

**T.C.  
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ADYAMAN YERLEŞİM ALANLARINDAN ÇIKAN KİLLİ  
TOPRAĞIN SODA CAMI KATKISI İLE TUĞLA ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MUSTAFA İNCEYOL**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADYAMAN, 2019**

**T.C.  
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADYAMAN YERLEŞİM ALANLARINDAN ÇIKAN KİLLİ TOPRAĞIN  
SODA CAMI KATKISI İLE TUĞLA ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Mustafa İNCEYOL**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Bu tez 21 / 06 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SÖYLEMEZ**  
**Danışman**

**Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI**  
**Üye**

**Doç. Dr. M. Fatih ŞAHAN**  
**Üye**

**Prof. Dr. Murat KOCA**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

#### ADİYAMAN YERLEŞİM ALANLARINDAN ÇIKAN KİLLİ TOPRAĞIN SODA CAMI KATKISI İLE TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

**Mustafa İNCEYOL**

Adıyaman Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SÖYLEMEZ  
Yıl : 2019, Sayfa sayısı: 55

Jüri : Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI  
Doç. Dr. M.Fatih ŞAHAN  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SÖYLEMEZ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında pişmiş topraktan yapılan tuğla, ilk çağlardan günümüze yapı malzemesi olarak önemini korumuştur. Günümüzde özellikle konut arzının artmasına paralel olarak tuğla imalinde kullanılan killi toprakların aşırı tüketilmesi, bu killi toprakların alındığı verimli tarım arazilerini kullanılmaz hale getirmiştir. Bu çalışmada tarım arazilerine zarar vermeden, Adıyaman ilindeki inşaat temellerinde kazılan, tarımsal uygulamalar için kullanılmayan, atık killi toprakların içerisine yine atık cam parçaları belirli oranlarda karıştırılarak tuğla üretimi hedeflenmiştir. Farklı oran ve sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların pişme sıcaklıkları ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Pişme sıcaklığına bağlı olarak tuğladaki dayanım, su emme, pişme kaybı gibi özelliklerin de arttığı gözlenmiştir. Üretilen cam katkılı tuğlalardan 900 °C ve sonrasındaki sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların TSE EN 771 deki tuğlaların fiziksel özelliklerine yakın olduğu, cam katkısız üretilen tuğlalarda ise 1000 °C ve sonrasındaki sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların TSE EN 771 deki tuğlaların fiziksel özelliklerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Pişmiş tuğlaların SEM ve EDX analizlerinden 900 °C den sonraki sıcaklıklarda, killi zemindeki bazı mineralin ergimeye başladığı; bazı minerallerin ise buharlaşmış olabileceği ve buna bağlı olarak tuğlalardaki boşluk oranının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca cam katkısının tuğlanın fiziksel özelliklerine olumlu etki oluşturduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Killi Zemin; Cam; Tuğla; Pişme Sıcaklığı

## ABSTRACT

### MSc Thesis

<p style="text-align: center;"><b>INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CLAY SOIL OMITTED FROM ADIYAMAN SETTLEMENT AREAS WITH THE CONTRIBUTION OF SODA GLASS IN BRICK PRODUCTION</b></p>
--

**Mustafa İNCEYOL**

Adiyaman University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ  
Year : 2019 , Number of pages: 55

Jury : Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI  
Assoc. Prof. Dr. M.Fatih ŞAHAN  
Asst. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

The brick made from earthenware has maintained its importance as a building material from the first ages to the present in civil engineering applications. Nowadays, due to excessive consumption of clay soils, which are used in brick production, parallel to the increase in demand for housing, the fertile agricultural lands where clayey soils were taken has made unusable. In this study, brick production has been targeted with mixing the waste glass fragments in certain proportions into waste clay soils, without damaging the agricultural lands, excavated in the foundations of the construction in Adiyaman which is not used for agricultural applications. The relationship between baking temperature and the physical properties of the bricks at different rates and temperatures were investigated. Depending on the baking temperature, strength, water absorption and baking loss in bricks has been observed to be increased. It is observed that the bricks, which are baked at temperatures of 900 °C and beyond, are close to the physical properties of the bricks of TSE EN 771. In the bricks produced without glass additive, it is determined that the bricks baked at temperatures of 1000 °C and later are close to the physical properties of the bricks of TSE EN 771. In bricks produced with glass adding fragments at baking temperatures of 1000 °C and over, are also close to the physical properties of bricks at TSE EN 771.

In addition, according to SEM and EDX analysis, baked bricks at temperatures above 900 °C, some minerals on clay soil have begun to melt. It has been also observed that some minerals could be vaporized. It is also observed that the glass additive has a positive effect on the physical properties of the brick.

**Keywords:** Clay; Glass; Brick; Baking Temperature

## **BEYAN**

“Adıyaman Yerleşim Alanlarından Çıkan Killi Toprağın Soda Camı Katkısı İle Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Mustafa İNCEYOL

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, tez çalışması boyunca her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, sürekli yardım eden ve yol gösteren, değerli fikirlerinden yararlandığım ve en önemlisi bana sabredip güven veren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SÖYLEMEZ' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması süresince her türlü maddi ve manevi desteği ve yardımı esirgemeyen başta İnşaat Mühendisliği bölüm başkanı Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN Hocam' a, Çevre Mühendisliği Öğr. Üyesi Doç. Dr. Yavuz DEMİRCİ hocama, İnşaat Mühendisliği Doç.Dr. M. Fatih ŞAHAN hocama, Harita Mühendisliği bölüm başkanı Dr. Öğr. Üyesi Yaşar İNCEYOL hocama, İnşaat Mühendisliği Arş. Gör. Musa EŞİT'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince maddi ve manevi destek veren ve yoğun çalışmalarımı anlayışla karşılayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
RESİMLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Kil.....	7
2.1.1. Killerin Sınıflandırılması.....	8
2.2. Tuğla Üretiminde Kullanılacak Kil Hammaddelerinin Kimyasal Yapısı.....	18
2.3. Kil Minerallerinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu.....	20
2.4. Adıyaman İli Toprak Özellikleri.....	22
2.4.1. Adıyaman Genel Toprak Yapısı.....	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	28
4. BULGULAR.....	33
4.1. DeneYlerde Kullanılan Zeminin Tane Boyu Dağılımı ve Kıvam Limitleri.....	33
4.2. Tuğlaların Ağırlık Kayıpları.....	36
4.3. Pişme Sıcaklığına Bağlı Tuğlaların Dayanım Ölçümü.....	39
4.4. Tuğlaların Ultrases Hız Değerlerinin Ölçümü.....	40
4.5. SEM ve EDX Analizi.....	42
4.6. Fırınlanmış Tuğlaların Su Emme Miktarının Bulunması.....	48
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR.....	54
KİŞİSEL BİLGİLER.....	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bazı kil minerallerinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) [10].....	8
Çizelge 2.2 Killerin kuramsal sınıflandırılması [12].....	9
Çizelge 4.1 Rötire limiti deneyi verileri.....	34
Çizelge 4.2 Likit limit deneyi verileri.....	35
Çizelge 4.3 Tuğlaların fırınlanmadan önceki ham ağırlık değerleri, (gr).....	37
Çizelge 4.4 Fırınlanma sonrası ağırlık değerleri(gr).....	37
Çizelge 4.5 Pişme kaybı değerleri.....	38
Çizelge 4.6 Fırınlanmış tuğlaların basınç mukavemeti (Mpa).....	39
Çizelge 4.7 Tuğlaların ultra ses geçiş hızı değerleri.....	41
Çizelge 4.8 700 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	46
Çizelge 4.9 900 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	47
Çizelge 4.10 1100 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	48
Çizelge 4.11 Doygun ağırlık.....	49
Çizelge 4.12 Su emme yüzdesi(%).....	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Türkiye'deki önemli kil yatakları [31].....	21
Şekil 4.1 Tuğla yapımında kullanılan killi zeminin tane boyu dağılımı.....	33
Şekil 4.2 Zemin – Su ilişkileri (Kıvam).....	34
Şekil 4.3 Likit limit grafiği .....	36
Şekil 4.4 Ağırlıkça pişme kaybı değerleri grafiği (%).....	38
Şekil 4.5 Fırınlanmış tuğlaların basınç mukavemeti değerleri.....	39
Şekil 4.6 Tuğlaların ultra ses geçiş hızı değerleri grafiği.....	42
Şekil 4.7 700 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	46
Şekil 4.8 900 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	46
Şekil 4.9 1100 °C de pişirilen tuğlaya ait Edx analizi.....	48
Şekil 4.10 Su emme yüzdesi değerleri grafiği .....	50

## RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1 Tuğla hammaddesi olarak alınan killi toprak.....	28
Resim 3.2 Killi toprağın alındığı lokasyonlar .....	29
Resim 3.3 Tuğla hamurunun 24 saat hava almayacak şekilde dinlendirilmesi.....	30
Resim 3.4 Çelik tuğla kalıbına toprağın dökülmesi .....	30
Resim 3.5 Hidrolik pres makinesinden ham tuğlanın çıkarılması .....	31
Resim 3.7 Tuğlaların yüksek fırına yerleştirilmesi .....	32
Resim 4.1 Ultra ses hız ölçüm cihazı .....	40
Resim 4.2 700 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü .....	43
Resim 4.3 900 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü .....	44
Resim 4.4 1100 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü .....	44
Resim 4.5 Pişirilen tuğlaların 24 saat suda bekletilmesi.....	49

## 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinde medeni yaşamın oluşmasıyla hammaddesi kil esaslı malzemeler önemli bir yere sahip olmuştur. Bu malzemeler günümüze kadar insanoğlunun hayatındaki yerini korumakta ve gelişen sanayileşme ile birlikte her geçen gün önemli değişimler geçirerek gelişmektedir. Yaşantımızda gereksinim duyduğumuz pek çok malzemenin yapımında hammadde olarak killi zeminlerin kullanıldığını düşünürsek bu malzemenin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Kil terimi temelde ince granüler minerallerden oluşan, genellikle belli oranda su ile plastik davranış gösteren ve kuruduktan sonra sertleşen doğal malzemeler için kullanılır ve genelde filosilikatlar'dan meydana gelmiştir [1].

Killeri oluşturan mineraller, bazı kayaç parçalarının fiziksel ve kimyasal ayrışmaları sonucu oluşmuş oldukça küçük kristalimsi maddelerdir. Kil minerallerinin tamamı oldukça küçük boyda (çapı  $1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$  den az) olup yalnızca elektron mikroskopu yardımı ile görülebilir. Kil mineralleri ve ultra mikroskobik boyutlarda plaka görünümündeki danelerden oluşan, fakat agregasyona maruz kaldığında ebatları mikron derecesine ulaşan killer, mühendislik uygulamaları açısından genellikle ebatları  $2\mu\text{m}$  ( $0.002\text{mm}$ )'den daha küçük danelere sahip olan ince daneli zeminler olarak kabul edilir. Serbest basınç dayanımı  $25\text{ kPa}$ 'dan düşük olan killeri "çok yumuşak", serbest basınç dayanımı  $25 - 50\text{ kPa}$  aralığında olan killeri "yumuşak killer" olarak sınıflandırmak mümkündür. [2]. Killi zeminler, benzer boyutlardaki başka zemin türlerinden farklı olarak, su ile karıştırıldığı zaman çamurumsu bir yapı oluşturmaktadırlar. Killi zeminler hamur gibi şekil verilecek derecede bir plastisiteye sahip olmakla beraber, pişirildiklerinde dayanımlarında ciddi artışlar olan katı bir maddeye dönüşür. Killi zeminler ıslandığında çoğunlukla hacimlerinde artış meydana gelir ve kurduğunda hacim azalması olur ve bununla beraber çatlamlar gözlemlenir. Tuğla, kiremit ve benzeri malzemelerin başlıca hammaddesi olan killi zeminlerin tuğla ve kiremit üretimine uygun olup olmadıkları; çoğunlukla doğada saf olarak bulunmamalarından dolayı mineralojik karakterlerine ve içerdiği safsızlığın cinsine ve miktarına göre çoğunlukla belirlenmektedir.

Bununla beraber tuğla ve kiremit gibi ürünlerin üretimi sırasındaki proseslerin kontrolü için kullanılan killi zeminin kuruma küçülmesi, pişme küçülmesi, eğilme mukavemeti ve su emme değerleri gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

İnsanoğlunun temel ihtiyaçlarından biri barınma ihtiyacıdır. Bu ihtiyaç için oluşturduğu yapılarda kullandığı en önemli malzemelerin başında yine kil esaslı bir malzeme olan tuğla gelmektedir. Tuğla malzemelerin yapılara kazandırdığı doğallık, estetik görünüm, ekonomik olması ve kolay temin edilebilmesi nedeniyle yapı sektörünün tercih edilen önemli malzemeleri arasındadır.

Tuğla üretiminde herhangi bir olumsuzlukla karşılaşmamak için kullanılacak killi hammaddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dikkatlice tespit edilerek bilinmesi gerekmektedir. Kullanılacak hammadde ile ilgili detaylı bilgiler elde edildiği takdirde kuruma ve pişirme gibi hammaddenin özellikleri ile alakalı sorunlara da çözümler bulunabilecektir.

Dünya tarihinde ilk yapı malzemesi olarak üretilen tuğla, günümüzdeki boyutlarına benzer olarak killi tabletler şeklinde elle şekil verilerek üretilmiş olup tarihteki ilk uygarlıklardan bu yana sürekli üretimi gelişerek kullanılmaya devam edilmektedir. İlerleyen zamanla birlikte insanların daha sağlam ve daha yüksek kulelere ihtiyaç duyması sebebiyle M.Ö. 4. Yüzyılda pişmiş tuğla kullanılmaya başlanmıştır [3]. Pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda ilk kullanımı Babil Kulesinin yapımına denk gelmektedir. Bu kulede 85 000 000 tuğla kullanıldığı hesap edilmiştir [5]. Günümüzde bu rakamda tuğlayı 5-6 gelişmiş teknolojiye sahip tuğla fabrikalarının bir yıllık çalışması sonucu üretilbileceği düşünüldüğünde söz konusu bu üretimin teknolojik açıdan oldukça önemli ve değerli olduğunu kabul etmek gerekir. Bu nedenle Babil kulesinin tuğla üretimi ve endüstrisi açısından önemli bir simgesel yeri vardır.

İlerleyen zamanlarda bazı uygarlıklardaki yapılarda mermer kullanıldıysa da daha sonra mermer yerine çoğunlukla tuğla kullanılmıştır. Kiremit ve tuğla üretimine ilk defa Romalılar tarafından standardizasyon getirilmiş ve geliştirilerek kullanılmıştır [3]. Bir süre sonra tuğla, ticareti yapılan bir sanayi maddesi haline gelmeye başlamış olup sonraki zamanlarda, tuğla üretimi Romalılar ve İngilizler tarafından geliştirilmiştir. Romalılar ürettikleri tuğlalara renkli maddeler katarak

boyamışlardır. 4. Yüzyıl ile 13. Yüzyıl arası Avrupa’da tuğla üretilmediği belirtilmektedir [3]. 13. asırda Hollanda, Almanya, Fransa ve İtalya’da tuğla üretimi başlamış olup 19. Asra kadar üretimde oldukça önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Makine ile tuğla üretimi ise 19. Yüzyılın ortalarından sonra olmuştur.

Tuğla sanayinin gelişmesinde nüfus artışı, sanayi ve ticaretin gelişmesi ve binalara olan ihtiyacın artması etkili olmuştur. Bilhassa İngiltere’nin ormanlarının az olması ve kurulmakta olan şehirlerin yakınında taş ocaklarının bulunmayışı İngiltere’de tuğla üretimi ve sanayiinin diğer ülkelere göre daha da gelişmesine vesile olmuştur. Amerika’da 17. yüzyıl ortasından sonra tuğla üretimine başlanmış ve 19. yüzyıl ortalarına kadar çok gelişmemiştir. Fransa’da 20. yüzyılın başlarına kadar çömlekçilik sanatı oldukça gelişmiş olsa da, Belçika, Hollanda ve Fransa’da tuğla üretim teknikleri 1. Dünya Savaşı sonralarına kadar gelişme gösterememiştir.

Tuğlanın Anadolu’da kullanılmasında Bizanslıların önemli bir payı olmakla beraber Selçukluların da tuğlanın yapılarda kullanılması konusunda önemli katkılarının olduğu söylenmektedir. Bu durum Selçuklu mimarisinde taşın yanında tuğlanın da önemli bir madde olarak göze çarptığı bilinmektedir. Selçuklulardan sonra Osmanlı Devleti’nde de tuğla üretimi ve kullanımında önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Fatih Sultan Mehmet döneminde kiremit ve tuğla üretimine belli standartlar getirilmiştir. Hatta standart dışı imal edilen tuğla ve kiremitlerin yapılarda kullanılmasına izin verilmemiş olup satışı da engellenmiştir.

Tuğla ve kiremit üretimi ilk yıllarda ilkel usullerle yapıldığından ciddi manada iş gücüne gereksinim olmaktadır. Bu nedenle sanayi devrimine kadar tuğla ve kiremit endüstrisinde fazla bir gelişme olmamış olup sanayi devrimi ve 1769’da buharla çalışan motorun bulunmasıyla tuğla-kiremit üretiminde iş gücü kullanımı azalmaya başlamıştır [3].

Türkiye’de şehirleşme yapılanmalarının bilhassa 1950’lilerden sonra artış gösterdiği bilinmektedir. Şehirleşmeye bağlı olarak ülkedeki çok katlı bina sayılarında meydana gelen artış tuğla kiremit sanayisinin de gelişme göstermesine neden olmuştur. Bu çok katlı binaların neredeyse tamamının yapımında tuğla ve kiremit ürünleri kullanılmaya başlanmıştır.

Ülkemizde çeşitli sanayi tesislerinin en önemli giderlerinden birini enerji giderleri oluşturmaktadır. Enerji giderleri maliyeti önemli ölçüde etkilemekte ve bu gideri minimum düzeye indirebilmek için her branşta değişik çalışmalar yapılmaktadır. Yapılarda en çok kullanılan malzemelerden biri olan tuğlanın yüksek sıcaklıkta (900-1100°C) piştiği bilinmektedir. Bu nedenle tuğla üretiminin maliyet açısından önemli bir gideri enerji gideridir. Ayrıca uygun hammadde temini de önemli bir problem olarak devam etmektedir.

Türkiye’de, tuğla üretimi için ilk çalışmalar Cumhuriyetin ilanından sonra 1938 yılında başlamıştır. Fakat Sümerbank Filyos Ateş Tuğlası Sanayi Müessesesi adıyla 1948’de kurulan fabrika üretim esaslı kurulmuş fabrika olarak bilinmektedir.

İnşaat faaliyetleri ile tuğla – kiremit ürünleri imal edilmesi arasında çok yakın bir ilişki vardır. Bu nedenle inşaat miktarındaki artış tuğla ve kiremit üretiminde de artışa neden olmaktadır. 1950’lerden sonraki şehirleşme hareketi ile Türkiye’de inşaat sanayi özellikle hızlanmıştır. Buna bağlı olarak tuğla ve kiremit üretimi de ülkemizde 1950’lerden sonra artış göstermiş ve bilhassa 1980’li yıllarda artarak gelişme göstermiştir.

1955 yılında Türkiye’de toplam 30 şehirde 78 adet tuğla ve kiremit fabrikasının faal olarak çalıştığı ve bu fabrikalarda 1955 yılı itibariyle 101.999.670 adet kiremit 50.496 192 adet tuğla imal edildiği kayıtlara geçmiştir. Bu fabrikalarda 8.136 kişinin çalıştığı kaydedilmiştir [6].

Konut sektöründeki kooperatifleşme ve kredilendirme süreçlerinin başlangıcı olan 1986 yılından sonra bu gelişimlere paralel olarak Türkiye’de tuğla ve kiremit üretimi yapan fabrika sayısında hızlı bir artış meydana gelmiştir. Ancak tuğla ve kiremit sanayiinde iş gücüne bağlı emek yoğun imalat devam edegelmektedir. Çok sayıda kişiye iş imkânı oluşturması nedeniyle bu istenilen bir durum olarak kabul görmektedir.

Türkiye’deki tuğla ve kiremit üretiminin ülke geneline yayıldığını söylemek mümkündür. Ülke geneline yayılmış lığın yanı sıra bölgeler içinde yoğunlaşmaların da mevcut olduğu ve bu yoğunlaşmaların o kentleri ‘Tuğla ve Kiremit Üretim Bölgeleri’ haline getirdiği gözlenmektedir. Turgutlu, Salihli, Tekirdağ, Afyon,

Burdur, Çorum, Erbaa, Boyabat, Osmancık, Yozgat, Avanos gibi şehirler ve ilçelerimiz Türkiye'deki tuğla ve kiremit üretiminin yapıldığı bazı önemli ana üretim bölgelerindedir.

Türkiye'de tuğla ve kiremit ürünleri üretiminde faaliyet gösteren yaklaşık 500 civarında tuğla ve kiremit tesisi mevcut olup bu tesislerden 70 tanesi kiremit üzerine çalışmakta, 10 tanesi hem tuğla hem kiremit üzerine çalışmakta, geri kalan 420 civarında tesis ise tuğla üretimi üzerine faaliyet göstermektedir.

Dikkat edileceği üzere tuğla ve kiremit fabrikalarının yoğunlaştığı bölgelerin jeolojik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda daha çok bu sanayi koluna ham madde sağlayacak alanların seçilmiş olduğu görülmektedir.

Tuğla ve kiremit üretiminin hammaddesini oluşturan killi toprağın temin edilmesinde, üretim için çok daha uygun ve gerekli tarımsal araziler kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan tarım arazilerinin fiziki olarak yok olmasından dolayı, bu arazilerin geri dönüşümü de imkânsızlaşmaktadır. Tarım arazilerinin toprak sanayi işletmeleri tarafından hammadde ihtiyacı için kullanılması yapı malzemeleri kullanım alışkanlıkları ile doğrudan ilgilidir. Kolay ve ucuz olarak üretilen yapı malzemelerinin başında gelen kiremit ve tuğla gerçekten de, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde çokça kullanılmaktadır. Kiremit ve tuğla fabrikaları da daha kolay, daha ucuz ve seri üretim için daha uygun olduğu için hammadde ihtiyacını tarım arazisi toprağından temin etmektedir. Çünkü verimli tarım arazileri alüvyonlu topraklardan oluştuğundan üretim maliyetlerini düşürmektedir. Verimli olmayan tarım arazileri ise, bu fabrikaların yetersiz teknoloji kullanmaları nedeniyle daha fazla maliyet gerektirdiğinden hammadde için tercih edilmemektedir.

Bu çalışmada tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla atık malzeme olarak, atık soda camı parçaları tuğla üretimine uygun hale getirilerek, Adıyaman Yöresi'nden alınacak killi zemin numunelerine belirli oranlarda kompoze edilerek laboratuvar şartlarında farklı sıcaklıklarda tuğla üretilecektir. Cam malzemesinin içerisinde bulunan kuvars mineralinin tuğla üretimine olumlu yönde etki sağlayacağı, pişme sıcaklığını düşürmesi ve düşük sıcaklıkta sinterleşme ve daha ekonomik üretimlere imkân sağlayabileceği

öngörülmektedir. Kullanılan atık cam parçalarının, tuğlanın teknolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerini ne yönde etkileyeceği araştırılacaktır.



## **2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Kil**

Kil genellikle, belirli bir kristal bünyesinde, doğal, toprağımsı, ince daneli, belirli miktarda su ile karıştırıldığında plastikliği artan bir malzemedir [7]. Sınıfına göre Mg ve Fe gibi elementleri de içeren ve çok ince taneli bir kayaç olan kilin esas maddesi sulu alüminyum silikattır. Kil tanecikleri 2-5  $\mu$  olduğundan gözle veya normal mikroskopla ayırt edilmeleri neredeyse mümkün olmayıp ancak 100.000 defa büyütülerek mikroskopta resimleri çekilmekte, içyapısı X ışınları ile tespit edilmekte, D.T.A cihazları ile sıcaklığı ölçülmekte ve sınıfı kesin olarak tayin edilmektedir [8].

Killer volkanik kayaçların jeolojik ve günümüzde karşılaşılmayan bazı şartlarda çözümlerinden oluşmaktadır. Kilin cinsi ana kayacın cinsine ve geçirdiği safhalarına bağlıdır. Tortul kayalar içerisindeki en yaygın mineraller; kil, kuvars, feldispat, kalsit ve dolomittir. Kil mineralleri tortul kayalardan genellikle granit gibi mağmatik ana kayacın kinetik parçalanması ve kimyasal bozuşma ile oluşur. Kil yatakları yeraltı ve yerüstü suların etkisiyle ayrılmış olan feldispatça zengin volkanik kayaların aşınması ve taşınması ile havzalarda birikmesi sonucu oluşmuştur [9].

Toprağın ayrışması sırasında meydana gelen minerallerden en önemlileri arasında kil mineralleri bulunmaktadır. Bu nedenle birçok toprakların ve çökellerin önemli kısmını oluştururlar. Kil içerisinde bulunan mineraller kil miktarı yüksek olan topraklara plastiklik, şişebilme ve büzülebilme gibi özellikleri kazandırır [10].

Çizelge 2.1 Bazı kil minerallerinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) [10]

Mineral Adı	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
Kaolinitler	45-48	38-40	0-0,2	0-0,3	-	-	-	-
Smektitler	42-55	0-28	0-30	0-0,5	0-3	0-2,5	0-0,5	0-3
İllitler	50-56	18-31	2-5	0-0,8	0-2	1-4	4-7	0-1
Vermikulitler	33-37	7-18	3-12	0-0,6	0-2	20-28	0-2	0-0,4
Kloritler	22-35	12-24	0-15	-	0-2	12-34	0-1	0-1

### 2.1.1. Killerin Sınıflandırılması

Karmaşık yapıları nedeniyle killer, yakın zamana kadar gerçek özelliklerini belirten bir şekilde sınıflandırılmamıştır. Le Chatelier ilk defa 1887 yılında, kil taneciklerinin çok küçük mineral partiküllerinden oluştuğunu ileri sürmüştür [11]. Fakat Le Chatelier'in önerdiği sınıflandırma, killerin karakter ayrıcalıklarını zamanın teknolojik yetersizlikleri nedeni ile tam belirtememiştir. Günümüzde killerin sınıflandırılması için ancak X-ışınları, elektron mikroskobu ve kesin analiz gibi yöntemler yardımıyla bir sınıflandırma mümkün olmaktadır. Killerin sınıflandırılmasında kullanılan kuramsal sınıflandırma sistemi Bieler [12], tarafından önerilmiş ve günümüzde de geçerliliğini korumakta olup aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.2 Killerin kuramsal sınıflandırılması [12]

Sınıf ve Strüktür	Tabaka	Grup	Çeşit
Yaprak Yapısındaki Killer	1:1 Tabakalı	Kaolinitik	Kaolinit, Dikit, Nakrit
			Refrakter Kil
			Anoksit, Allofan
	2:1 Tabakalı	Haloystik	Haloysit, Metahollaysit
			Bentonit
			Nontronit
			Baydelit
İplik Yapısındaki Killer	Zincir Silikatlar	Sepiolitik	Sepiolit
		Palikorskit	Paligorskit

### 2.1.2. Killerin Teknolojik Özellikleri ve Tuğla Kilinde Bulunması Gereken Özellikler

Şekil ve boyut verilebilme açısından killerde bulunması gereken özellikler; plastiklik, kohezyon, renk, rötre, tiksotropi, viskozite ve kolloid özelliği killerin amacına uygun kullanımını için önemlidir. Bu özelliklerin tanınması ve iyi değerlendirilmesi tuğla üreticileri yönünden fayda sağlayacaktır [13]. İnşaat tuğlası üretimine uygun toprakların belirlenirken, terkihi ve imalâta elverişli olup olmadığı hakkında toprağın görünümünün bize önemli bilgiler verdiği önemli bir husus olarak göze çarpmaktadır. Kırmızı renkli killer fazla demir bileşikleri içerirler [14].

İnsanlar, kullanacağı tuğlanın genellikle kiremit renginde olmasını isterler. Örneğin açık sarı renkli bir tuğlanın teknik özellikleri çok çok iyi olsa da, piyasa şartlarında tercih edilmediği bilinen bir durumdur. Bu nedenle, hammadde tercihinde

koyu kırmızı killer tercih edilmelidir. Tuğlanın basınç mukavemetini arttırmada esas olan demir bileşikleri pişme sürecinde eritici olarak etki göstermektedirler. Demir bileşikleri bazen toprak içerisinde açık sarı ve yeşilimsi renkte iki durumda bulunur. %5 ve daha yüksek miktarda demir oksit içerikli killer kırmızı renkte fırınlanırlar. Ancak hammadde içerisinde fazla kireç varsa ürünün rengi açılır. Toprağın koyu kahverengi renkte olması ise çoğunlukla içerisinde manganez bileşiklerinin veya humus maddesinin olduğu bilgisini verir.

Organik humus asitleri toprağın plastikliğini, işlenme kabiliyetini arttırdığından, tuğla toprağında bulunması iyidir. Toprağın renginin koyu kahverengi olmasının içerisinde bulunan humus maddelerinden ileri gelip gelmediğini belirlemek için, numune yaklaşık 400 dereceye kadar fırınlanır. Fırınlanma sonrası ürünün renginde kaybolma gözleniyorsa, hammadde içerisinde renkli organik maddelerin bulunduğu anlaşılmaktadır. Toprağın renginin normal renginden daha açık olduğunda ilk etapta akla gelen şey arazinin fazla kireçli olabileceğidir. Kireç (kalker), tuğla üretimi için zararlı madde olarak kabul edilmektedir. Tuğla hammaddesi içerisindeki  $\text{CaCO}_3$  oranı %33'ten fazla olmamalıdır. Tuğla üretiminde genellikle %25'ten daha düşük oranlarda kireç içeren topraklar tercih edilmelidir. Yüksek miktarda kireç içeren topraklardan üretilen tuğlaların gözenekliliği ve su emme oranları da yüksek olur ve dona dayanıklılıkları düşer. Bununla beraber, pişen tuğla içerisinde serbest kireç kalması ve ürünü çatlatması tehlikesi meydana gelir. Toprağın üzerine asit damlatılarak içerisinde kireç miktarı hakkında fikir edinilebilir. Asit damlatılması durumunda çok miktarda bir köpürme görünmesi toprağın fazla kireçli olduğu anlamına gelir. Toprak içerisindeki kireç, eğer ince dağılmış halde değil de, iri daneler halindeyse, pişme sürecinde ürünün çatlamasına sebep olacaktır. Toprak içerisindeki kirecin ince daneler halinde olup olmadığını anlayabilmek için, toprağı elemek ve sonrasında elek altı ve üstü kalan malzemeyi asitle işleme tabi tutmak gerekir.

Tuğla toprağı içerisinde kilden farklı maddeleri belirlemek amacıyla toprak, bir kap içerisinde bolca su ile karıştırılarak; suda dağılan killi kısım üstten aktarılır. Bu işlem birkaç kez tekrarlanır ve kalan miktar değerlendirilir. Bu işlemin sonunda kalan miktar içerisinde yaklaşık üç mm'den büyük çakıllar varsa, hammaddenin

fabrikada döner silindirle ezilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde toprak içerisindeki iri kuvars ve kum daneleri üretilen malzemenin çatlamasına neden olur.

Toprağın yüksek düzeyde pirit içermesi de tuğla üretimi açısından zararlı bir durumdur. Piritin bozunması sürecinde ortaya çıkan kükürtlü gazlar üründe çatlamalara neden olabilir veya fırınlama şartlarına göre, su içerisinde çözünebilen tuzların ortaya çıkmasına neden olabilir. Suda çözünebilen tuzların bulunması üretilen ürünün yüzeylerinde kristalleşmesi ile dikkat çeker. Çiçeklenen tuğlanın basınç ve don dayanımları azalır. Önceden hammadde içerisinde bulunan bu tuzlar çoğunlukla demir, alkali sülfatlar, kalsiyum sülfat, düşük miktarda magnezyumdan oluşur . Tuğla hamuru yaparken kile eklenen su içerisinde sülfat iyonu olmamalıdır. Suda çözünen tuzlar tuğlaların arasına konulan çimento harcını etkilemekte ve tuğla kullanılarak inşa edilen yapının yıkılması gibi durumlara neden olur.

Mika, ışıklı ortamda parıldayan ince katmanlar şeklinde toprak içerisinde bulunabilen bir maddedir. Yüksek oranda mika içeren killerin kullanılmasıyla üretilen tuğlaların su geçirimleri yüksek olmaktadır. Bu nedenle mika da tuğla üretimi açısından zararlı kabul edilen maddelerdendir.

Tuğla üretilen killerin içerisinde kömür parçacıkları bulunmamalıdır. Kilin içerisindeki kömür, pişirme sürecinde tuğlada yer yer çatlak ve kabarıklıkların oluşmasına neden olur.

Killerin düşük düzeyde plâstik olması istenmektedir. Çok plâstik (yağlı) killerin kurutulup pişirilirken küçülme, çatlama ve deformeler oluştuğu gözlenir. Düşük plastikliğe sahip kumlu killerin kalıplanması zor olup; bu killere üretilen tuğlaların basınç dayanımları düşük olmaktadır. Tuğla üretimine geçmeden çok yağlı killere kumlu toprakların, orta derecede plâstik bir tuğla hamuru elde edilecek şekilde iyice birbirine karıştırılması gerekir. Toprağın yağlı veya kumlu olduğunu tespit etmek için, toprak az miktarda su ile karıştırılarak yoğrulur. Hamur gibi yoğurulabilen, şekillendirilebilen ve bıçakla düzgün bir şekilde kesilebilen killer yağlı killerdir. Düşük düzeyde plâstik olan kumlu killer yoğrulurken parçalanır ve biraz fazla su ilâve edilince yayılır, akıcı hale geçerler.

Yapı malzemesi olarak kullanılacak tuğla üretiminde kullanılacak kilin seçiminde kilin kimyasal yapısından ziyade mekanik özellikleri belirleyicidir.

Yücesoy [13], Kuzey Adana havzasındaki tarım dışı arazilerin toprak endüstrisi açısından kullanımı ile ilgili yaptığı tez çalışmasında kullanmış olduğu standartlara göre toprakta bulunması gereken fiziksel ve mekanik özellikleri şu şekilde sıralamıştır:

### ***Plastiklik***

Killerin işlenebilme ve şekillendirilebilme açısından önemli bir özelliktir. Plastiklik, uygun su miktarı ile yoğrulmuş kile şekillendirme ve daha sonra da verilen şekli muhafaza etme imkânı verir [13, 15]. Plastiklik özelliği, kilin düzeninin yapısına, kimyasal bileşimine ve kolloidal partiküllerin baz değiştirme yeteneğine bağlıdır. Bütün bu özellikler kil partiküllerinin etrafını saran su tabakasının kalınlığından ortaya çıkar.

Murray [18]; kil minerallerinin tipi, parça boyutu, tane şekli, organik madde miktarı, çözünür tuzları, iyon adsorbsiyonu, kil dışı minerallerin miktarı ve tipi, killerin kuru ve ham dayanımlarını, killerin plastikliğini etkileyen faktörler olarak belirtmiştir. Plastiklik ve ham dayanım birbirlerine yakın kavramlardır. Kuru dayanım kil yapısındaki mevcut ince tane oranına, tanelerin şekline, kil fraksiyonun hidratasyon derecesine, mamül üretim metoduna ve kurutma oranına bağlıdır. Binlerce mineral arasında talk gibi bir iki önemsiz istisna haricinde kil minerallerinden farklı plastisite özelliği olan mineraller bulunmamaktadır. Plastisite özelliğinden dolayı killer, sanayide geniş ölçüde kullanılmaktadır. Birçok sebebe bağlı olan killerin su ile şekillenme özelliği, kil minerallerinin yapısı, killerin tane inceliği, kuvars miktarı, kolloid unsurların yüzdesi gibi etkenlerle doğrudan ilişkilidir.

Kilin üzerine bastırıldığında parmak izinin açıkça görünüp ele yapışmadığı durum o kilin plastik hale gelmiş olması anlamına gelmektedir. Bir kilin kurutulmuş halden plastik hale gelene kadar aldığı su miktarının yüzdesel miktarına o kilin plastisite indeksi denilmektedir. Kaolenitik killer ve ince seramik killeri daha çok düşük plastik, bağlayıcı killer ise yüksek plastiklik gösterir. Killerin plastisite indeksi genellikle % 15'ten düşük ve % 40'dan fazla olmamalıdır [16].

Tuğla hammaddesi olarak kullanılacak toprağın ise, su ile karıştırıldığında şekil verilebilecek bir kitle meydana getirmesi ve içindeki suyun büyük bir bölümünün buharlaşıp çıktıktan sonra da bu şeklini koruyabilmesi önemlidir.

### ***Renk***

Killer, içeriğinde bulunan organik maddeler ve metal oksitler nedeniyle doğal bir şekilde renklendirilmiş olarak bulunurlar. Kil saf olduğu zaman (kaolinit) beyaz renklidir. Bunların haricinde pembe, sarı, kırmızımsı kestane rengi, yeşil, mavimsi, siyahımsı renklerde de olabilirler. Kil rengi kil hakkında kabaca bir fikir verebilir, ancak bu renk fırınlandıktan sonra kilin alacağı renk hakkında bilgi vermez. Kilin fırınlandıktan sonra alacağı renk, fırınlama sıcaklığı ile içerdiği demir ve mangan oksit miktarına bağlıdır [13, 17]. Killerin 900–1250°C arasında fırınlaması durumunda bu renk sarıdan koyu kırmızıya kadar değişebilir. Fırınlama sonucu oluşan ürünün, hammaddenin oksidasyonu, içerisindeki demir minerallerinin boyutlarına göre, vitrifikasyon derecesi (bu alümin oranına kireç ve kil minerallerindeki magnezyum ve yakma işlemi sırasındaki fırında bulunan gazın bileşimine) , fırınlama sıcaklığına bağlı olarak rengi değişir [18].

Tuğla yapımında kullanılacak killer düşük sıcaklıklarda erigen, diğer seramik ürünlerin yapımında kullanılan killere göre daha düşük saflıkta olan ve genellikle fırınlama rengi kırmızı olan killerdir. Geçmişten günümüze farklı alanlarda değişik amaçlar için kullanılan killerin kimyasal bileşimleri ve fırınlama koşulları, renk oluşumunu etkilemektedir [19].

Normal fırınlama şartlarında birçok kil fırınlama sonucu kırmızı renk alırlar. [20].

Son yıllarda tuğla üretiminde tuğlalara parlaklık, dekoratif ve estetik bir görüntü kazandırmak ve mekanik dayanımlarını dış ortam koşullarına karşı arttırabilmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [21].

### *Rötre*

Killer su ile yoğurularak kurumaya bırakıldığında hacmi, buna bağlı olarak boyutları değişir. Aynı olay yeterli miktarda kurutulmuş kilin fırınlanması sırasında da bir miktar devam eder. Bu olaya “kilin rötre yapması” denir. Kilin rötresi, kilin strüktüründeki partiküller arasında bulunan suyun sıcaklık etkisiyle dışarı çıkması olarak açıklanabilir. Kil partikülleri arasındaki suyun sıcaklık etkisiyle açığa çıkması sonucunda partiküller birbirlerine yaklaşırlar ve hatta birbirlerine değerkler. Sonuç olarak kilin hacmi küçülür. Kilin kurumasından oluşan rötre bütünüyle kilin plastik özelliğine bağlıdır. Kilin kurumasıyla oluşan rötre, kilin tekrar ısıtılmasıyla tam tersi özellik göstererek kilin şişmesine neden olur. Bunu sağlamak için, kilin belirli bir sıcaklık derecesinden daha yüksek bir sıcaklıkta kurutulmaması gerekir. Su ile yoğrulan kil hamurunun kuruma ve fırınlama sonunda yaptığı rötreye “toplam rötre” denir [13].

Başka bir ifadeyle rötre, daha fazla su kaybının örnek hacminde artık bir azalma meydana getirmediği en büyük (maksimum) veya numunenin suya tam doymun olduğu en büyük su muhtevasıdır [22].

Tuğla üretiminde kullanılacak kilin havada hacim kaybı ve fırınlanma hacim kaybı düşük olmalıdır. Aksi takdirde tuğlada standart boyut sağlama olanağı kaybolduğu gibi aşırı şekil bozuklukları da meydana gelir. Aynı zamanda tuğla yüzeyinde ve özellikle keskin köşelerde çatlama ve kırılmalar olur. Ancak yüksek ısıda fırınlanma sırasında (1100– 1200°C) bir miktar hacim kaybı olması, ürünün yeterli dayanımı sağlayabilmesi için gereklidir. Fırınlanma sırasındaki ideal lineer küçülme %6 civarında olmalıdır. Fakat bu ideal değere ulaşmak her zaman mümkün olmadığı için %4 civarındaki bir lineer küçülme fırınlama sonrası yeterli olabilir.

### *Tiksotropi*

Tiksotropi özelliği, kilin süspansiyon haline getirilmesi ile görülür. Bazı killerin topaklaşmayan süspansiyonları bir karıştırma hareketi etkisinde kaldıkları sürece akışkan özelliklerini korurlar. Karıştırma hareketi kesildiğinde jelâtinimsi bir



kitle haline gelirler. Tekrar karıştırıldığında akışkan hale geçmesi olayına ‘tikotropi’ denir [12, 13].

Bir başka ifadeyle tikotropi, kil numunesinin yoğurulduktan sonra kendi kendine zamanla direnç kazanmasıdır.

### ***Viskozite***

Herhangi bir akışkanın, yüzey gerilimi altında akmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüne viskozite denilmektedir. Viskozite özelliği sulu şekillendirme metodunda önemli bir faktördür. Killerin viskozitesi Lehmann viskozimetresi ve Galen kampf gibi aletler ile saptanır. Sulu metotla çalışmada litre ağırlığının yüksek ve su miktarının düşük düzeyde olması istenir. Bunu sağlamak için sulanmayı sağlayan elektrolitler kullanılarak akıcılık (viskozite) istenilen zamana göre ayarlanabilir [23].

### ***Kolloid Özellik***

Saf suya (pH=7) yüzde birkaç oranında kil eklendiğinde, kil mineral taneleri su içinde yüzebilen küçük tanecikler halinde dağılır. Killerin süspansiyon meydana getirmesi kil mineralinin cinsine, tane büyüklüğüne, yapı özelliğine, değişebilir katyon içeriğine ve değişebilir katyonların cinsine göre değişir.

Montmorillonit grubu kil minerallerinin Kaolin grubu kil minerallerine göre süspansiyon meydana getirme eğilimleri daha fazladır. Killerin tuğla ve seramik sanayiinde, döküm yoluyla şekillendirmede ve boyalarda dolgu olarak kullanılmalarında kolloid özelliklerinden büyük ölçüde faydalanılır [22].

### ***Kilin Çekme Dayanımı***

Şekil verilmiş ve kurutulmuş kilin çekme direncinin belirli bir değeri yoktur. Ancak kurtulmuş ürün biçimini korumalı pişirilmeden önce herhangi bir etkiye maruz kaldığında kırılıp ufalanmamalıdır.

***Sıcaklıkta Ergime Özelliği***

Tuğla üretiminde kullanılacak kil 600–900°C ergiyerek kimyasal ve kristal özelliğini değiştirmeli ve düşük düzeyde su emen, suyla yumuşamayan, sağlam ve düşük düzeyde gözenekli bir yapıya sahip olmalıdır.

***Tane Büyüklüğü Dağılımı***

Tuğla üretiminde kullanılacak kilin içerisinde 3 mm'den iri taneler ağırlıkça %1'i geçmemelidir. Kil içerisinde 3 mm'den iri taneler %1'in üzerinde bulunması durumunda fırınlama sırasında çatlamlar ve deformasyonlar meydana gelir.

***Gerekli Su Miktarı***

Çoğunlukla kil miktarına ve cinsine bağlıdır. Tuğla hamuru içerisinde ağırlıkça %20–30 arasında olmalıdır. Kil–su karışımında su miktarı arttıkça karışımın yumuşadığı azaldıkça sertleştiği görülür.

Tuğla toprağında CaCO<sub>3</sub> içeriği %35'in altında, SiO<sub>2</sub> %42–64, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %15–20 ve CaO oranı %8 civarında olması gerekmektedir. 3 mm'den büyük tanelerin miktarının %1'in üzerinde olmaması, plastisite indeksinin ise %25–35 aralığında bulunması gerekmektedir. 100°C de fırımlandığında sertliğinin OHS skalasına göre en az 2 olması, kuruma küçülmesinin %10'dan düşük olması, su emmesinin tuğlada %8'den fazla olması, %18'den düşük olmaması gerekir. Kiremit ve tuğla yapımında kullanılacak toprakların 800–1000°C'deki sıcaklıklarda herhangi bir patlama veya çatlak oluşmadan kiremit renginde fırınlanması istenir. Bu topraklar içerisindeki 0,2 mm'den büyük tanelerin miktarı, iri danelerin türü, kalıplanma özelliği ve kuru haldeki kırılma mukavemeti değerleri belirlenmelidir [24]. Ürünlerin özelliklerini belirlemek amacıyla oluşturulan çok sayıda TSE standardının bulunduğu ülkemizde bu standartlara uyulması amacıyla ürün hammaddelerinde bulunması gereken özelliklere çok önem verilmektedir. Harman tuğlasının imalatında kullanılacak toprakların kalitesini kontrol altına alabilmek amacıyla, harman tuğlasına da 4

Ağustos 2000 tarihinden itibaren TSE Kalite Belge zorunluluğu getirilmiş olup bu sayede harman tuğlası üretiminde kullanılacak toprakların özellikleri belirlenmiştir. Tuğla üretiminde kullanılacak toprakların deney yöntemleri TS 4790'la belirlenmiştir.

Araklı (Trabzon) bölgesindeki kil yataklarının tuğla üretiminde kullanılabilme kapasitesinin araştırılması amacıyla Yılmaz ve arkadaşları [16] tarafından yapılan çalışmada; tuğla hammaddesi olarak kullanılacak killerde, plastiklik suyu %25–35, fırınlama renginin koyu kırmızı (%5 Fe), maksimum 3mm den büyük dane boyu dağılımının %1 den fazla olmaması, gerekli su miktarı %20 ile %30 aralığında olması, sertlik değerinin 3 ile 5 (Mohs) aralığında olması, rötre değerinin %6 dan fazla olmaması ve su emme miktarının %10 ile %15 aralığında olması gerektiği belirtilmiştir.

Toprak içerisinde kalkerin büyük boyutlarda bulunması durumunda pişme sürecinde yanmış kireç, sonrasında da nemin etki etmesiyle birlikte sönmüş kireç haline gelir. Böyle bir durumda ürünün hacminde büyüme meydana geleceğinden zararlı olmaktadır. Tuğla üretiminde kullanılacak topraklarda genel olarak kum bulunmakta ve genellikle oldukça ince olup ve tane boyutları 10 ile 40 mikron büyüklüğünde ve gözle görülemeyecek şekildedir. Toprak içerisinde yaklaşık olarak %30 ile %40 civarında bulunan bu kumlar genellikle mika pulları içermektedirler.

Kil kütlesi içerisinde yayılmış halde bulunan demir çoğunlukla demiroksit ve hidratları halinde bulunmaktadır. Ürünün fırınlanınca kırmızı renge dönüşmesine neden olan kil içerisindeki bu demir oksitlerdir. Killi toprak içerisindeki demir oksitlerin ve hidratların miktarının %8 ile %10'u geçmemesi gerekmektedir.

Killer içerdikleri organik madde miktarına bağlı olarak mavi, yeşil, gri ve siyah renklerde bulunabilmektedir. Pişirme esnasında 400°C'den önce tamamen yanan bu organik maddeler yandıktan sonra siyah karbon birikintisi oluşturur. Tuğlanın dayanımını ve görünümünde kaliteyi artırmak için organik madde miktarının olabildiğince düşük bulunması çok önemlidir.

Yüksek kalitede bir tuğla üretmek için çoğunlukla sülfat tuzları ile klorür tuzlarının %1,5 dan daha az miktarda bulunması gerekmektedir. Bu eriyici tuzların

yüksek miktarda bulunması tuğla ürününün, kullanımında çiçeklenme ve yüzey dökülmelerine neden olacağı bilinmelidir[25].

Tuğla üretimi; hammaddenin hazırlanması, şekil verme, kurutulma, fırınlanma, paketlenme ve nakil bölümlerinden meydana gelmektedir [26]. Tuğla yapımına uygun hammaddelerde aranan kil özellikleri, ürün maddelerde aranan ve TSE’de belirlenen özelliklere göre [27] tayin edilir.

## **2.2. Tuğla Üretiminde Kullanılacak Kil Hammaddelerinin Kimyasal Yapısı**

Genel olarak tuğla yapımına en uygun killer illit ve kaolinit cinsi killerdir. Su alınca fazla şişme yapan Halloysit ve montmorillonit tipi killer su kaybı ile hacimsel küçülmeleri çok fazla olacağından tuğla üretimi açısından uygun görülmezler. Ancak fiziksel özelliklerinin deneysel olarak saptanması kimyasal yapılarından daha önemlidir. Tuğla üretiminde kullanılacak killerde bulunan yararlı ve sakıncalı maddeler aşağıda verilmiştir [13].

### ***Kum***

Tuğla hammaddesi olarak kullanılacak topraklarda bulunan kum genellikle çok ince taneciklidir ve tane çapları 10 ile 40 µ civarında olup gözle görülmezler. Toprağın içerisindeki kum miktarı genellikle %30–40 arası olup içerik olarak yüksek oranda mika plaketsleri de bulundurmalıdır [25].

### ***Demir***

Kil kütlesi içerisinde dağılmış halde bulunan demir, bazı durumlarda demir sülfat parçaları halinde bulunmakla birlikte genellikle demir oksit ve hidratları şeklinde bulunur. Fırınlanmış toprak malzemeye kırmızı rengi veren demir oksit ve hidratları şeklinde bulunan demirdir. Eğer hammadde içerisinde fazla miktarda demir sülfat ve karbonatları bulunursa hem fırınlamada şişme ve çatlamalar yapar hem de üretilen tuğlaların yüzeyinde çiçeklenme oluşur. Ayrıca tuğlalarda yağmur suyuyla

akan ve boyayan lekeler yapar. Tuğla hammaddesi olarak kullanılacak toprakta olması gereken demir oksit ve hidratları miktarı %8–10'u geçmemelidir.

### ***Karbonatlı kayaçlar***

Hemen her zeminde kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri ve karbonatlı kayaçlar fazlaca olan malzemelerdendir. Kilin bünyesi içerisinde iyi karışmış ve ince öğütülmüş CaO genellikle çok zararlı olmamaktadır. Fakat CaO nun toprak içerisinde yüksek oranlarda bulunması, fırınlanmış malzemedeki sarımtırak bir rengin oluşmasına neden olur ve fırınlama esnasında tuğlaların şekillerinin bozulması gibi durumlar oluşabilmektedir. Büyük granüller halindeki kalsiyum tuzları ürün tuğlanın kullanımında havanın nemini emip kalsiyum hidroksit şekline dönüşür ve buna bağlı olarak hacim genişlemesi meydana gelir. Özellikle tuğla yüzeyinde, yer yer çatlama oluşur. Tuğla hammaddesi olarak kullanılacak killerde bulunması gereken ince öğütülmüş kalsiyum oksit miktarı %8'in üzerinde olmamalıdır. Kil içerisindeki kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) miktarı ise %35'ten az, %25 ile % 30'dan çok bulunmamalıdır.

### ***Organik madde***

Killer içerdikleri organik madde miktarına bağlı olarak mavi, gri, yeşil ve siyah renklerde bulunabilmektedir. Pişirme esnasında 400°C'den önce tamamen yanan bu organik maddeler yandıktan sonra siyah karbon birikintisi oluşturur. Tuğlanın dayanımını ve görünümünde kaliteyi artırmak için organik madde miktarının olabildiğince düşük bulunması çok önemlidir.

### ***Suda çözünen tuzlar***

Yüksek kalitede bir tuğla üretmek için çoğunlukla sülfat tuzları ile klorür tuzlarının %1,5 dan daha az miktarda bulunması gerekmektedir. Bu eriyici tuzların yüksek miktarda bulunması tuğla ürününün, kullanımında çiçeklenme ve yüzey

dökülmelerine neden olacağı bilinmelidir [28]. Tuğla üretimine uygun olarak kullanılacak hammadde, içinde plastikliği sağlayacak düzeyde kil mineralleri bulunan, plastikliği bozmayacak oranda silt-kum bulunan, şekillenme özelliğine sahip 900–1000°C’de fırınladığında pekişen, çatlamayan killi toprak materyalleri ve çökelleri olarak tanımlanan hammaddelerdir [29].

Hammadde olarak kullanılan killer genellikle kaolinit, illit, montmorillonit, kuvars, demirli mineraller ve düşük oranda organik madde ile düşük oranda çözünebilen tuzlar içerirler. Toprak endüstrisi için en uygun kil mineralleri kaolinit ve illit grubu killerdir. Halosit ve montmorillonit cinsi killer şişmeye yol açacağından uygun değildirler. Kil içinde bulunan farklı bileşikler killerin kalitesini olumlu ya da olumsuz yönde etkilerler. Örneğin demirli bileşikler (hematit, limonit) tuğlaya istenen kırmızı rengi verip, sertliğin fazla olmasını sağlayarak su emme derecesini düşürürken, fazla miktardaki demir, demir sülfat ve karbonatlar fırınlama sürecinde çatlama, kopma ve tuğla yüzeyinde çiçeklenmeye yol açar. Bu nedenle demir oksit ve hidratların %8–10 arasında olmaları istenir [30].

Tuğla üretiminde kullanılacak olan killer kuru ve fırınlama hacim kayıpları küçük olmalıdır. Fakat yüksek ısıda fırınlama sürecinde bir miktar hacim kaybı olması ürünün yeterli dayanımı sağlayabilmesi için gereklidir. Kuru küçülmenin %8’den, toplam küçülmenin yaklaşık olarak %10’dan fazla olması durumunda çatlama ve deformasyon görülebilir. Killerin işlenebilmesi ve şekillendirilmesi açısından önemli olan plastiklik derecesi tuğla hammaddeleri için %8–25 arasında olmalıdır. %8’in altında olanlar çok kumlu, %25’in üstünde olanlar ise çok killidir [30].

### **2.3. Kil Minerallerinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu**

Dünyadaki kil rezervinin 70,252 milyar ton olduğu bilinmektedir. Bu miktar hammadde açısından ciddi bir ekonomik potansiyel oluşturmakta olup, kilin bilhassa çok sayıda endüstri alanında hammadde olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu düzeyde bir miktar yüksek bir ekonomi potansiyeli oluşturmaktadır. Kilin kullanılacağı alanlar göz önünde bulundurulduğunda kil özelliklerinin belirlenmesi



kullanımların kaliteli kil üretiminin karşılanmamasına neden olmakta ve ciddi bir hammadde ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

İthalat vasıtası ile karşılanan hammadde ihtiyacının özellikle tüketimdeki artışa bağlı olarak kaliteli kil üretimindeki yetersiz kapasite sebebi ile bu ithalatın artmasına yol açacağı şüphesizdir. Bu durum ilerleyen zamanlarda ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkacaktır. Ülkemizin endüstriyel alanlarındaki ihtiyaçlarına cevap verebilecek kapasitede kil miktarını karşılamak, mevcut kil yataklarını doğru ve etkili bir şekilde değerlendirmek ve özelliklede üretimdeki kalite standartlarının sağlanabilmesi bakımından killer üzerinde yapılacak çalışmaların çok iyi araştırılarak geliştirilmesi, detaylandırılması ve irdelenmesi çok önemli bir husustur [32].

Hammadde potansiyeli açısından doğanın oldukça cömert davrandığı ve bakir olduğu ülkemizde, ilk kaolin araştırmaları 1954 yılında başlamıştır. Ülkemizde kaolen ve feldispat üretimi ile bu hammaddeleri kullanan endüstri alanlarının üretime başlamaları 1961 yılına dayanmaktadır. 1962 yılından sonra seramik endüstrisi alanında yurdumuzda bir patlama olmuş ve kil kullanımı 1978 yılında 183.000 tona, 1984 yılında 316.000 tona ulaşmıştır [33].

## **2.4. Adıyaman İli Toprak Özellikleri**

### **2.4.1. Adıyaman Genel Toprak Yapısı**

Adıyaman'da çok değişik toprak tipleri oluşmuştur. Bu şekilde farklı toprak tiplerinin oluşmasının sebepleri arasında iklim, topografya ve ana maddedeki farklılıklar gösterilmektedir [34]. Adıyaman'da farklı topraklar bulunduğu gibi toprak örtüsünün olmadığı bir kısım arazi türlerine rastlamakta mümkündür. Alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar, kahverengi orman toprakları, kırmızı-kahverengi Akdeniz topraklarının gözlendiği Adıyaman İli %75 civarında killi tınlı toprak yapısına sahiptir [35, 36].

(A) C profili gösteren alüvyal topraklar, genellikle genç topraklar olup bu toprakların tarım bakımından çok önemli olduğu bilinen bir gerçektir. Horizonların iyice gelişmediği bu topraklarda değişik özellikte mineral katlar görülebilmektedir.



Akarsular tarafından taşınıp depolanmış materyallerden oluşan bu topraklar heterojen mineral bileşimlerine sahiptir. Üst toprağın alt toprağa belirsiz olarak geçtiği bu topraklarda alt toprak kısmında hafif seyreden bir indirgenme olayı hüküm sürer. İnce bünyeli ve yüksek taban suyuna sahip alüvyal topraklarda düşey geçirgenlik düşüktür ve yüzey toprağı nemli ve organik maddece zengindir. Toprağın daha iyi drene olması ve yüzey katlarının daha hızlı kuruması kaba bünyeli olmasına bağlıdır. Yukarıdaki arazilerden yıkanmış kireçce zengin alüvyal topraklar Adıyaman'da Gölbaşı İlçesi göllerinin etrafındaki bölgelerde, Samsat İlçesi'nde Fırat Nehri'nin kenarlarında ve Kâhta Çayı boyunca görülmektedir. Alüvyal toprakların ilin toprakları arasındaki oranı %0,4 civarında olup, yüz ölçümlerinin toplamı 2 930 ha'dır. Bunun yaklaşık 1.589 ha'lık kısmı I. Sınıf, 1.341 ha'lık kısmı ise drenaj yetersizliği sebebiyle II. Sınıf olarak ayrılmaktadır [36].

Kolüvyal Topraklar; dik eğimlerin eteklerinde yerçekimi, toprak kayması yüzey akışı ile birikmiş ve kolüvyum denen materyal üzerinde oluşmuştur. Adıyaman Merkez ve Samsat ilçesinde Fırat Nehri boyunca, Gölbaşı İlçesi'nin kuzeydoğu kısmında, Çelikhan İlçesi'nin kuzey ve kuzeydoğu kısmında, Besni ve Tutu İlkelere'nin güney kısmında ve il merkezindeki küçük akarsu vadilerinde bulunmakta olan kolüvyal toprakların alanları toplamı yaklaşık 17.737 hektar olup ildeki toprakların %2,3 lük kısmını oluşturmaktadır [36].

Yüksek miktarda kireç içeren ve horizonların birbirine tedricen geçtiği kahverengi orman toprakları Profil özelliği olarak A (B) C şeklinde olup ana kayaç üzerinde oluşmuştur. İyi gelişmiş olan A horizonu belirgin olup koyu kahverengi rengindedir. Horizon gözenekli ya da granüler yapıdadır. A horizonuna nisbeten daha açık kahverengi ve bazen kırmızı olan B horizonu granüler yapıda yada yuvarlak köşeli blok yapıda olmaktadır. B horizonunun aşağı kısımlarında kil birikmesi neredeyse olmayıp çoğunlukla bu kısımda CaCO<sub>3</sub> bulunmaktadır. Bu toprakların drenajı genellikle iyi olup daha çok geniş yapraklı orman örtüsü altında oluşurlar. Genellikle orman ya da mera amaçlı kullanılırlar. Tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda genellikle bölgeye özgü ürünler yetiştirilmekte olup bu toprakların yüksek bir verim kapasitesine sahip olduğu söylenebilir [36].

Adıyaman İl merkezinin kuzey doğu ve kuzey batı kısımlarında, Kâhta İlçesi'nin kuzey kısmında, Gerger İlçesi'nin kuzey doğu, kuzey batı ve batı kısımlarında, bu iki ilçenin Malatya sınırına yakın kısımlarında, Gölbaşı İlçesi'nin kuzey doğu kısmında ve Besni İlçesi'nin kısmında bulunan bu topraklar yaklaşık olarak 89.039 ha lık bir alana sahip olup ildeki topraklar içerisindeki oranı % 11,7 civarındadır. Bu topraklar daha çok dik, çok dik ya da sarp eğimli yerlerde bulunmaktadır. Çoğu sığ ya da çok sığ olan u toprakların % 60'ından fazlası taşlık ve bir kısmı da kayalık şeklinde olmaktadır. Tarımsal amaçlı kullanılabilme özelliği açısından bu toprakların % 88'lik kısmı VII. sınıf, % 10'luk kısmı VI. sınıf ve kalan kısmı da III. ve IV. sınıftır. Bu toprakların il içerisinde bulunan bölümlerinin % 70'e yakını orman veya fundalık ile kaplıdır. Yaklaşık % 20 civarındaki bir kısmı mera olarak kullanılmakta olup kalan kısmı yerleşim amaçlı ayrılmış ve az bir kısmı hariç tarım amaçlı ayrılmıştır.

İldeki kireçsiz kahverengi orman toprakları A (B) C profilinde olup bu toprakların A horizonu iyi gelişmiş gözenekli bir yapıdadır. Zayıf gelişme gösteren B horizonu yok denecek kadar azdır. Kahverengi ya da koyu kahverengi ve granüler yada yuvarlak köşeli blok yapıdadır. Kil birikimin olmadığı bu horizon nerdeyse hiç görülmemektedir. Horizon sınırlarının geçişli ya da tedrici olduğu Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları çoğunlukla orman örütüsün yaprak döken kısımlarının altında oluşurlar ve daha çok Adıyaman'ın kuzey kısımlarında, Kâhta İlçesi'nin kuzey batı kısmında, Gerger İlçesi'nin kuzey doğu kısmında, Besni İlçesi'nin batı kısmında ve Gölbaşı İlçesi'nin güney doğu kısmında yaygın olarak görülmektedir. Bu topraklar çoğunlukla dik, çok dik ve sarp eğim yapısına sahiptir. Büyük bir kısmı taşlık ve kayalıktan oluşmuştur. Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları il içerisinde toplam 78 141 ha'lık alan sahip olup ildeki topraklar içerisindeki oranı % 10,3 civarındadır. Bu toprakların yaklaşık % 90'lık kısmı VII. sınıf, kalanı III., IV. ve VI. sınıf topraklardan oluşmaktadır [36].

Kırmızı-Kahverengi Akdeniz Toprakları ABC Profili şeklinde olup Kırmızı Akdeniz topraklarının bir karışımıdır. Bu topraklar içerisinde kahverengi olan kısımlar daha belirgindir. Orta derece organik maddeye sahip ve organik madde miktarının mineral madde miktarı ile iyice karıştığı A Horizonu iyi gelişmiştir.

Yukarı kısımlardan taşınarak gelen killerin oluşturduğu kil zarlarnın görüldüğü B horizonundaki bünyesel ped yüzeylerinde bulunan killer, illit yada kaolen grubundandır. Adıyaman'da Gölbaşı İlçesi'nin batı ve güneybatı kısımlarında bulunmaktadır. [36].

Daha çok karbonat içerikli kayaçların ayrışması sonucunda oluşan kil hammadresi genellikle kırmızı renkli olup smektit, illit ve kaolinit içeriklidir [37]. Bunların haricinde smektit ve illit içerikli Sahra kökenli tozların katkısı da önemli bir husustur [38]. Bu killer koyu kırmızıdan koyu kahverengiye kadar değişik renklerde olup, bazı kısımlarda bütünsel olarak boz renkli bölümlerde mevcuttur. Nehir ve çayların kenarında alüvyon içerikli bölümler de görülmektedir. Adıyaman'da ki topraklar, türlerine göre sıralandığında kahverengi topraklar birinci sırada yer almaktadır[36].

Kahverengi Topraklar; oluşumlarında kalsifikasyondan kaynaklanan çok miktarda kalsiyum bulunan ve çeşitli ana maddelerden oluşan ABC profilli topraklardır. Erozyona uğrayanları arasında A ve C horizonları görülmekte olup iyi derecede drenaj yeteneğine sahiptirler [39]. Organik madde içeriği ortalama bir değer gösteren A1 horizonu kahverengi veya grimsi kahverengi renkte, 10-15 cm kalınlığında ve granüler yapıda bulunmaktadır. Reaksiyonu nötr yada kalevidir. B horizonu kaba yuvarlak köşeli blok yapıda olup açık kahverengiden koyu kahverengiye değişik renklerde olabilmektedir. Bu horizon tedrici olarak soluk kahverengi veya grimsi, çok kireçli ana maddeye geçiş yapar. Kahverengi toprakların profillerinin tamamı kireçlidir. B horizonu alt kısmında beyazımtırak ve genellikle sert yapıda birikmiş kireç katmanı bulunmaktadır. Bu kısmın altında da bir jips birikme tabakası bulunabilmektedir. Yaz aylarında uzun dönemler bu topraklar kuru kalır. Bu dönemlerde kimyasal ve biyolojik olaylar çok yavaştır. Kahverengi topraklar Adıyaman Merkez İlçe ile Fırat Nehri arasında, Kâhta İlçesi çevresinde, Gerger İlçesi'nin doğu kısmında, Gölbaşı İlçesi'nin kuzey doğu, doğu ve güney doğu kısmında, Besni ve Tut ilçeleri ile Keysun beldesinin çevrelerinde bulunmaktadır.

Kahverengi Toprakların alanları 229.165 ha olup toplam alanın %30,1' lik kısmını oluşturmaktadır. Genellikle dik, çok dik ya da sarp eğim yapısına sahiptirler. Derinlikleri genellikle sığ ya da çok sığdır. Kahverengi toprakların %30'dan fazla

kısmı taşlık ve kayalıktır. %50'si VII. Sınıf olan bu toprakların kalan kısımları I., II., III., IV. ve VI. sınıf topraklar arasında yer almaktadır [36].

### **2.5. Cam**

Ani soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer kimi metal oksitlerin çözülmesinden oluşan ve akışkan bir malzeme olan camın ana maddesi ( $\text{SiO}_2$ ) silisyumdur. Cam amorf yapısını koruyarak katılaşmaktadır. Camın üretimi esnasında hızlı soğuması sebebiyle kristal doku yerine amorf doku oluşmaktadır. Bu doku camın sağlamlık ve saydamlık özelliği kazanmasında etkilidir. Camın literatürde sıvı olarak tanımlanmasının nedeni katılarda görülen kristalleşme özelliklerini göstermediği içindir. Bu isimlendirme esasen amorf yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır [41].

Yalnızca hidroflorik asit ve bazı alkalik çözeltilerin (eriyikler) etkilediği camlar kimyasal açıdan birçok maddeye karşı dayanıklıdır. Cam yüzeylerin işlenmesinde ve yüzeylerin matlaştırılması amacıyla özellikle hidroflorik asit kullanılmaktadır. Su camları etkileyen bir diğer madde olup sadece uzun sürelerde camı etkilemektedir. İçerisine kalsiyum karbonat ilave edilmemiş camlar suya karşı kararlı davranış göstermemektedir. Bu tür camlara su camı da denilir. Pencereelerde kullanılan camlar ve su temasına maruz kalabilecek bütün camların suya karşı kararlı olabilmeleri bileşimleri içerisine kireç katılmasına bağlıdır [42].

Cam malzemelerin belirleyici özellikleri arasında basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı gibi özellikler vardır. Camlar gevrek malzeme türünde ve kırılğan malzeme özelliğinde olduğundan darbelere ve şekil değiştirmelere karşı yeterli dayanıma sahip değildir. Ancak camların basınç dayanımları çok yüksektir. Cam ve benzeri kırılğan özelliğe sahip malzemelerin basınç ve çekme dayanımları arasında büyük fark olup bu fark cam malzemedeki yaklaşık 20 kata ulaşmaktadır. Camların dayanıklılığı çekme dayanımının belirlenmesi ile mümkündür. Camların çekme dayanım değeri 20 ile 90 MPa arasında olup, basınç dayanım değerleri ise 500 ile 900 MPa arasında değişiklik

göstermektedir. Camların aşınma dayanımı da oldukça iyidir. Camların elastisite modülü 45.000 ile 100.000 MPa arasında değişmektedir [43].

**3.MATERYAL ve YÖNTEM****3.1. Materyal**

Bu çalışmada iki yıl boyunca Adıyaman ili Altınşehir Mahallesiinde açılan ve açılmakta olan temel çukurları incelenmiş ve en üstteki organik toprak katmanı altında en az 1,5 m derinliğe kadar devam eden bej renkli killi siltli zemin katmanı saptanmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1 Tuğla hammaddesi olarak alınan killi toprak

Bej renkli killi siltli zemin katmanının bulunduğu lokasyonlardan (Resim 3.2), açılan yapı temel çukurlarından çıkarılan atık hafriyattan, yeterli miktarda zemin alınmış ve bu zemin 18 nolu elekten geçecek şekilde öğütülmüş %10 ve %20 oranlarında atık soda camı parçacıkları ile harmanlanarak tuğla hammaddesi oluşturulmuştur



Resim 3.2 Killi toprağın alındığı lokasyonlar

Alınan bu killi zemine elek analizi, hidrometre, likit limit, plastik limit ve rötre limiti gibi deneyler yapılmıştır. Bu deneyler ile tuğla üretiminde kullanılacak killi zeminin fiziksel özelliklerinin tespiti ve sınıflandırması yapılmıştır. Fiziksel özellikleri tespit edilen bu zemin, ağırlıkça su/zemin oranı 1/6 olacak şekilde tuğla hamuru hazırlanmış ve hazırlanan bu malzeme homojen bir su içeriğine ulaşması için 24 saat ağzı kapalı kalacak şekilde dinlendirilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3 Tuğla hamurunun 24 saat hava almayacak şekilde dinlendirilmesi

Bu numuneler üzerine uygulanan dane boyu dağılımı, kıvam limitleri ve bütün sınıflandırma deneylerine yönelik çalışmalarda ASTM standartları uygulanmıştır.

Oluşturulan hammaddeden alınan 800 gr ağırlığındaki yaş hamur 150x70x40 mm ebatlarındaki çelik tuğla kalıbına (Resim 3.4) dökülerek Mikrotest marka hidrolik pres makinesin ile de ham tuğlalar kalıptan çıkarılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.4 Çelik tuğla kalıbına toprağın dökülmesi





Resim 3.5 Hidrolik pres makinesinden ham tuğlanın çıkarılması

Hazırlanan tuğlalar aynı su içeriğinde kurumaları için oda sıcaklığında 7 gün bekletilmiştir (Resim 3.6)



Resim 3.6 Oda sıcaklığında kurumaya bırakılan ham tuğlalar

Oda sıcaklığında kurutularak aynı su içeriğine getirilen ham tuğlaların ağırlıkları ölçülerek, üçer numune halinde 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200 °C deki sıcaklıklarda max. 1500 °C ye çıkartılabilen yüksek fırında (Resim 3.7) pişirilip, pişme sonrası ağırlık kayıplarını hesaplayabilmek için pişme sonrası ağırlık değerleri ölçülmüştür.



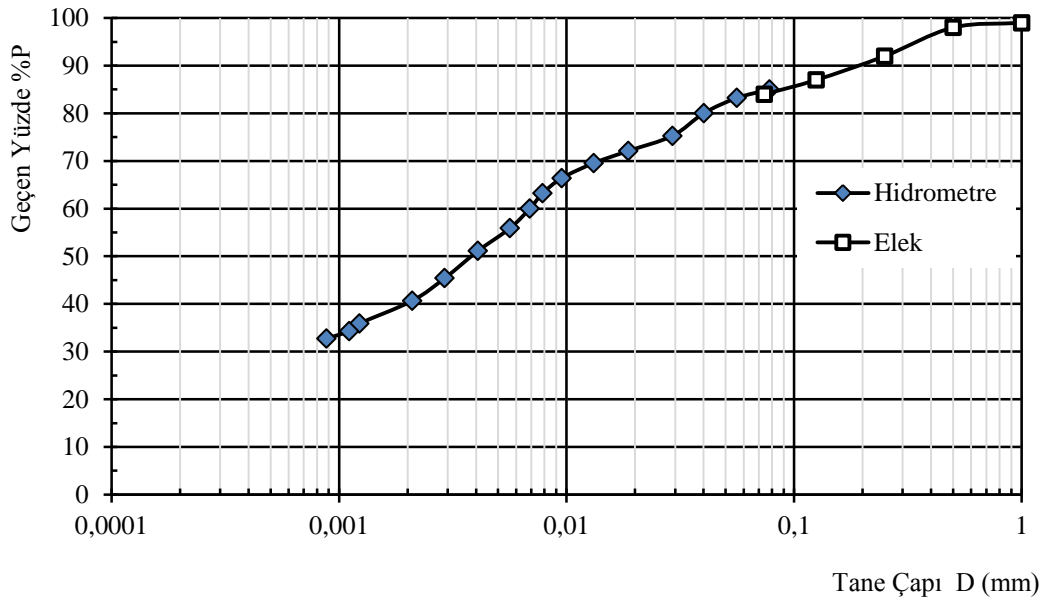
Resim 3.7 Tuğlaların yüksek fırına yerleştirilmesi

Piştirilen tuğlaların dolaylı yöntemle dayanımlarını ve pişme sıcaklığına bağlı ultrasonik ses iletim hızlarının tespiti için ultrases deneyine tabii tutulmuştur. Farklı sıcaklıklarda piştirilen bu tuğlalardan en yüksek aralık olan 700, 900 ve 1100 °C de piştirilen 3' er adet tuğlaya pişme sonrası tuğla içerisindeki fiziksel, kimyasal ve minerolojik değişimleri incelemek amacıyla SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. SEM ve EDX analizleri yapılan ve farklı sıcaklıklarda piştirilen bu tuğlaların su emme miktarı TS EN 771 e göre yapılmıştır. Deneyler Adıyaman Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı, Merkezi Laboratuvar ve Adıyaman Meslek Yüksek Okulu Laboratuvarında bulunan deney cihaz ve ekipmanları ile yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

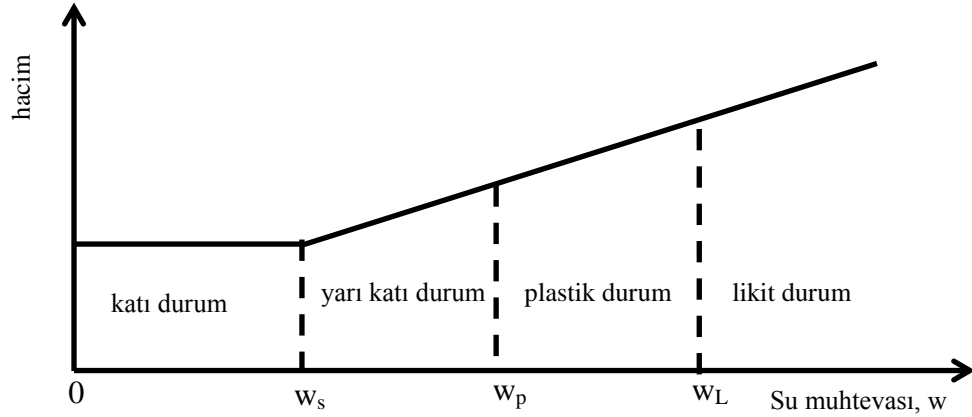
## 4.1. Deneylerde Kullanılan Zeminin Tane Boyu Dağılımı ve Kıvam Limitleri

Temel çukurlarından alınan zemin numuneleri oda sıcaklığında kurutulduktan sonra bir dizi ASTM elekleri ile elenmiştir. Tane çapı 0,075 mm den küçük (200 nolu elekten geçen) zeminler için hidrometre analizi ile tane boyu dağılımı yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Tuğla yapımında kullanılan killi zeminin tane boyu dağılımı

Zeminin taneciklerinin su ile ilişkileri ve değişen su muhtevalarına göre zeminin fiziksel durumunun tanımlanması yapılabilir. Bilindiği üzere ince taneli zemin grubunda yer alan killi ve siltli zeminler bünyelerine su alarak hacim artışı göstermekte ve aldıkları bu su miktarı ile ilgili olarak katı kıvamdan akıcı (likit) kıvama kadar değişik fazlarda olabilmektedirler (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Zemin – Su ilişkileri (Kıvam)

Zeminin yarı katı durumdan katı duruma geçtikleri andaki ‘sınır su muhtevası ( $w_s$ ) olan büzülme limitini belirlemek amacıyla yapılmıştır.’ Bu deneyin sonucunda zeminin büzülme oranı da belirlenir. İnce taneli zeminlerin su muhtevası azaldıkça boşluklarında bulunan su buharlaşacağından, taneler birbirine daha fazla yaklaşarak büzülür ve hacimleri azalır, ancak belli bir noktadan sonra zemin su kaybetmesine rağmen hacminde bir azalma olmaz ve hacim sabit kalır. Bu andaki su muhtevasına “büzülme limiti” adı verilir. Kullanılan zeminin büzülme (rötre) değerleri çizelge 4.1 te verilmiş olup, rötre limiti %23,9 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Rötre limiti deneyi verileri

Dara (gr)	Yaş Numune Hacmi( $\text{cm}^3$ )	Kuru Numune Hacmi( $\text{cm}^3$ )	Yaş Numune Ağırlığı(gr)	Kuru Numune Ağırlığı(gr)	Su Muhtevası (%)
9.61	18.62	12.58	31.92	20.88	52.87

$$W_s = 0,5287 - \left( \frac{(18,62-12,58) \times 1}{20,88} \right) \times 100 = 23,9$$

Plastik limit, plastik ve yarı katı durumları birbirinden ayıran su muhtevasıdır. Diğer bir deyişle, zeminin el altında, cam bir yüzeyde, çubuk haline getirilirken, çubukların çapları yaklaşık olarak 3 mm' ye geldiğinde kopmaların meydana geldiği su muhtevası değeridir. Bu kıvama yakın malzemeye el ile elipsoidal bir biçim verilir ve düz bir plaka üzerine konarak el ayası ile yuvarlanır. Bu işlemi yaparken 3 mm çapında çubuklar elde edebilmek için yeterince bastırılır. Çubukların çapı 3 mm olduğu anda yüzeyde çatlama olmazsa, malzeme toplanır ve tekrar toprak haline getirilerek yoğrulur. Yoğurma işlemine 3 mm çapındaki çubuk çatlayıp birkaç parçaya bölününceye kadar devam edilir. Bu ufalanan çubuğun parçalarının su muhtevası belirlenmesi yapılır. Bulunan su muhtevası ortalamaları zeminin plastik limit değerini verir [40]. Deneylede kullanılan killi zeminin plastik limit değeri %27,55 olarak belirlenmiştir.

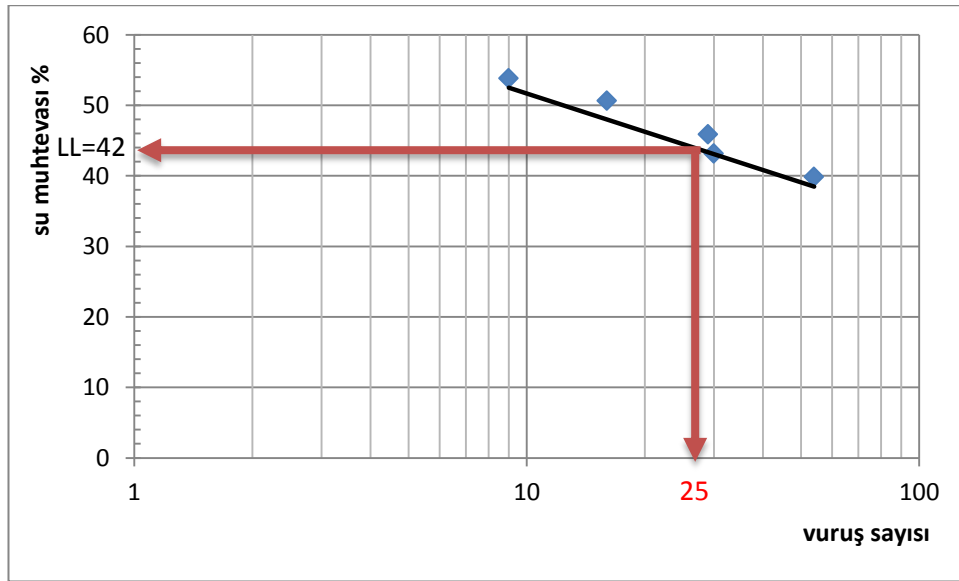
Tuğla imalinde kullanılan zeminin likit limiti Cassagrande yöntemiyle belirlenmiştir. Bu yöntemde farklı su muhtevalarında casagrande cihazına konulup spatula ile düzleştirildikten sonra oluk açma bıçağı ile zemin iki eşit parçaya bölünür. Metal kabın düşme kolu döndürülerek kap 1 cm yüksekliğe çıkarıp serbest düşmeye bırakılır. Bu işlem iki parçaya bölünmüş zeminin karşılıklı yakalarının yaklaşık 13 mm birbirlerine kavuşmasıyla sonlanır. Kavuşmanın olduğu bölümden bir miktar zemin alınıp su muhtevası belirlenir. Bu işlem farklı su muhtevalarında en az beş kez tekrarlanır. Metal kabın düşüş sayısı ve zeminin su muhtevası ilişkisinden likit limit belirlenir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Likit limit deneyi verileri

<b>Kap No</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>93</b>
Vuruş Sayısı	54	30	29	16	9
Islak Numune+Dara (gr)	43,80	34,85	44,67	42,62	43,63
Kuru Numune+Dara (gr)	37,94	31,29	37,47	35,97	37,19
Su miktar (gr)	5,86	3,56	7,20	6,65	6,44
Dara (gr)	23,24	23,04	21,78	22,84	25,23
Kuru zemin (gr)	14,70	8,25	15,69	13,13	11,96
Su Muhtevası (%)	39,86	43,15	45,89	50,65	53,85

Likit limit deney sonuçları yatayda vuruş sayıları (N) logaritmik, düşeyde su muhtevaları (w) olan bir eksen takımında işaretlenerek, noktalardan yaklaşık bir doğru seçilir. Bu grafikte 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği, o zeminin likit limitini verir [40].

Casagrande yöntemiyle deneylerde kullanılan zeminin likit limiti % 42 olarak bulunmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Likit limit grafiği

#### 4.2. Tuğlaların Ağırlık Kayıpları

Tuğla kalıbından hidrolik pres makinesi ile örselenmeden çıkarılan üçer numune halindeki 18 adet tuğla oda sıcaklığında 7 gün kurutulmuştur. Bekletilen tuğlaların pişme sonrası ağırlık kayıplarını hesaplayabilmek amacıyla; pişme öncesi ağırlıkları ölçülmüştür (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Tuğlaların fırınlanmadan önceki ham ağırlık değerleri, (gr)

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	689,86	671,04	687,05
800	690,5	676,50	684,5
900	687,5	674,50	688,5
1000	685	679,00	689,5
1100	690	675,00	688,5
1200	689,5	673,00	689,5

Daha sonra bu tuğlalar 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200 °C deki sıcaklıklarda yüksek fırında pişirilip, pişme sonrası ağırlık değerleri ölçülmüştür (Çizelge 4.4).

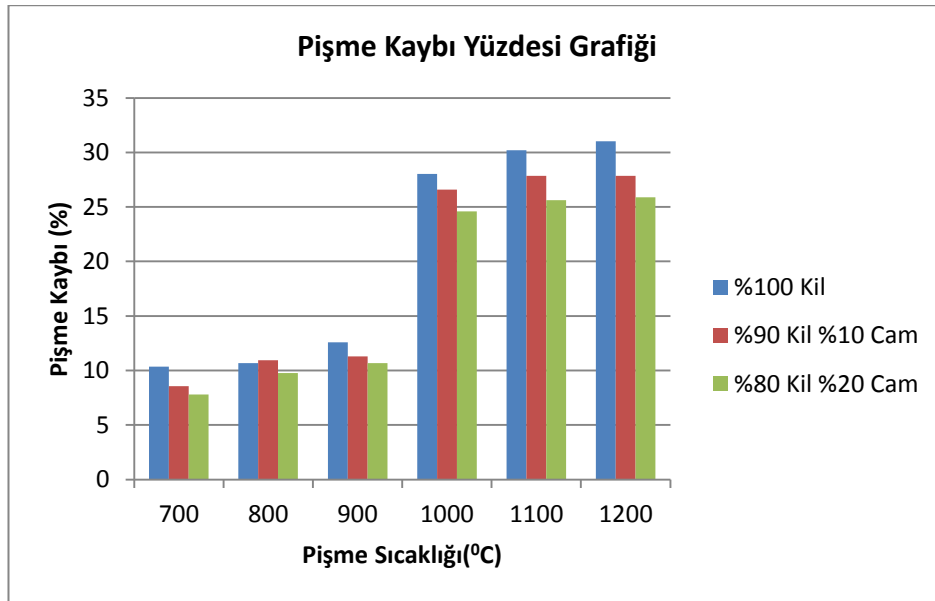
Çizelge 4.4 Fırınlanma sonrası ağırlık değerleri(gr)

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	618,5	613,50	633,5
800	617	602,50	617,5
900	601	598,50	615
1000	493	498,50	520
1100	481,5	487,00	512
1200	475,5	485,50	511

Tuğlaların pişme sonrası ağırlık değerlerinin ham ağırlık değerlerine bölünmesi ile tuğlaların yüzdesel olarak pişme kaybı miktarı hesaplanmış, bu oran çizelge ve grafiksel olarak gösterilmiştir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4).

Çizelge 4.5 Pişme kaybı değerleri

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	10,34	8,57	7,79
800	10,68	10,93	9,78
900	12,58	11,30	10,67
1000	28,02	26,58	24,58
1100	30,21	27,85	25,63
1200	31,03	27,86	25,88



Şekil 4.4 Ağırlıkça pişme kaybı değerleri grafiği (%)

Şekil 4.4 te gösterilen Tuğlaların Ağırlıkça Pişme Kaybı Değerleri Grafiğinde de görüleceği üzere 900 °C den sonra pişirilen tuğlalarda ciddi manada ağırlık kayıpları gözlenmiştir. Ayrıca cam katkılı tuğlaların pişme kaybı katkısız tuğlalara nazaran daha azdır.

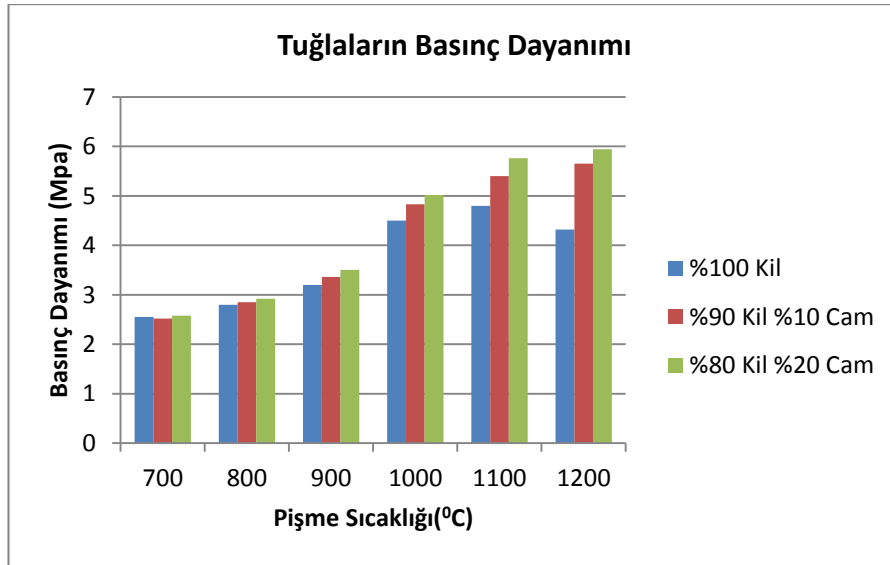


### 4.3. Pişme Sıcaklığına Bağlı Tuğlaların Dayanım Ölçümü

Farklı sıcaklıklarda ve farklı karışımlarda pişmiş tuğlaların basınç dayanımı ölçülmüştür. ELE ADR Auto V2.0 marka cihaz ile numuneler kırılarak ve çizelgedeki basınç mukavemeti değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.5).

Çizelge 4.6 Fırınlanmış tuğlaların basınç mukavemeti (Mpa)

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	2,55	2,52	2,58
800	2,80	2,85	2,92
900	3,20	3,36	3,50
1000	4,50	4,83	5,02
1100	4,80	5,40	5,76
1200	4,32	5,65	5,94



Şekil 4.5 Fırınlanmış tuğlaların basınç mukavemeti değerleri

Tuğlaların basınç dayanımı değerlerinden de görüleceği üzere pişme sıcaklığı arttıkça basınç dayanımının da arttığı görülmektedir. Bu durum pişme sıcaklığı arttıkça tuğlanın camsı bir fiziksel özellik kazanmasından dolayıdır. Cam katkılı tuğlaların basınç dayanımlarının katkısız tuğlalara göre daha yüksek çıktığı, cam oranı arttıkça basınç dayanımında arttığı gözlenmiştir.

#### 4.4. Tuğlaların Ultrases Hız Değerlerinin Ölçümü

Fırınlanmış tuğlaların ultrasonik ses hızlarının tespitinde ise Proceq marka ultrases test cihazı kullanılmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1 Ultra ses hız ölçüm cihazı

Bu cihaz beton ve kaya numuneleri üzerinde çatlak – boşluk veya olası diğer kusurları tespit etme özelliğine sahip olup cihazın iletim zamanı ölçüm aralığı 0,1 – 9999  $\mu$ s, cihazın iletim zamanı çözünürlüğü 0,1  $\mu$ s dir. Cihazın frekans aralığı ise 20 kHz – 500 kHz dir.

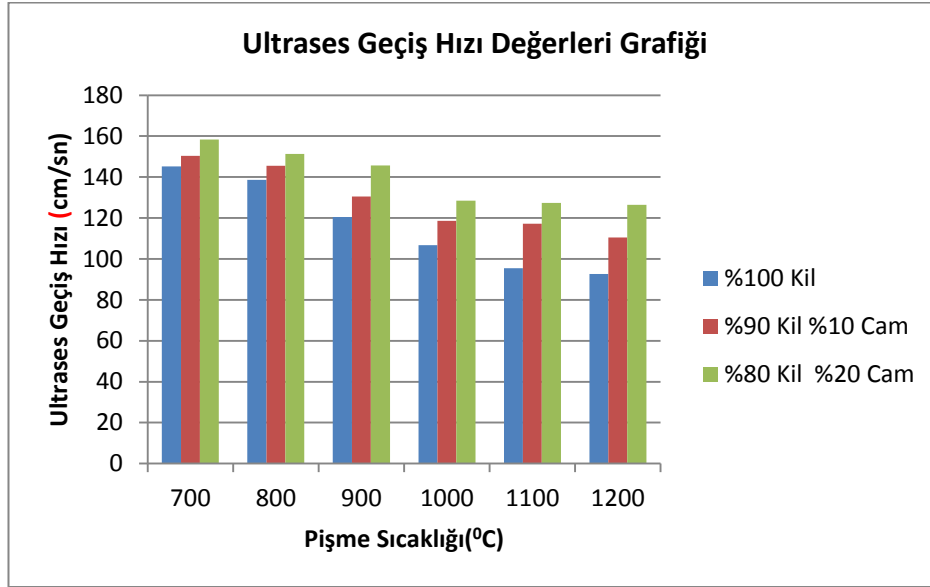
Ultrases hızı ölçümleri ASTM C 597 standardına göre yapılmıştır. Bu işlem 3 farklı karışımda ve 6 farklı pişme sıcaklığındaki tuğlalar ile hazırlanan 18 adet tuğla numunesinde uygulanmıştır. Tuğla numunelerinde ultrases geçiş hızı

ölçümü, numunelerin zemine temas eden yüzeylerine dik doğrultuda yapılmıştır. Numuneler, alıcı ile vericiler arasına hava kabarcığı kalmayacak şekilde sıkıca yerleştirilmiş ve numune boyunca ultrases geçiş süresi, mikro saniye cinsinden ölçülmüştür.

Üretilen tuğlaların ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde genel olarak tuğların pişirildiği sıcaklık değeri arttıkça ultrases geçiş hızı değerleri azalmaktadır (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.6). Bu durum pişme sıcaklığı arttıkça tuğla içerisindeki boşluk oranının artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.7 Tuğlaların ultra ses geçiş hızı değerleri

<b>Tuğla</b> <b>Pişme</b> <b>Sıcaklığı °C</b>	<b>%100 Killi</b> <b>Zemin</b>	<b>%90 Killi</b> <b>Zemin</b> <b>%10 Cam</b>	<b>%80 Killi</b> <b>Zemin</b> <b>%20 Cam</b>
<b>700</b>	145,2	150,4	158,4
<b>800</b>	138,6	145,6	151,3
<b>900</b>	120,5	130,5	145,7
<b>1000</b>	106,8	118,6	128,5
<b>1100</b>	95,4	117,2	127,4
<b>1200</b>	92,6	110,5	126,5



Şekil 4.6 Tuğlaların ultra ses geçiş hızı değerleri grafiği

#### 4.5. SEM ve EDX Analizi

##### *SEM Analizi*

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarının mercekle değiştirilerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlar geliştirilmiştir. Ancak bu cihazlar, gerek büyütme miktarlarının sınırlı oluşu gerekse elde edilen görüntü üzerinde işlem yapma imkânının olmayışı nedeniyle araştırmacıları bu temel üzerinde yeni sistemler geliştirmeye itmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek büyütme üzerinde işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği cihazlar geliştirilmiştir.

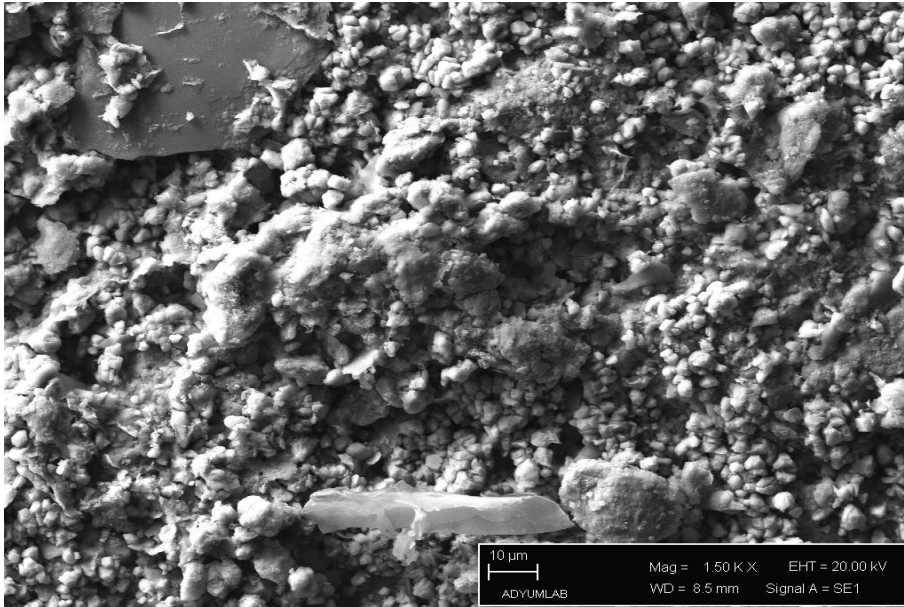
Elektrooptik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları

arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Elektron mikroskopları temelde bir elektron kaynağından salınan elektronların numune ile etkileşimleri sonucunda elde edilen verilerin algılayıcılar tarafından işlenerek normal ışık mikroskopları ile görülemeyecek kadar küçük ayrıntıların görülebileceği büyüklükte görüntü oluşumu sağlar.

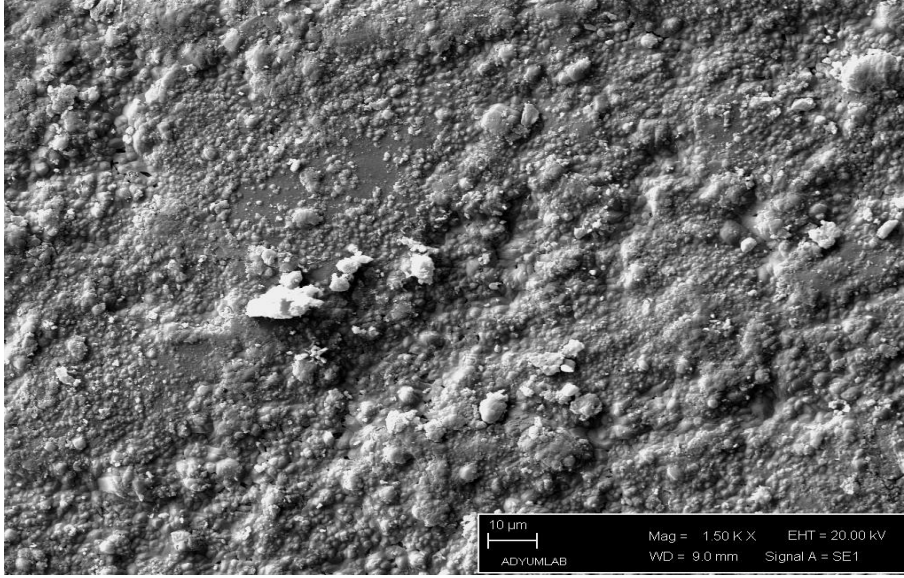
Farklı sıcaklıklarda pişirilen %100 kil içerikli tuğlalardan en yüksek aralık olan 700, 900 ve 1100 °C de pişirilen 3' er adet tuğlaya pişme sonrası tuğla içerisindeki fiziksel, kimyasal ve minerolojik değişimleri incelemek amacıyla yapılan SEM görüntüleri incelendiğinde;

700 °C de pişirilen tuğlalardaki zemin partiküllerinin ergimediği ve partiküller arasındaki mikro boşlukların fazlalığı gözükmemektedir (Resim 4.2).



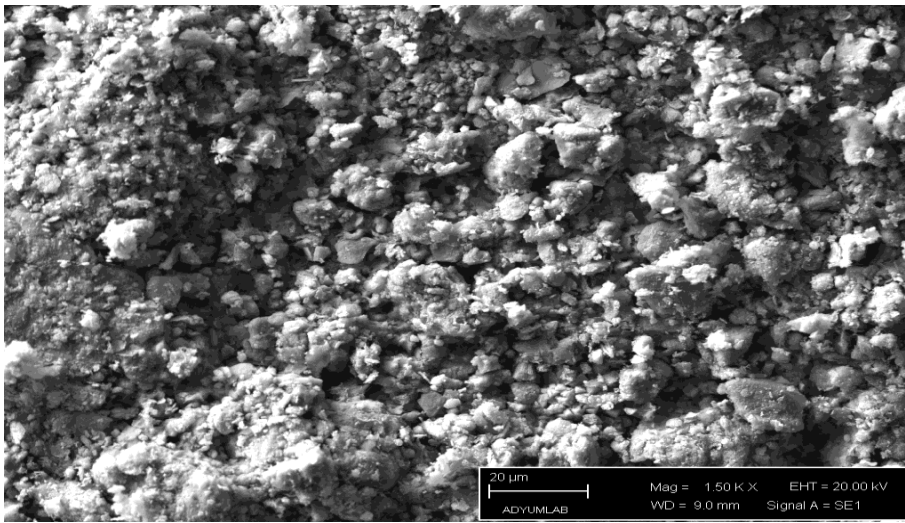
Resim 4.2 700 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü

900 °C de pişirilen tuğlalardaki zemin partiküllerinin nispeten ergidiği ve partiküller arasındaki mikro boşlukların kısmen azaldığı gözükmetedir (Resim 4.3).



Resim 4.3 900 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü

1100 °C pişirilen tuğlalarda ise boşlukların nispeten daha fazla olduğu görülmekte olup bu durumun tuğla içerisindeki bazı minerallerin buharlaşmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.(Resim 4.4)



Resim 4.4 1100 °C de pişen tuğlanın 1500 kat büyütülmüş SEM görüntüsü

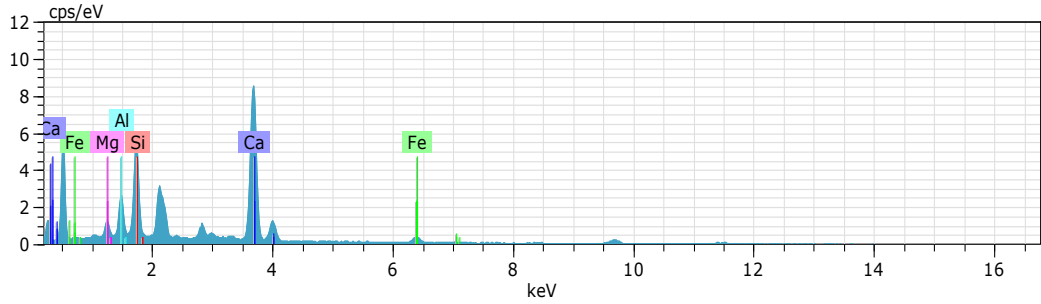
Bu durumda 900 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar camsı bir nitelik kazandığından dolayı dayanımları artmaktadır. Ancak 900 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların içerisindeki minerallerin bir kısmı buharlaştığından boşluk oranı artmış ve buna bağlı olarak ultrases geçiş hızları azalmış ve su emme oranları da yükselmiştir.

#### ***EDX Analizi***

Herhangi bir numune veya numune üzerinde elementel kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Taramalı elektron mikroskopunda kullanılan bir tekniktir. Numune üzerine taramalı elektron demeti gönderilerek analiz işlemi gerçekleştirilir. Numune yüzeyine çarptırılan yüksek enerjili elektronlar numunedeki elektron koparır. Kopan elektronlar iç yörüngelerden kopmuş ise atomik kararlılığı sağlamak üzere dış yörüngelerden elektronlar bu boşluklara sıçrama yaparlar. Daha yüksek enerjili olan dış yörüngedeki elektron fazla enerjisini ışıma yaparak kaybeder. Bu kaybedilen enerji de X-ışını olarak karşımıza çıkar. Yayımlanan X-ışının karakteristik özelliği, yapının element atomunu barındırdığını ve hangi enerji kabuğundan yayımlandığıyla ilgili bilgiler verir. Açığa çıkan X-ışınları elektronik alıcılar tarafından algılanırlar. Elde edilen veriler bilgisayar monitöründe pikler oluşturur ve elementel analiz yapılmış olur. Elementlerin yaptıkları pikler altlarındaki alanlarla orantılıdır.

Pişirilen tuğlalar üzerinde yapılan EDX analizi ile numuneler içerisinde Ca, Si, Al, Mg, Fe, elementleri bulunduğu tespit edilmiştir.

700 °C de pişirilen tuğla üzerinde yapılan EDX analizi sonuçlarına göre 700 °C de pişirilen tuğla içerisinde Ca elementinin yüzdesel miktarı diğer elementlere göre daha yüksek düzeyde olup % 54 civarındadır. Ca'yı sırasıyla Si % 24, Al % 12, Mg % 6, Fe % 4 olarak izlemektedir (Şekil 4.7, Çizelge 4.8).



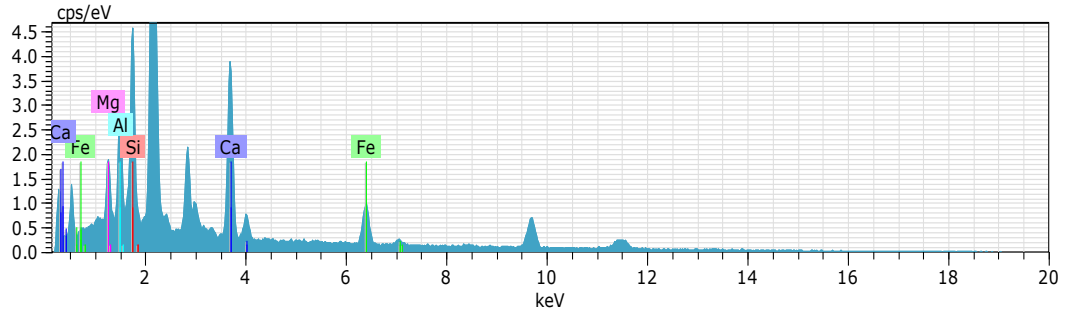
Şekil 4.7 700 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

Çizelge 4.8 700 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm [wt.%]	C Atom [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Ca	20	K series	21,31	61,61	54,12	0,66
Si	14	K series	6,58	19,02	23,84	0,31
Al	13	K series	3,24	9,37	12,22	0,19
Fe	26	K series	1,98	5,72	3,61	0,10
Mg	12	K series	1,98	4,29	6,21	0,12
Total			34,58	100,00	100,00	

900 °C de pişirilen tuğla üzerinde yapılan EDX analizi sonuçlarına göre 900 °C de pişirilen tuğla içerisinde Ca elementinin yüzdesel miktarı diğer elementlere göre daha yüksek düzeyde olup % 37 civarındadır. Ca'yı sırasıyla Si % 22, Fe % 17, Al % 14, Mg % 9, olarak izlemektedir (Şekil 4.8, Çizelge 4.9).





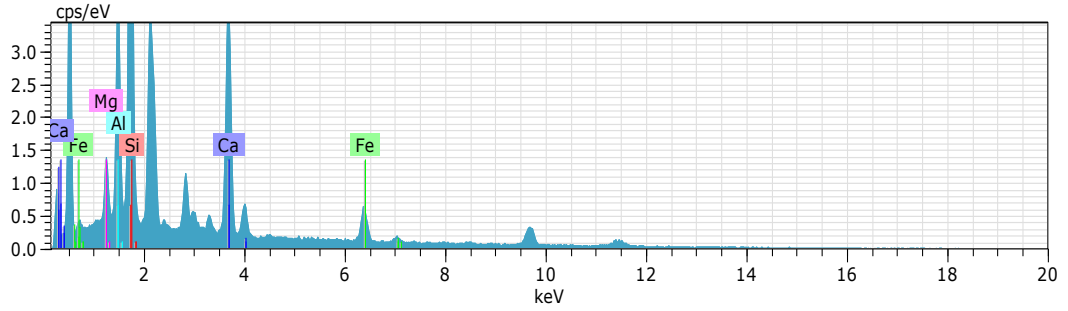
Şekil 4.8 900 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

Çizelge 4. 9 900 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm [wt.%]	C Atom [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Ca	20	K series	6,25	40,61	37,18	0,22
Si	14	K series	3,92	25,48	16,74	0,15
Al	13	K series	2,62	16,99	22,20	0,14
Fe	26	K series	1,58	10,94	14,87	0,11
Mg	12	K series	0,92	5,98	9,02	0,08
Total			15,39	100,00	100,00	

Buradan görüleceği üzere 900 °C de Ca elementi kısmen buharlaşmış olup Fe elementinin yüzdesel miktarı artış göstermiştir.

1100 °C de pişirilen tuğla üzerinde yapılan EDX analizi sonuçlarına göre 1100 °C de pişirilen tuğla içerisinde Si elementinin yüzdesel miktarı diğer elementlere göre daha yüksek düzeyde olup % 40 civarındadır. Si'yi sırasıyla Ca % 29, Al % 18, Fe % 7, Mg % 5, olarak izlemektedir.(Şekil 4.9, Çizelge 4.10).



Şekil 4.9 1100 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

Çizelge 4.10 1100 °C de pişirilen tuğlaya ait EDX analizi

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm [wt.%]	C Atom [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Ca	20	K series	8,96	34,70	28,64	0,30
Si	14	K series	8,85	34,27	40,36	0,41
Al	13	K series	3,86	14,94	18,31	0,22
Fe	26	K series	3,10	11,98	7,10	0,12
Mg	12	K series	1,06	4,11	5,59	0,09
Total			25,83	100,00	100,00	

1100 °C de Ca elementi daha fazla buharlaşmış olup bununla beraber Fe ve Mg elementlerinin miktarları da yüzdesel olarak azalmıştır. Bunlara bağlı olarak Si elementi ise en yüksek miktardadır.

#### 4.6. Fırınlanmış Tuğlaların Su Emme Miktarının Bulunması

Su emme miktarı TS EN 771 e göre yapılmıştır. Bu amaç için pişirilen tuğlalar bir kap içerisine yerleştirilmiştir. Kap içerisine tuğlaların üzerini yaklaşık 10cm geçecek kadar su doldurulmuştur. (Resim 4.5).



Resim 4.5 Pişirilen tuğlaların 24 saat suda bekletilmesi

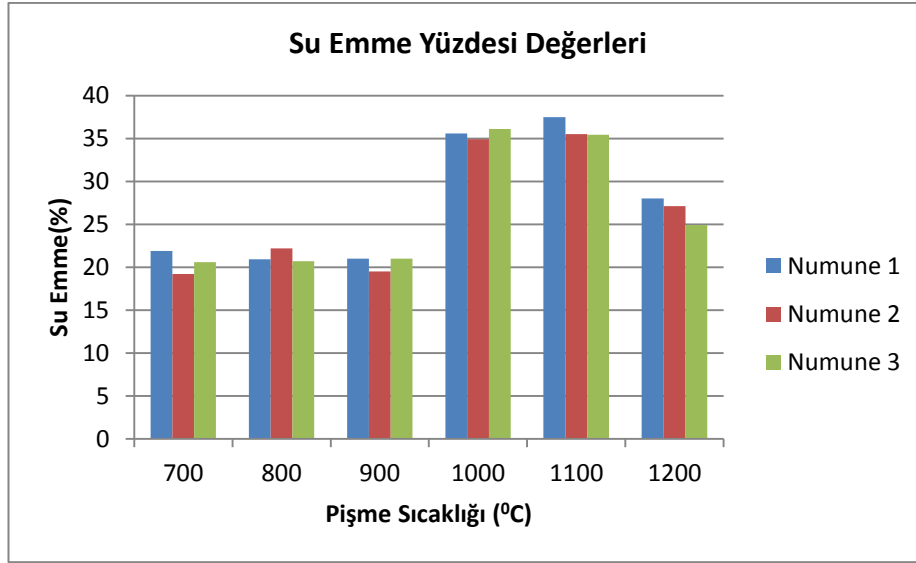
Numuneler 24 saat su içerisinde kaldıktan sonra her bir numune dış yüzeyleri bez ile silinip tartılmıştır. Tuğlaların doymun ağırlıkları not edilmiştir (Çizelge 4.11). Tuğlaların su emme oranları TS EN 771 e göre en fazla %15 olması gerekirken bütün sıcaklıklarda % 15 den fazla çıkmıştır (Çizelge 4.12). Bulunan değerlerin grafik olarak gösterimi aşağıda verilmiştir (Şekil 4.10).

Çizelge 4.11 Doymun ağırlık

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	794,39	773,04	764,39
800	788,26	765,92	745,34
900	791,69	762,45	744,51
1000	761,28	720,52	708,18
1100	743,14	700,34	693,52
1200	701,81	666,53	638,7

Çizelge 4.12 Su emme yüzdesi(%)

Tuğla Pişme Sıcaklığı °C	%100 Killi Zemin	%90 Killi Zemin %10 Cam	%80 Killi Zemin %20 Cam
700	21,9	19,2	20,6
800	20,9	22,17	20,7
900	21	19,5	21
1000	35,6	34,9	36,1
1100	37,47	35,5	35,45
1200	28,02	27,11	24,9



Şekil 4.10 Su emme yüzdesi değerleri grafiği

Çizelge 4.12 'deki veriler ve şekil 4.10 göz önünde bulundurulduğunda bütün tuğlaların su emme yüzdesi %15 'in üzerindedir. 900 °C den daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların su emme yüzdeleri ise ciddi oranda artmıştır. Bu durum EDS ve EDX analizleri ile beraber değerlendirildiğinde 900 °C den daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen tuğlalarda buharlaşan minerallerden dolayı tuğlalar

içerisinde boşluklar oluşmuş ve bu nedenle tuğlaların su emme yüzdesi artmıştır. Ayrıca cam katkıli tuğlaların su emme yüzdesi katkısız tuğlalara göre daha azdır.

**5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Bu tez çalışmasında Adıyaman Yöresine ait bir lokasyondan alınan killi toprağın mühendislik ve bazı teknolojik özellikleri incelemeye çalışılmıştır. Mühendislik özelliklerinin tayini için yapılan deneyler sonucu tuğla hammaddesi olarak kullanılmak üzere alınan kilin Likit limiti değeri % 42, plastik limit değeri %27,55, Rötire Limiti değeri %23,9 olarak bulunmuştur.

Üretilen tuğlaların ağırlıkça pişme kayıplarının hesaplanabilmesi için tuğlaların pişirilmeden önce ve pişirildikten sonraki ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tuğlaların ağırlıkça pişme kaybı 900 °C sıcaklığa kadar kademeli olarak artmakta ve 900 °C sıcaklıktaki ağırlıkça pişme kaybı yaklaşık %10 civarındadır. Ancak 900 °C ‘den sonraki 1000, 1100, 1200 °C deki sıcaklıklarda tuğlaların ağırlıkça pişme kaybı %25 civarında olmaktadır. Bu durumun numune içerisindeki bazı minerallerin erime noktasının aşılması nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir.

Tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça basınç dayanımının da arttığı görülmektedir. Bu durum pişme sıcaklığı arttıkça tuğlanın camsı bir fiziksel özellik kazanmasından dolayıdır. Ayrıca cam katkılı tuğlaların basınç dayanımlarının katkısız tuğlalara göre daha yüksek çıktığı, cam katkısı arttıkça tuğlaların basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir.

Proceq marka ultras test cihazı ile yapılan ultras geçiş hızı testi sonuçlarına göre tuğlaların ultras geçiş hızları incelenmiştir. Üretilen tuğlaların ultras geçiş hızı değerleri incelendiğinde genel olarak tuğların pişirildiği sıcaklık değeri arttıkça ultras geçiş hızı değerleri azalmaktadır.

700 °C, 900 °C, 1100 °C de pişirilen 3 adet tuğlanın SEM ve EDX analizleri incelenmiştir. Yapılan incelemede elde edilen SEM görüntüleri ve EDX analizlerine göre pişme sıcaklığı arttıkça tuğla numunesi içerisindeki bazı minerallerin eridiği ve buna bağlı olarak tuğla içerisindeki boşluklarda artış olduğu görülmektedir. Pişme sıcaklığına bağlı olarak tuğladaki boşluk oranı artmaktadır.

Tuğlaların su emme oranını bulmak için pişirilen tuğlaların kuru ağırlıkları ve 24 saat su içerisinde bekletildikten sonraki ağırlıkları tartılmış ve su emme oranları

hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme oranlarının da arttığı görülmektedir. SEM ve EDX analizleri ile bu durum göz önünde bulundurulduğunda pişme sıcaklığının artmasıyla su emme oranının artmasının sebebinin, pişme sıcaklığı arttıkça tuğla numunesi içerisindeki bazı minerallerin erimesi ve buna bağlı olarak tuğla içerisindeki boşlukların arması olduğu düşünülmektedir. Tuğlaların su emme oranları TS EN 771 göre maksimum su emme oranı olan % 15 'in üzerinde olup standardı yakalayamamıştır.

Genel olarak cam katkılı tuğlaların katkısız tuğlalara göre; pişme kaybı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, su emme gibi testlerde daha olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Camın ergime sıcaklığının yaklaşık 1700<sup>0</sup>C olduğu düşünüldüğünde, cam katkılı tuğlalar içerisindeki camın henüz erimediğinden katkısız tuğlalara göre boşluk oranının daha az olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle cam katkılı tuğlaların daha olumlu sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Dolayısıyla cam katkısının tuğlanın bazı fiziksel özelliklerine olumlu etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

Ancak cam katkısı belli bir oranı geçtikten sonra tuğlanın kullanılabilirliğinin etkilenebileceği düşünülmektedir. Çünkü % 20 cam katkılı tuğlalar % 10 cam katkılı tuğlalara göre daha kesici ve camsı özellik göstermektedir. Bu durum tuğlanın kullanılabilirliğini oldukça azaltmaktadır. Ayrıca tuğla içerisindeki cam katkısının artması tuğlanın fiziksel özelliklerine olumlu etki oluştursa da maliyet açısından belli bir orandan sonra ekonomik olma durumu söz konusu olmayacaktır. Bu nedenle katkı miktarı % 20 ile sınırlandırılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] P. Bormans, "Ceramics are More than Clay Alone: Raw Materials, Products, Applications", Cambridge International Science Publishing, ISBN: 781898326779 9781904602316, 104, 2003.
- [2] K. Terzaghi, R. B. Peck, "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York 407 pp, 1967.
- [3] G. Görçiz, "Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi", TUKDER yay. Yıl: 3, Sayı:9, 26-32, Manisa, 2000.
- [4] G. Görçiz, "Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi" TUKDER yay. 2000' li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar İçin Tuğla-Kiremit Paneli, Ankara, 24 Ocak 2000.
- [5] Ş. E. Şahin, "Ham ve kalsine kolemanit atıklarının tuğla yapımında kullanım olanaklarının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E., Kütahya, 2008.
- [6] Tür.Tic.Od.S. Od. ve Tic. Bar. Bir. : 19, 1958.
- [7] Ö. Akıncı, "Seramik Killeri ve Jeolojisi", Maden Teknik ve Arama Enstitüsü, s. 63-72. Ankara, 1968.
- [8] K. Sarıöz, İ. Nuhoglu, "Endüstriyel Hammaddeler Yatakları ve Madencilik", Anadolu Üniversitesi Yayını, 200-211, Eskişehir 1992.
- [9] A. Arcasoy, "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, s.277 İstanbul, 1983.
- [10] H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök, H. Kaptan, "Toprak Bilimi", Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73. s. 40-42. Adana, 1993.
- [11] C. Tolon, "Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelenmesine Katkı", Doktora Tezi. İTÜ Kimya Fak., İstanbul, 1973.
- [12] G. Bieler, "Vingt Ans De Progres Ceramiques", Dunod, Paris, 1953.
- [13] Ö. A. Yücesoy, "Kuzey Adana Havzasındaki Tarım Dışı Arazilerin Toprak Endüstrisi Yönünden Kullanımı", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1998.
- [14] O. Orhun, "İnşaat Tuğlası ve Kiremit İmaline Elverişli Toprakların Tanınması", Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 1964.
- [15] M. J. Sinnott, "Etude Theorique Et Pratique De l'Etat Solide Eyrolles", 20 P, Paris, 1961.
- [16] S. Yılmaz, "Söğüt Bölgesi Killerinin Zenginleştirilerek Yer ve Duvar Karosu Bünyelerinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması", O. Ü., Fen Bilimleri Ens., Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2005.
- [17] M. Pinnette, "Technologie Ceramique, J. B. Bailliere et Fils", Paris, 1953.
- [18] H.H. Murray, "Common Clay: Industrial Minerals and Rocks", 6. Edition (Senior Editor Carr, D.D), p.p: 247-248, USA, 1996.
- [19] S. Somayaji, "Civil Engineering Materials. Prentice-Hall", Inc., 351p., New Jersey, 1995.
- [20] H.Ö. Alamut, "Tuğla ve duvarlarda kalite ve standardizasyon". Trakya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 201s., Tekirdağ, 2001.



- [21] S. Karaman, “Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu”, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1)., Kahramanmaraş, 2006.
- [22] M. Söylemez, “Isparta Bucak yöresi kil ocaklarının minerolojik ve bazı mühendislik özellikleri”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 26-32, Isparta, 1996.
- [23] Y. Güner, “Seramiğe Giriş”, Gençlik Kitabevi A.Ş. 49s., İstanbul, 1987.
- [24] DPT, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri 2”, Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, 2612-ÖİK:623., 2001.
- [25] A. M. Kılıç, “Ş.Koçhisar (Ankara) Civarındaki Killerin Tuğla-Kiremit Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği”, 11. Ulusal Kil Sempozyum, 258-262, İzmir, 2003.
- [26] TS 4563, “Fabrika Tuğlaları Duvarlar İçin-Yatay Delikli, TSE”, s.15, Ankara, 1985.
- [27] TSE 4790, “Yaygın Kiremit ve Tuğla Killeri için Kullanılan Türk Standartları Test Yöntemleri”, TSE, Ankara, 1986.
- [28] N. Arkun, “Tuğla ve Kiremit Yapımına Uygun Topraklar”,Tübitak Bilgi Profili,No: 14, Ankara, 1980.
- [29] N. Özçelik, N. Çiner, “Seramik Kitabı”, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, 8-29, Ankara, 1980.
- [30] M. Köktürk, “Endüstriyel Hammaddeler”, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Yayın No: 205, 250-259, İzmir, 1993.
- [31] MTA, 2009.
- [32] U. Malayoğlu, A. Akar, “Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 125-134, İzmir, 1995.
- [33] G. Sümer, “Türkiye Toprak Hammaddeleri ve Zenginleştirilmesi”, Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 99-125, Ankara, 1985.
- [34] ANONYMOUS, “Adıyaman Çamgazi Ovası Sulama Projesi Sahası Detaylı Temel Toprak Etütleri”, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 176, 1990.
- [35] ANONYMOUS, “Adıyaman İl Çevre Durum Raporu. Adıyaman Valiliği İl Çevre Orman Müdürlüğü, 44–54 s., Adıyaman, 2003.
- [36] M. Ekinci, Adıyaman İl Çevre Durum Raporu, 2011.
- [37] KHGM, “Adıyaman Çamgazi Ovası Sulama Projesi Sahası Detaylı Temel Toprak Etütleri”, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak Etüd Şubesi 212, Ankara, 1990.
- [38] S. Kapur, C. Saydam, E. Akça, V.S. Çavuşgil, C. Karaman, İ. Atalay, T. Özsoy, “Carbonate Pools in Soils of TheMediterranean: A Case StudyFrom Anatolia. In: Global ClimateChangeandPedogenicCarbonates(Eds. R. Lal, J.M. Kimble, B.A. Stewart)”,LewisPublishers. pp. 187-212. 1998.
- [39] Adıyaman İli, Arazi Varlığı Raporu, 1984
- [40] B. A. Uzuner, Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon, 2005.
- [41] “Cam, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>[Erişim tarihi: 16- Mart- 2019]
- [42] “Cam ve Teknik Özellikleri”, <https://tolgakaranfil.webnode.com.tr>[Erişim tarihi: 16- Mart- 2019]
- [43] “Camlar”, [http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13.\\_Camlar.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf)[Erişim tarihi:

16- Mart- 2019]

**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Mustafa İNCEYOL  
Doğum Yeri : Adıyaman  
Doğum Tarihi : 20.03.2986  
Medeni Hali : Bekâr  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : inceyolmustafa@gmail.com

**Eğitim Durumu**

<b>Derece</b>	<b>Alan</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Adıyaman Üniversitesi	2019
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2008
Lise	Sayısal	Adıyaman Anadolu Lisesi	2003

**Yayınlar**