileri sürülen hipotezlerin doğruluğu 0,95 güvenilirlikte araştırılmıştır.

$H_0$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, birim hacim kütle verilerine etkisi yoktur. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi yoktur )

$H_1$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, birim hacim kütle verilerine etkisi vardır. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi vardır )

Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.2’de verilerek hipotez test edilmiştir.

Çizelge 4.2. Varyans çözümleri tablosu

Kaynak	KT	sd	KO	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	0,063	5	0,013	$F_{\text{hesap}} = 76,883$ $F_{\text{tablo}} = 95F_{5,24} = 2,62$	0.0000
Gruplar İçi	0,004	24	0,000	$F_{\text{hesap}} > F_{\text{tablo}}$	
Toplam	0,067	29			

$$F_{\text{Hesap}} = 76,883 > F_{\text{Tablo}} = 95F_{5,24} = 2,62 \Rightarrow F_{\text{Hesap}} > F_{\text{Tablo}}$$

$H_0 : \tau_j = 0$  hipotezi red edilir. Bu, toprak içerisine SD ilave edilmesinin, birim hacim kütle verilerine etkisi yoktur, hipotezinin red edilmesi gerektiğı anlamına gelmektedir.

Gruplar arasında hangi grubun farklı olduğunu, aşağıda verilen hipotezi öne sürerek, Scheffe testi ile bulursak;

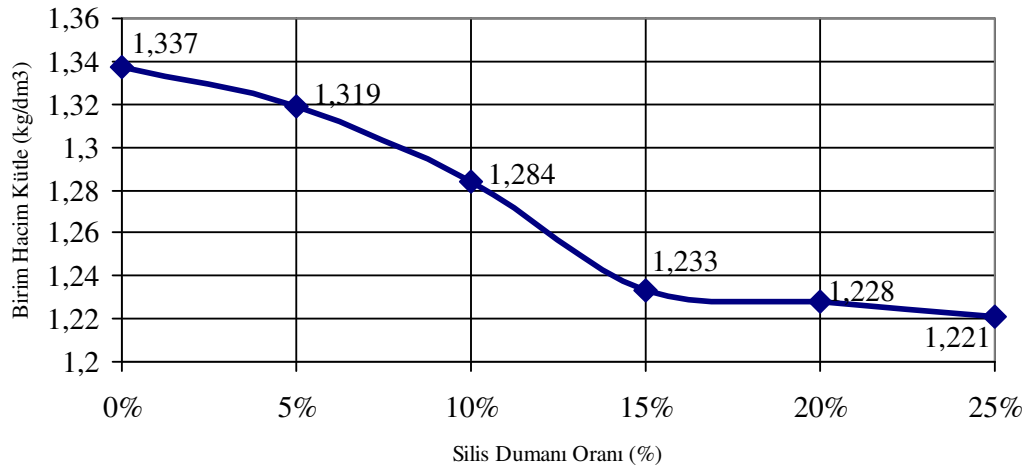
$H_0$  = Kerpiç gruplarının ortalama birim hacim kütle değerleri arasındaki fark önemsizdir.

Çizelge 4.3. Scheffe testi sonuçları

Gruplar Arası Karşılaştırmalar			Ortalamalar Arası Fark (I-J)	Önemlilik Derecesi (P)	Sonuç
Scheffe	% 0	% 5	0,017600	0,468	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,052800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,103400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	0,109000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 25	0,115400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
	% 5	% 0	0,017600	0,468	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,035200*	0,011	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,085800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	0,091400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 25	0,097800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
	% 10	% 0	0,052800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	0,035200*	0,011	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,050600*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	0,056200*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 25	0,062600*	0,000	H <sub>0</sub> Red
	% 15	% 0	0,103400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	0,085800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 10	0,050600*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	0,005600	0,992	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,012000	0,816	H <sub>0</sub> Kabul
	% 20	% 0	0,1090009	0,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 5	0,091400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 10	0,056200*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,005600	0,992	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,006400	0,985	H <sub>0</sub> Kabul
	% 25	% 0	0,115400*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	0,097800*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 10	0,062600*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,012000	0,816	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,006400	0,985	H <sub>0</sub> Kabul

\* Ortalamalar arasındaki fark 0,05 düzeyinde önemli

Sheffe testi sonuçlarına göre, incelenen kerpiçlerde birbirlerinden önemli derecede farklı üç grup vardır. (%15, %20, %25) grupları, diğer gruplara göre farklılık göstermektedir. (%25) grubu birim hacim kütle verilerinin en düşük olduğu grubu oluşturmaktadır. Dolayısıyla, birim hacim kütle deneyinde, %25 SD ilave edilmiş numune, en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 4.1. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, birim hacim kütle değerleri grafiği

### 4.3. Basınç Mukavemeti

Basınç mukavemet deneyi sonucunda, şahit numune değeri,  $1,593 \text{ N/mm}^2$  elde edilmiştir. %5 oranında SD ilave edilen numune  $1,687 \text{ N/mm}^2$ , %10 oranında SD ilave edilen numune  $1,718 \text{ N/mm}^2$ , %15 oranında SD ilave edilen numune  $1,709 \text{ N/mm}^2$ , %20 oranında SD ilave edilen numune  $1,612 \text{ N/mm}^2$ , %25 oranında SD ilave edilen numune  $1,605 \text{ N/mm}^2$ , değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, SD ilavesinin, basınç mukavemeti değerlerini artırdığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.4'te, grafikler ise, Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, basınç mukavemeti değerleri

Deney No	Şahit Numune (%0) (N/mm <sup>2</sup> )	%5 Silis Dumanı Katkılı Numune (N/mm <sup>2</sup> )	%10 Silis Dumanı Katkılı Numune (N/mm <sup>2</sup> )	%15 Silis Dumanı Katkılı Numune (N/mm <sup>2</sup> )	%20 Silis Dumanı Katkılı Numune (N/mm <sup>2</sup> )	%25 Silis Dumanı Katkılı Numune (N/mm <sup>2</sup> )
1	1,521	1,708	1,725	1,711	1,573	1,663
2	1,642	1,664	1,630	1,734	1,608	1,531
3	1,543	1,628	1,752	1,640	1,518	1,587
4	1,652	1,713	1,748	1,738	1,665	1,652
5	1,606	1,721	1,734	1,721	1,697	1,591
Ort.	1,593	1,687	1,718	1,709	1,612	1,605
Değişim Oranları (%)	-	+ 5,901	+ 7,846	+ 7,281	+ 1,192	+ 0,753

Deneyler sonucunda elde edilen verileri anlamlı hale getirmek ve sonuçların güvenilirliğini tespit etmek amacı ile tek yönlü varyans çözümü uygulanarak, aşağıda ileri sürülen hipotezlerin doğruluğu 0,95 güvenilirlikte araştırılmıştır.

$H_0$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, basınç mukavemeti verilerine etkisi yoktur. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi yoktur )

$H_1$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, basınç mukavemeti verilerine etkisi vardır. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi vardır )

Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.5’de verilerek hipotez test edilmiştir.

Çizelge 4.5. Varyans çözümleri tablosu

Kaynak	KT	sd	KO	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	0,080	5	0,016	$F_{\text{hesap}} = 5,630$ $F_{\text{tablo}} = 95F_{5,24} = 2,62$ $F_{\text{hesap}} > F_{\text{tablo}}$	0.000
Gruplar İçi	0,068	24	0,003		
Toplam	0,149	29			

$$F_{\text{Hesap}} = 5,630 > F_{\text{Tablo}} = 95F_{5,24} = 2,62 \quad \Rightarrow \quad F_{\text{Hesap}} > F_{\text{Tablo}}$$

$H_0 : \tau_j = 0$  hipotezi red olunur. Bu, kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, basınç mukavemeti verilerine etkisi yoktur, hipotezinin red olunması gerektiğı anlamına gelmektedir.

Gruplar arasında hangi grubun farklı olduğunu, aşağıda verilen hipotezi öne sürerek, Scheffe testi ile bulursak;

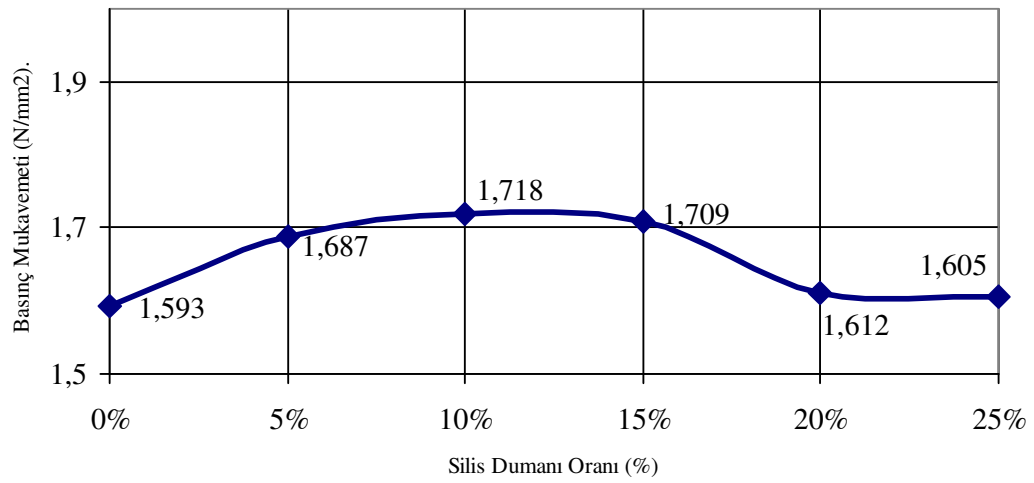
$H_0 =$  Kerpiç blok gruplarının ortalama basınç mukavemeti değerleri arasındaki fark önemsizdir.

Çizelge 4.6. Scheffe testi sonuçları

Gruplar Arası Karşılaştırmalar			Ortalamalar Arası Fark (I-J)	Önemlilik Derecesi (P)	Sonuç
Scheffe	% 0	% 5	0,094000	0,213	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,125000*	0,043	H <sub>0</sub> Red
		% 15	0,116000	0,071	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,019400	0,997	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,012000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
	% 5	% 0	0,094000	0,213	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,031000	0,972	H <sub>0</sub> Kabul
		% 15	0,022000	0,994	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,074600	0,453	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,082000	0,349	H <sub>0</sub> Kabul
	% 10	% 0	0,125000*	0,043	H <sub>0</sub> Red
		% 5	0,031000	0,972	H <sub>0</sub> Kabul
		% 15	0,009000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,105600	0,122	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,113000	0,083	H <sub>0</sub> Kabul
	% 15	% 0	0,116000	0,071	H <sub>0</sub> Kabul
		% 5	0,022000	0,994	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,009000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,096600	0,189	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,104000	0,133	H <sub>0</sub> Kabul
	% 20	% 0	0,019400	0,997	H <sub>0</sub> Kabul
		% 5	0,074600	0,453	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,105600	0,122	H <sub>0</sub> Kabul
		% 15	0,096600	0,189	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	0,007400	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
	% 25	% 0	0,012000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 5	0,082000	0,349	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	0,113000	0,083	H <sub>0</sub> Kabul
		% 15	0,104000	0,133	H <sub>0</sub> Kabul
		% 20	0,007400	1,000	H <sub>0</sub> Kabul

\* Ortalamalar arasındaki fark 0,05 düzeyinde önemli

Sheffe testi sonuçlarına göre, incelenen kerpiç bloklarda oluşturulan grupların birbirlerinden farkı vardır. Sonuç olarak, SD ilavesi, kerpiç blokların basınç mukavemetini artırmıştır. %10 SD ilaveli kerpiç numunesi en yüksek basınç dayanımı değerini vermiştir. Genel olarak bütün oranlar, basınç mukavemetini şahit numuneye göre artırmıştır. Ancak, %20, %25 SD katkılı değerlerindeki artış önemsenmeyecek kadar küçüktür.



Şekil 4.2. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, basınç mukavemet değerleri grafiği

#### 4.4. Suya Dayanıklılık

Suya dayanıklılık deneyine tabi tutulan kerpiç numunelerinin, genel olarak suya karşı olan hassasiyetlerinin devam ettiği gözlenmiştir. Şahit numune ve SD katkılı kerpiç numunelerinde dıştan içe doğru eriyerek yıpranma olduğu belirlenmiştir. Suya dayanıklılık deneyi sonucunda, numunelerin suda dağılma ortalama süreleri, şahit numune değeri 57 dakika, %5 oranında SD ilave edilen numune değeri 58 dakika, %10 oranında SD ilave edilen numune 60 dakika, %15 oranında SD ilave edilen numune 62 dakika, %20 oranında SD ilave edilen numune 60 dakika, %25 oranında SD ilave edilen numune 58 dakika, değerleri elde edilmiştir. Değerler incelendiğinde, SD ilave edilmesinin suya dayanıklılık değerlerini artırmış olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.7’de, grafikler ise, Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, suya dayanıklılık değerleri

Deney No	Şahit Numune (%0) (dk.)	%5 Silis Dumanı Katkılı Numune (dk.)	%10 Silis Dumanı Katkılı Numune (dk.)	%15 Silis Dumanı Katkılı Numune (dk.)	%20 Silis Dumanı Katkılı Numune (dk.)	%25 Silis Dumanı Katkılı Numune (dk.)
1	56	58	60	63	60	58
2	57	57	59	62	60	57
3	57	58	61	61	61	59
4	57	58	60	62	60	58
5	58	59	60	62	59	58
Ort.	57	58	60	62	60	58
Değişim Oranları (%)	-	+ 1,754	+ 5,263	+ 8,772	+ 5,263	+ 1,754

Deneyler sonucunda elde edilen verileri anlamlı hale getirmek ve sonuçların güvenilirliğini tespit etmek amacı ile tek yönlü varyans çözümü uygulanarak, aşağıda ileri sürülen hipotezlerin doğruluğu 0,95 güvenilirlikte araştırılmıştır.

$H_0$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, suya dayanıklılık verilerine etkisi yoktur. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi yoktur )

$H_1$  : Kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, suya dayanıklılık verilerine etkisi vardır. ( $\tau_j = 0$ , denemenin etkisi vardır )

Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.8’de verilerek hipotez test edilmiştir.

Çizelge 4.8. Varyans çözümleri tablosu

Kaynak	KT	sd	KO	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	84,167	5	16,833	$F_{\text{hesap}} = 33,667$ $F_{\text{tablo}} = {}_{95}F_{5,6} = 2,62$ $F_{\text{hesap}} < F_{\text{tablo}}$	0.0000
Gruplar İçi	12,000	6	0,500		
Toplam	96,167	11			

$$F_{\text{Hesap}} = 33,667 > F_{\text{Tablo}} = {}_{95}F_{5,6} = 2,62 \quad \Rightarrow \quad F_{\text{Hesap}} > F_{\text{Tablo}}$$

$H_0 : \tau_j = 0$  hipotezi red olunur. Bu, kerpiç toprağına SD ilave edilmesinin, suya dayanıklılık verilerine etkisi yoktur, hipotezinin red olunması gerektiğı anlamına gelmektedir.

Gruplar arasında hangi grubun farklı olduğunu, aşağıda verilen hipotezi öne sürerek, Scheffe testi ile bulursak;

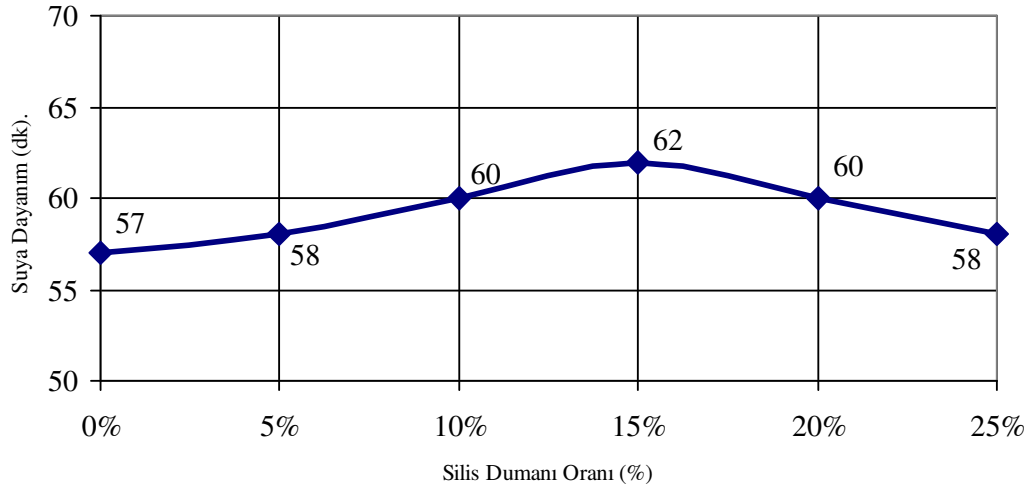
$H_0 =$  Kerpiç blok gruplarının ortalama suya dayanıklılık değerleri arasındaki fark önemsizdir.

Çizelge 4.9. Scheffe testi sonuçları

Gruplar Arası Karşılaştırmalar			Ortalamalar Arası Fark (I-J)	Önemlilik Derecesi (P)	Sonuç
Scheffe	% 0	% 5	1,000	0,439	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	3,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 15	5,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	3,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 25	1,000	0,439	H <sub>0</sub> Kabul
	% 5	% 0	1,000	0,439	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 15	4,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 25	0,000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
	% 10	% 0	3,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 15	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 20	0,000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 25	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
	% 15	% 0	5,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	4,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 10	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 20	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 25	4,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
	% 20	% 0	3,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 5	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 10	0,000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 15	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 25	2,000	0,009	H <sub>0</sub> Kabul
	% 25	% 0	1,000	0,439	H <sub>0</sub> Kabul
		% 5	0,000	1,000	H <sub>0</sub> Kabul
		% 10	2,000*	0,009	H <sub>0</sub> Red
		% 15	4,000*	0,000	H <sub>0</sub> Red
		% 20	2,000	0,009	H <sub>0</sub> Kabul

\* Ortalamalar arasındaki fark 0,05 düzeyinde önemli

Sheffe testi sonuçlarına göre, incelenen kerpiç bloklarda oluşturulan grupların birbirlerinden farkı vardır. Sonuç olarak, SD ilavesi, kerpiç blokların suya dayanımını artırmıştır. %15 SD ilaveli kerpiç numunesi en yüksek suya dayanımı değerini vermiştir. Genel olarak bütün oranlar, suya dayanıklılığı şahit numuneye göre artırmıştır.



Şekil 4.3. Silis dumanı katkılı kerpiçlerin, suya dayanıklılık değerleri grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmanın, deneylerle ilgili bölümlerinden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak yapılan istatistiksel çalışmaların sonuçlarını şu şekilde özetlemek mümkündür.

Üretilen kerpiçlerin birim hacim kütleleri, ilave edilen SD oranları ile orantılı olarak düştüğü görülmüştür. Birim hacim kütle deneyinde, en iyi sonuç, %25 SD ilaveli kerpiçlerde görülmüştür.

SD oranının karışımda artması sonucunda kerpiçlerin basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Özellikle, %10 oranında SD ilave edilmiş numunelerde basınç dayanımının en yüksek seviyeye geldiği gözlemlenmiştir.

Şahit numunelerin basınç dayanımları, ilgili standart'ta belirlenen değerler aralığında çıkmıştır.

SD ilave edilmiş, kerpiç numuneleri, suya dayanıklılık süreleri artmıştır. %15 SD katkılı numuneler, diğer oranlara nazaran daha iyi sonuç vermiştir.

SD ilavesinin, yapılan deney sonuçlarına göre, birim hacim kütle, basınç mukavemeti ve suya dayanıklılık bakımından avantaj sağladığı görülmüştür.

### 5.2. Öneriler

Kerpiç çamuruna, katkı maddesi olarak, SD ilave edilerek, yığma binalar için duvar malzemesi olarak kullanılabilir.

Ülkemiz kırsal kesiminde konut, hizmet binaları ve tarımsal yapıların inşasında, özellikleri iyileştirilmiş kerpiç kullanılarak, sorunların çözümüne olumlu yaklaşımlar getirebileceği, ayrıca atık malzeme olan SD'nin kerpiç üretiminde kullanılmasının ekonomik ve ekolojik açıdan fayda sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

SD ile yapılmış olan çalışmalar göz önüne alındığında, SD'nin puzolanik bir malzeme olduğu gerçeğinden hareketle bu tür çalışmaların farklı kür koşullarında ve farklı oranlarda deneysel incelemelerin yapılmasında fayda vardır.

Ülkemizde kerpiç üretiminde kullanılan hammaddesinin bol olması, ısı iletkenliğinin düşük olması, ekonomik olması, kerpiç malzemesi karışımına SD ve diğer katkı malzemelerinin ilave edilmesi sayesinde inşaat sektöründe kullanımının artırılması amaçlanmalı ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmalıdır.

SD'nin, kerpiç malzemesine ilave edilerek değerlendirilmesi sayesinde, bu atık malzemenin, çevre kirliliğine sebep olmasının da kısmen önüne geçilmiş olacaktır.

Kerpiç yapılar mutlaka sudan korunmalıdır. Su basman seviyesi altında kerpiç kullanılmamalıdır. Kerpiç duvarlar, normal kireç, harçlı sıva ile dış etkilerden korunmalıdır.

Doğal bir yapı malzemesi olan toprağın bina yapım sisteminde kullanımının yaygınlaştırılması sadece ülkemiz ve tüm dünya geleceği için çok önemlidir. Gelecek nesillere yaşanabilir, temiz çevreler bırakabilmek için, yapı üretim sisteminde sadece dayanıklı malzemelerin değil aynı zamanda çevreye duyarlı, geri dönüşümü olan, az enerji tüketen ve hesaplı malzemelerin seçilmesi fayda sağlayacaktır.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, SD + çimento ve SD + kireç karışımının kerpiç üretiminde denenmesi ve ısı iletkenliğinin ölçülmesi önerilebilir.

## KAYNAKLAR

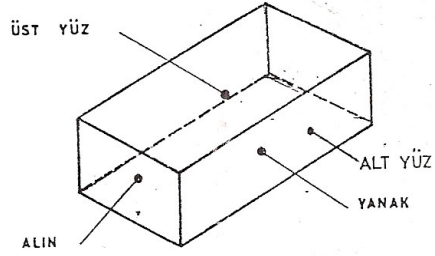
1. Durmuş, C., “Çeltik Kavuzu Katkısıyla Kerpiç Üretimi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-9 (1988).
2. Erol, Ö., “Uçucu Kül Katkısıyla Kerpiç Üretimi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-21 (2000).
3. Kafesçioğlu, R., Gürdal, E., “Çağdaş Yapı Malzemesi Alçılı Kerpiç”, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı*, Ankara, 1-15 (1985).
4. Değirmenci, N., “Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Ankara, 18 (3): 505-515 (2005).
5. Balaban, A., Şen, E., “Tarımsal İnşaat (Temel İlke ve Kavramlar)”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 904 (1984).
6. Sönmez, N., “Ziraat İşletmelerinde Kerpiç Yapılar ve Bunların Özellikleri”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 6-13 (1961)
7. Neuman, J.V., “Preservation of Adobe Construction in Rainy Areas”, *Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas Conference Proceedings*, Ankara, 185-189 (1986).
8. Austin, S.G., “Adobe and Related Building Materials in New Mexico”, *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, 417-421 (1990).
9. Acun, S., Gürdal, E., “Yenilenebilir Bir Malzeme: Kerpiç ve Alçılı Kerpiç”, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, Ankara, 427: 71-77 (2003).
10. Kafesçioğlu, R., “Orta Anadolu’da Köy Evlerinin Yapısı”, Yeterlilik Çalışması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 9 (1949).
11. TS 2514, “Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-11 (1977).
12. TS 537, “Çimentolu Kerpiç Bloklar- Duvarlar İçin”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-14 (1985).
13. Kamamba, D.M.K., “Cyclical Maintenance of Erathen Architecture as a Future Policy in Tanzania”, *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, 77-80 (1990).

14. Alvarenga, M.A.A., “Adobe Constructive Method and Thermic Characteristics”, *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, 357-362 (1990).
15. Alkan, Z., “Bazı Stabilizan Maddelerin (Çimento, Kireç, Çimento-Kireç, Bitüm Emilsiyonu ve Saman) Dökme Kerpiç ve Prese Kerpicin Önemli Mekanik Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Bülteni*, Erzurum, 1-10 (1969).
16. Baradan, B., “A New Restoration Material for Adobe Structures”, *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, 149-152 (1990).
17. Neubauer, L., W., “Adobe Construction Methods”, *California Agricultural Experiment Station*, Davis, 9-12 (1964).
18. Sönmez, N., “Ziraat İşletmelerinde Kerpiç Yapılar ve Bunların Özellikleri”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 180: 16 (1961).
19. Lambe, T., W., “Soil Stabilization, Foundation Engineering”, *Mc Graw- Hill Book Company*, Newyork, 354-357 (1962).
20. Yeğınobalı, A., “Silis Dumanı ve Çimento İle Betonda Kullanımı”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Arge Yayınları*, Ankara, 9-14 (2005).
21. Erdoğan, T., Y., “Beton”, *Ortadoęu Teknik Üniversitesi Yayınları*, Ankara, 191-198 (2003).
22. Halilov, S., “Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Lifli Betonların Özellikleri”, Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 72-90 (2003).
23. Yeğınobalı, A., “Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri*, Ankara, 149-167 (1993).
24. Gerbrandt, H., May, G., W., “The Extent of Adobe Use in The United States”, *International Workshop Earthen Buildings in Seismic Areas Conference Proceedings*, New Mexico, 95-110 (1981)
25. Homans, R., “Contractors! Reason Why You Should Be Buildings Skills”, *The Adobe News*, Albuquerque, 110-111 (1981).
26. Aslan, M., Satıya, R., C., “Waterproofing of Mud Walls”, *Second International Symposium on Moisture Problems in Buildengs*, Rotterdam 1-15 (1974).

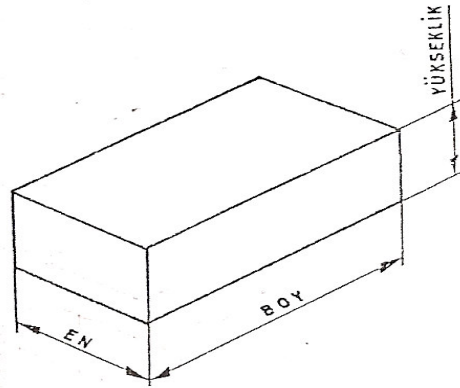
27. Long, J., D., Neubauer, L., W., “Adobe Construction”, *California Agricultural Experiment Station*, California, 27-29 (1946).
28. Sönmez, N., “Zirai Yapı Malzemesi Olan Kerpicin Özellikleri Üzerinde Araştırmalar”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 46-96 (1955).
29. Eriç, M., Anıl Ü., Çorapçıoğlu, K., “Kerpiç Malzemenin Türkiye Koşullarında Rasyonel Kullanımını Sağlamak Amacı ile Kalitesini Yükseltilmesi Konusunda Bir Araştırma”, *İ.D.G.S.A. Mimarlık Fakültesi, Yapı Fiziki ve Malzeme Kürsüsü*, İstanbul, 1-30 (1980).
30. Şimşek, O., Sancak, E., Fırat, S., “Kerpiç Özelliklerini İyileştirme Yönünde Bir Araştırma”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 650-660 (2001).
31. Özbek, R., “Silis Dumanının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 82 (1998).
32. Kılınçkale, F., “Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı”, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul, 7: 3 (1996).
33. Çelik, M., H., Şimşek, O., Sancak, E., “Silis Dumanı Kullanımının Çimentonun Priz Başlama ve Bitiş Sürelerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 4 (4): 55-60 (2001).
34. Tokgöz, H., Dorum, A., Kıvrak, S., O., “Silis Dumanlı Briketin Basınç Dayanımının Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 7 (4): 55-60 (2001).
35. TS 1901, “İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-88 (1975).
36. TS EN 1008, “Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-14 (2003).

**EKLER**

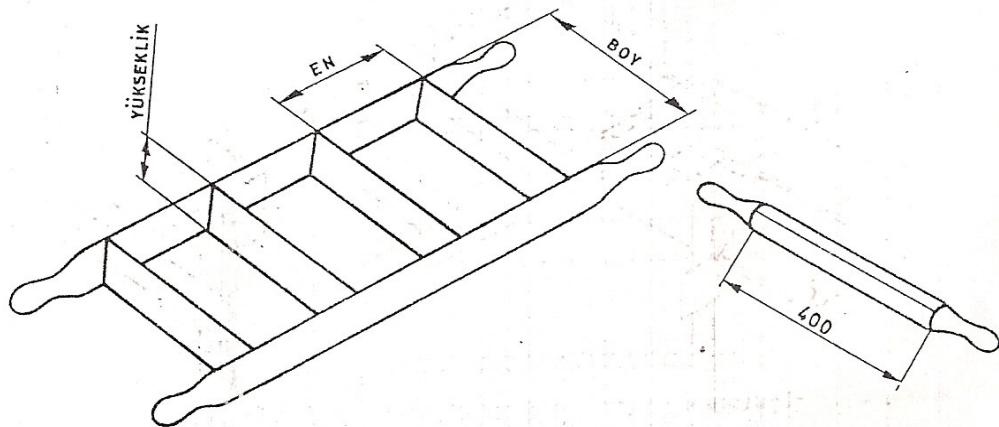
EK-1 Kerpiç yüzlerinin adları, Kerpiç boyut adları, Kalıp ve mastarlama çubuğu [12]



Kerpiç yüzlerinin adları

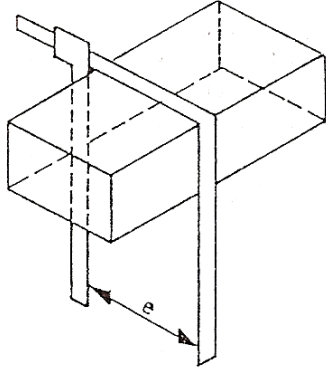


Kerpiç boyut adları

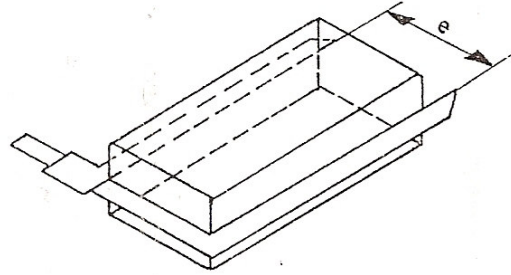


Kalıp ve mastarlama çubuğu

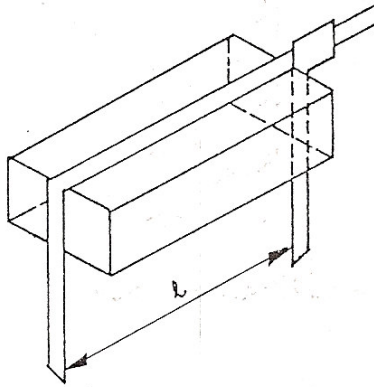
EK-2 Çimentolu kerpiçlerde boyutların ölçülmesi [12]



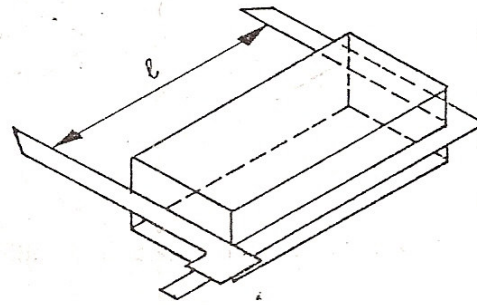
Genişlik ölçülmesi



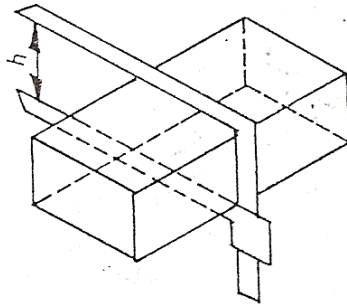
Genişlik ölçülmesi



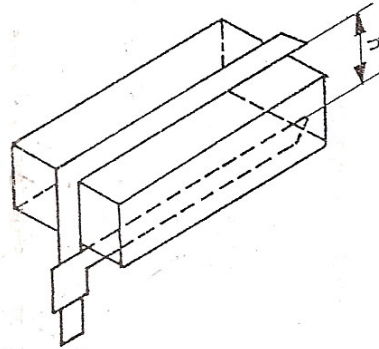
Uzunluk ölçülmesi



Uzunluk ölçülmesi



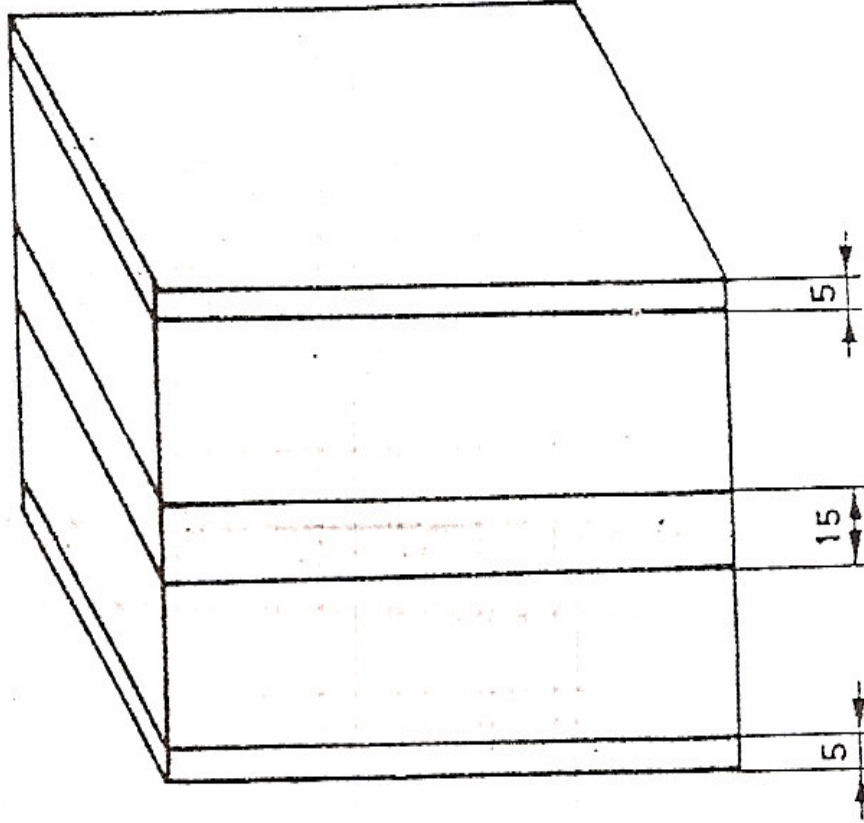
Yükseklik ölçülmesi



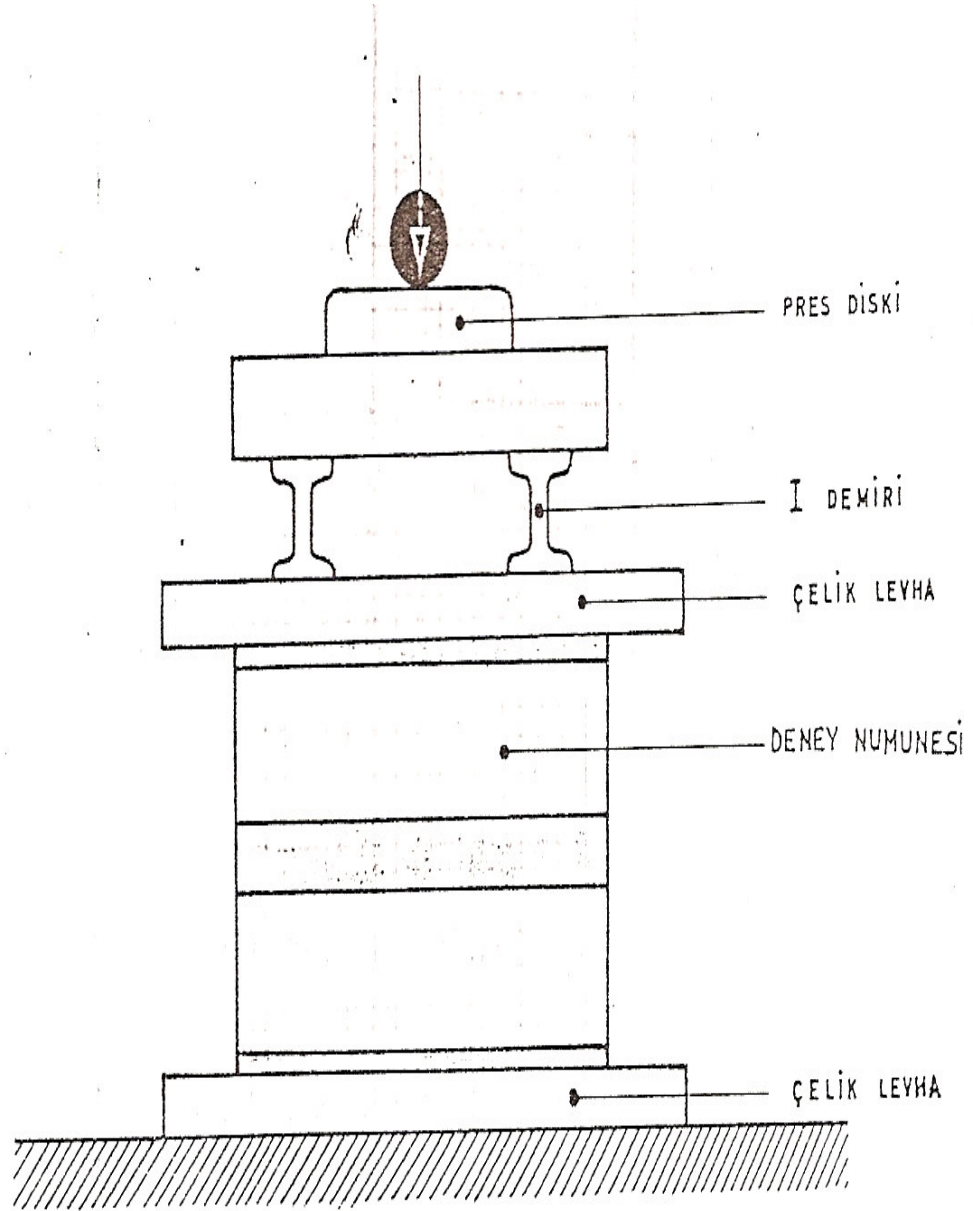
Yükseklik ölçülmesi

EK-3 Basınç mukavemeti deneyi için hazırlanmış numunelerde derz ve başlıkların görünüşü [12]

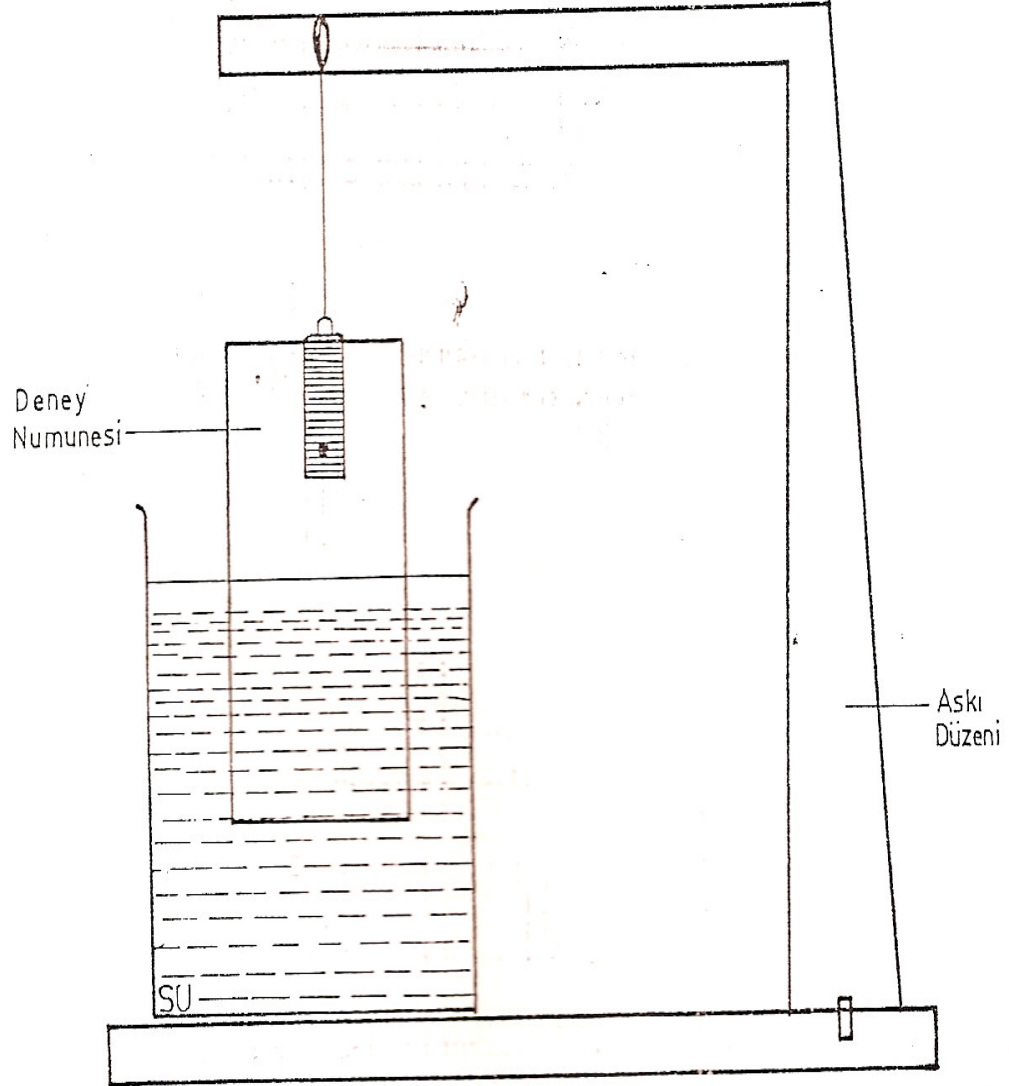
ölçüler mm'dir.



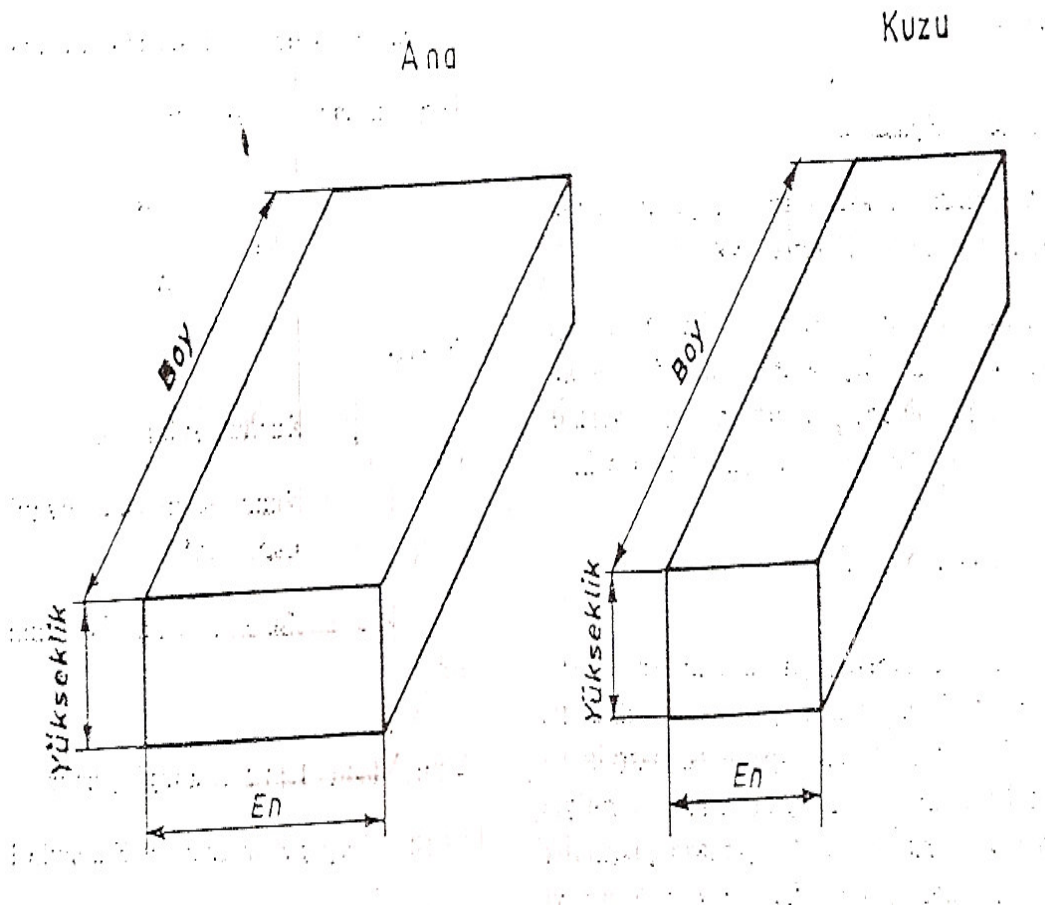
EK-4 Kerpiç bloklarda basınç mukavemeti tayini [12]



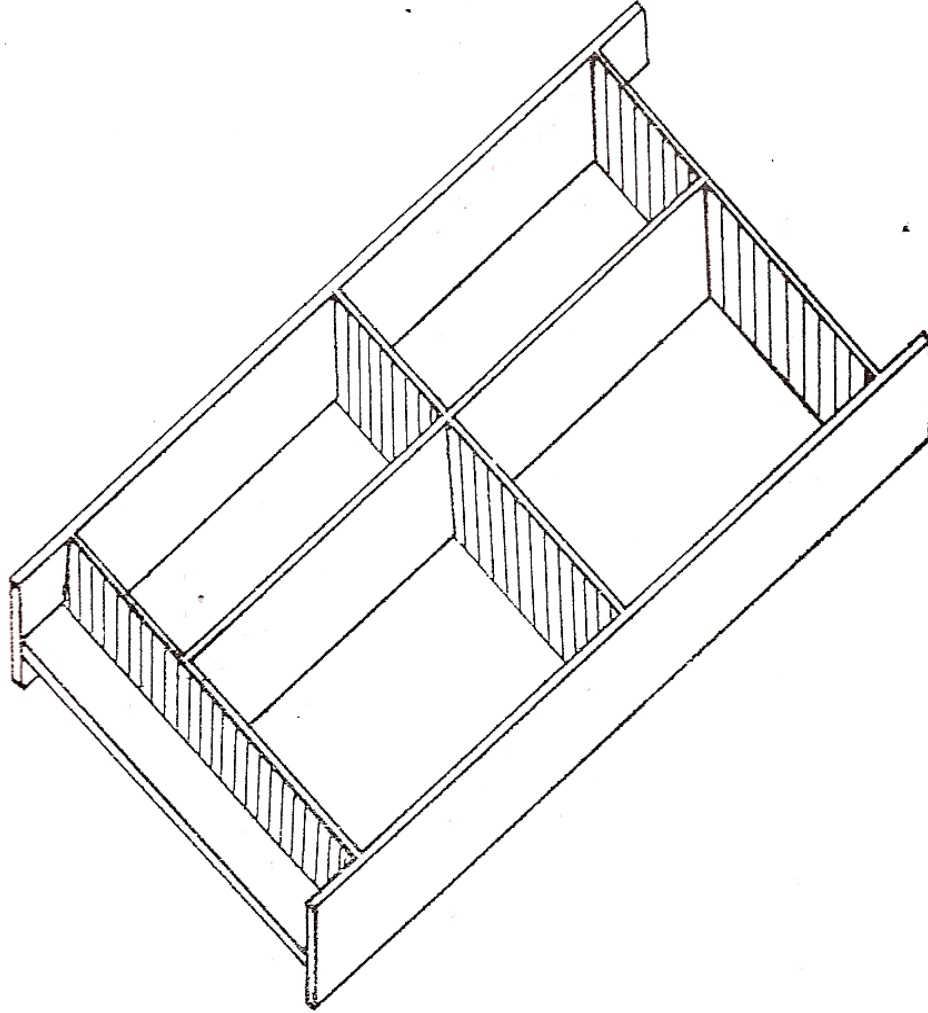
## EK-5 Suya dayanıklılık deneyi [12]



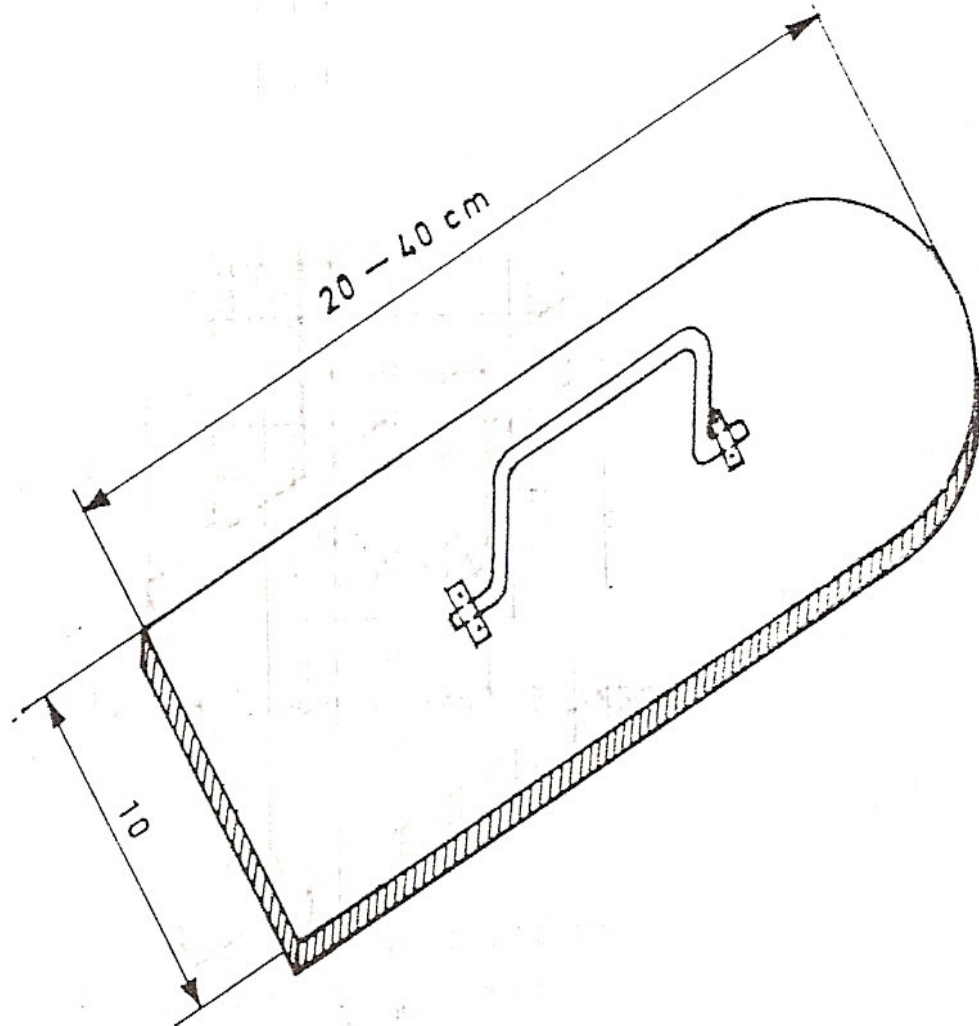
## EK-6 Kerpiç boyutları [11]



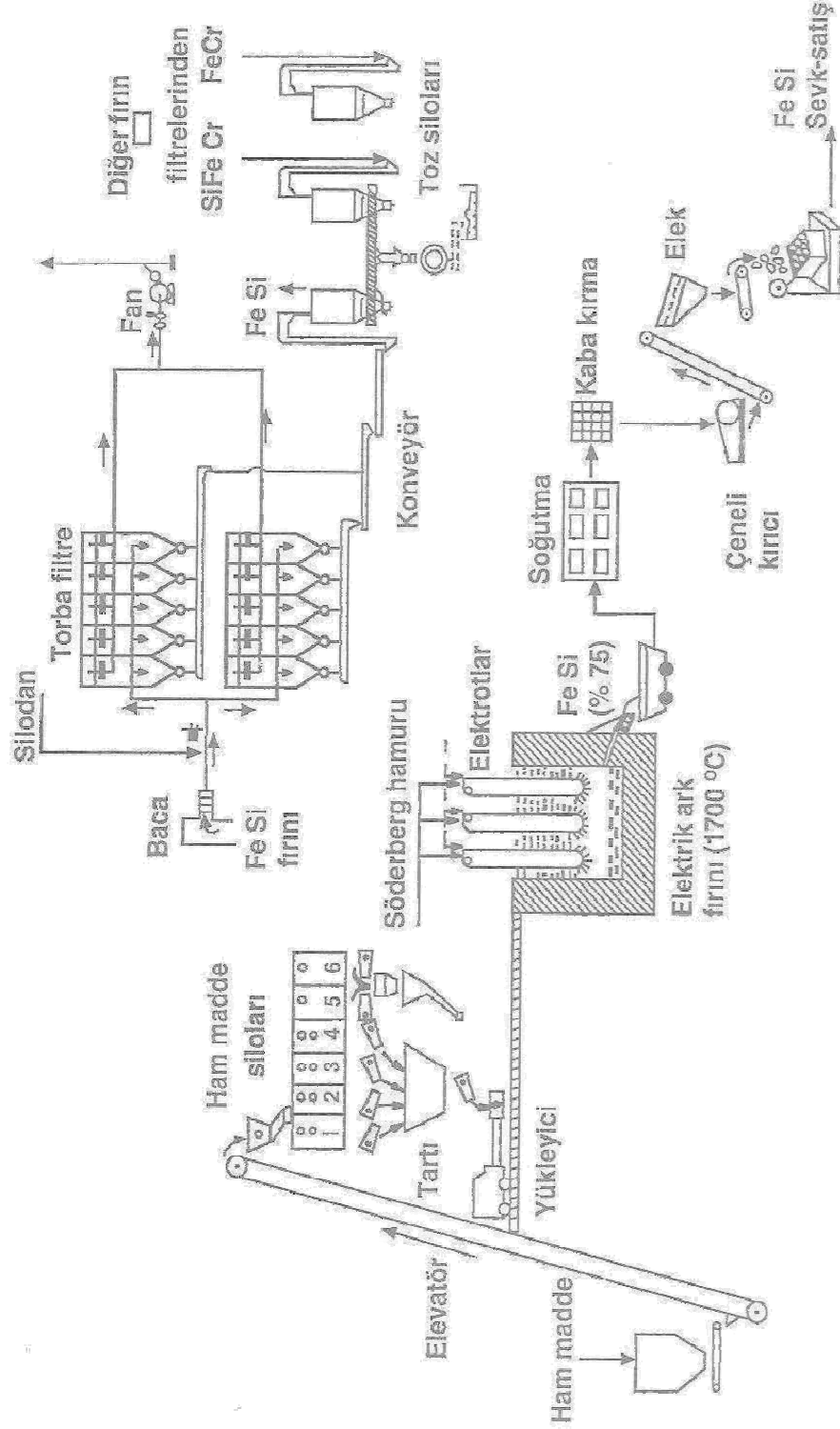
EK-7 Kalıp örneği [11]



EK-8 Mala [11]

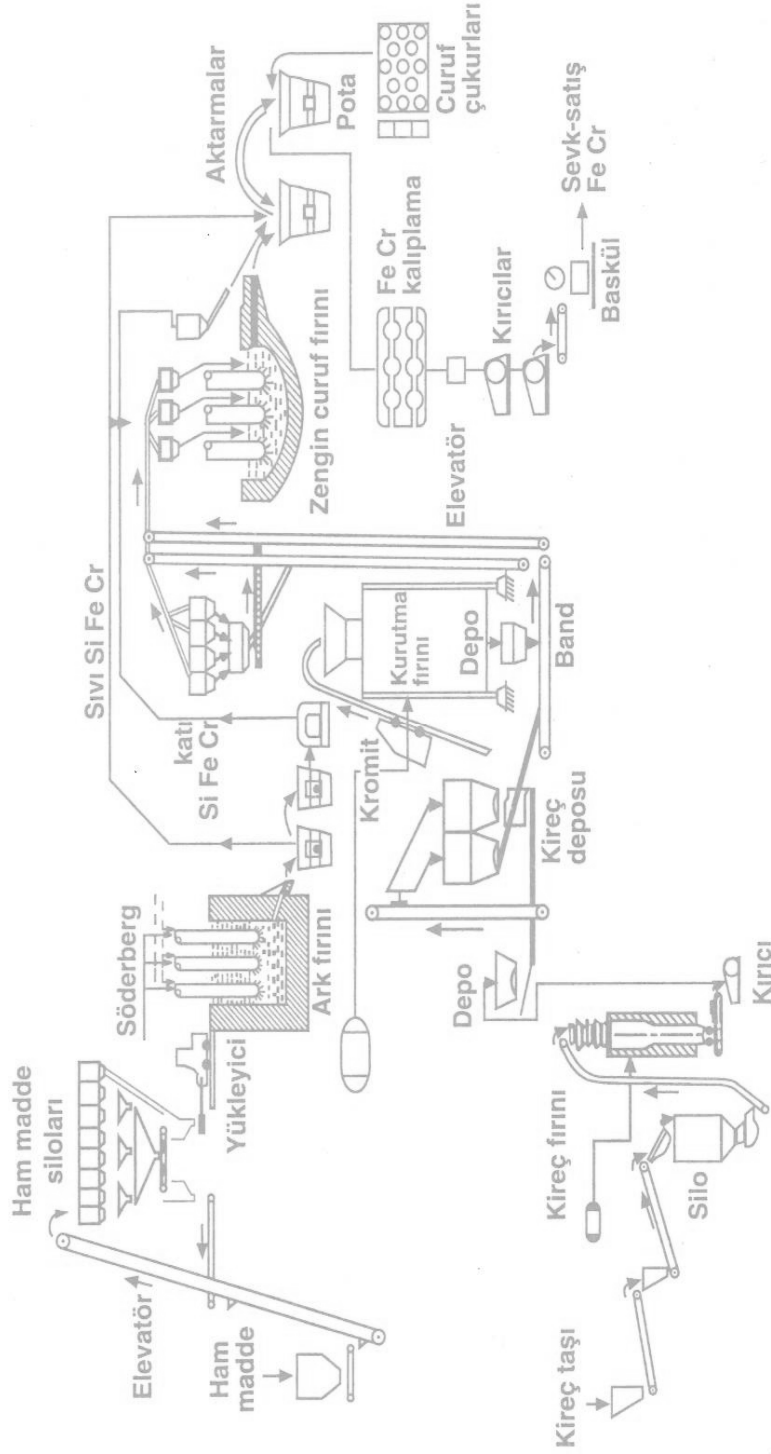


EK-9 Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması [20]

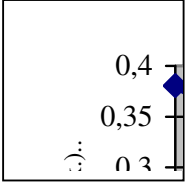


Şekil 9.1. Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması

EK-10 Siliko ferrokrom ve ferrokrom üretim şeması [20]



Şekil 10.1. Siliko ferrokrom ve ferrokrom üretim şeması



## ÖZGEÇMİŞ

### ***Kişisel Bilgiler***

Soyadı, adı : KIVRAK, Julide  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 22.09.1978 Uzunköprü/Edirne  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (364) 2275676  
e-mail : [julide2242@mynet.com](mailto:julide2242@mynet.com)

### ***Eğitim***

<i><b>Derece</b></i>	<i><b>Eğitim Birimi</b></i>	<i><b>Mezuniyet tarihi</b></i>
Lisans	S. Demirel Üniversitesi/Jeofizik Müh. Bölümü	2001
Lise	Uzunköprü Lisesi	1996

### ***İş Deneyimi***

<i><b>Yıl</b></i>	<i><b>Yer</b></i>	<i><b>Görev</b></i>
2006-.....	Akbank T.A.Ş.	Gişe Yetkilisi

### ***Yabancı Dil***

İngilizce

### ***Hobiler***

Yer Bilimleri, Yapılarda Deprem Hasarları, Bilgisayar Teknolojileri, Endüstriyel Atıkların Değerlendirilmesi.