

PİŞME SICAKLIĞININ TUĞLANIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Mehmet SÖYLEMEZ¹, Ali DEMİR¹, Ali Fuat ONAR¹

¹Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa

Özet Killer, çok ince tanelidir (<0,002mm) ve su içeriğine bağlı olarak kıvam özellikleri değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte kalıcı şekil veriliyor olabilmesi ve yüksek sıcaklıkta pişirilme sonucu daha yüksek dayanım kazanmaları, onları tarihten günümüze kadar yapı ve diğer endüstri dallarının aranılan malzemesi yapmıştır. Bu çalışmada, Turgutlu (Manisa) yöresi Ömerli Dere kil ocaklarından alınan kil numuneleri kullanılarak 33 adet tuğla eleman üretilmiştir. Tuğlalar 200 °C den 1200 °C 'ye kadar özel fırınlarda pişirilmiş ve su emme oranı, ortalama ağırlık kaybı ve basınç dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak pişme sıcaklığının artmasıyla tuğlaların ortalama ağırlık kaybının ve dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı 700 °C' ye kadar artmış, bu değerden sonra ise azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Kil, tuğla, pişirme sıcaklığı, basınç dayanımı*

THE EFFECTS OF BURNING TEMPERATURE ON SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MASONRY

Abstract The clays are fine grained (<0,002 mm) and properties of consistency differ due to water content. However, the clays can change shape permanently and strength of the clays increases with high temperature. Due to these reasons, the clay has been in great request for structure and other industry branches since many years. In this study, the thirty three masonry samples were produced with the clay samples obtained from clay pits of Omerli brook in Turgutlu region. The masonries were burnt from 200 °C to 1200 °C and subjected to water absorption, mean weight loss and compression strength tests. As a result of these tests, it was observed that compression strengths and mean weight losses of masonries increased at high temperatures. Although the water absorption rate of masonries increased until 700 °C, it decreased over 700 °C.

Keywords: *Clay, masonry, burning temperature, compression strength*

1. GİRİŞ

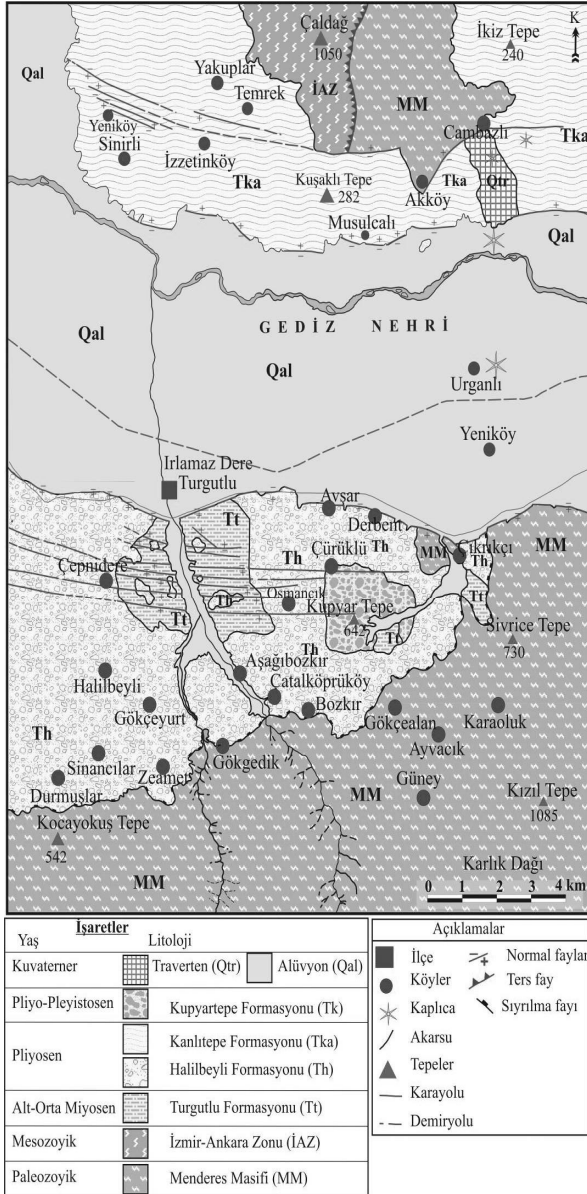
Çok geniş kullanım alanına sahip olan killer, üretimi ve talebi sürekli artan endüstriyel hammaddelerin başında yer almaktadır. Özellikle dünyada kil üretiminin %75'i seramik, cam, sıhhi tesisat, porselen, elektrik, inşaat sektörü gibi insanlığın vazgeçilmez ihtiyaçlarına cevap vermektedir. Ayrıca kullanım alanları açısından değerlendirildiğinde, kil özelliklerinin saptanmasının teknolojik bir gereksinim olduğu kadar ekonomik bir gereksinim olduğunu da ortaya çıkarmaktadır [1].

Kil mineralleri, bazı kayaçların fiziksel ve kimyasal ayrışmaları sonucunda oluşan çok küçük kristalsi maddelerdir. Kimyasal anlamda sulu alüminosilikatlar ile diğer metalik iyonlardan oluşmuşlardır. Tüm kil mineralleri çok küçük boyda (çapları $1 \mu\text{m}=0.001 \text{ mm}$ den küçük) olup sadece elektron mikroskopu ile görülebilirler. Münferit kristaller küçük katmanlardan oluşmaktadır, X ışını kırınım (XRD) çalışmaları bu kristallerin atomik yapısının, tekrarlanan çok sayıda kristal levhalarından meydana geldiğini göstermiştir. Aslında tetrahedral veya silika ile oktahedral alümina olmak üzere sadece iki çeşit kristal levhası bulunmaktadır. Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır. Kil minerallerinden ve ultra mikroskobik boyutlarda plaka şekilli danelerden oluşan, ancak agregasyona uğradığında boyutları mikron mertebesine varan killer, mühendislik uygulamalarında genel olarak boyutu $2 \mu\text{m}$ 'den (0.002mm) daha küçük danelere sahip ince daneli zeminler olarak kabul edilir. Serbest basınç dayanımı 25 kPa 'dan daha küçük kıvamdaki killer "çok yumuşak", serbest basınç dayanımı $25-50 \text{ kPa}$ arasında olan killer "yumuşak killer" olarak sınıflandırılabilir [2]. Killer, aynı boyuttaki diğer zeminlerden farklı olarak, su ile karıştırıldığında çamur oluştururlar.

Hamur halinde şekil verilebilecek kadar plastisiteye sahipken, pişirildiğinde büyük dayanım artışları gösteren bir katıya dönüşürler. Islatıldığında genellikle hacim artışı gösterir, kurutulduğunda ise hacmi azalır ve çoğunlukla çatlaklar.

Joshi vd. [3] tarafından yapılan çalışmada, kil kalıpları üzerinde 300°C 'den 700°C 'ye kadar ısı vererek, killi zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısının etkisi araştırılmıştır. Pişme sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen gerilme artışının, boşluk oranı, özgül yüzey ve tane dağılımına bağlı olmadığını; sıcaklık artışının killi zeminin, mikro yapısında fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açtığını ve killi zeminlere yapılan termal işlemin değiştirebilir ve sıkıştırılabilir katyonda azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Majed vd. [4] tarafından yapılan çalışmada ise laboratuvar şartları altında, kuzey Ürdün'den alınan üç killi zemin numunesinin üzerinde sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Killer $100, 200, 300$ ve 400°C gibi dört farklı sıcaklık derecelerinde ısıtılmıştır. Farklı zemin örnekleri ile, Atterberg limitleri, dane büyüklüğü dağılımı, optimum su muhtevası, maksimum kuru yoğunluk, pişme potansiyeli ve serbest basınç mukavemetin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. 400°C sıcaklıkta plastik limitin sıfır olduğu belirlenmiştir. Likit limit ve optimum su muhtevası bu sıcaklığa kadar hızla azalırken, maksimum kuru birim hacim ağırlık artmaktadır. Bu çalışmada, Turgutlu yöresinden alınan killi zemin numunelerinin fiziksel özellikleri ile bu killi zeminden üretilen tuğla örneklerinin, farklı sıcaklıklarda pişirilmesi sonucunda mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Bu killi zemin numuneleri Kuvaterner yaşlı genç alüvyondan alınmıştır. Bu alüvyon, hem Menderes Masifi kayaçlarından hem de İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaçlardan, günümüze

kadar koparılarak taşınmış çakıl, kum ve kil boyutlu, düzensiz az tutturulmuş malzemelerden meydana gelmekte olup, Gediz Nehri boyunca olmak üzere, Irlamaz Dere ve diğer dere yataklarından genişçe yayılım göstermektedir (Şekil 1). Turgutlu Ovasının orta kesimlerinde alüvyonun kalınlığı yaklaşık olarak 250 m' dir [5].



Şekil 1. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeolojik haritası[5]

Tuğla üretiminde kullanılan kil numunesinin dane birim hacim ağırlığı, likit limit ve plastik limit değerleri, maksimum kuru birim hacim ağırlığı, optimum su muhtevası ve ortalama ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu killi zeminden hazırlanan tuğla numuneleri fırında 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200°C sıcaklıklarda 24 saat bekletilerek pişirilmiştir. Pişirilen tuğla numunelerinin ağırlıkça kayıpları, su emme kapasiteleri ölçülmüş ve son olarak da farklı sıcaklıklarda pişirilen ve basınç testlerine tabi tutulan tuğlaların basınç dayanımları belirlenmiştir

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan kil numunesi Turgutlu (Manisa) yöresi Ömerli Deresinin kil ocağından temin edilmiştir. Bu numuneler üzerinde dane boyu dağılımı ve kıvam limitleri deneyleri uygulanmıştır. Tuğla ve kiremit yapımında kullanılan Turgutlu killerinin sınıflandırma ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik, dane boyu dağılımı, likit limit, plastik limit deneyleri ASTM standartlarına göre belirlenmiştir [6-7].

Turgutlu killeri üzerine yapılmış olan kantitatif analizler sonucu smektit (montmorillonit) oranının %51, illitin %35 ve kaolinitin %14 olduğu saptanmıştır [8]. Turgutlu çevresinde oldukça yaygın olan killerin toplam kayaç mineral içerikleri başlıca %17- 21 kuvars, %7-11 kalsit, %12-16 illit-plajioklas-K feldispat birlikteliği ve %56-60 arasında değişen smektitlerden oluşur. Turgutlu Ömerli dere yöresi killi zemininin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Turgutlu Ömerli dere yöresi kilinin mineral bileşimi [8]

Oksit Bileşiği	% Miktarı
Al ₂ O ₃	23,03
SiO ₂	52,92
Fe ₂ O ₃	9,00
Na ₂ O	1,36
MgO	1,54
CaO	0,62
K ₂ O	3,79
TiO ₂	1,34
Kızdırma Kaybı	6,36

Turgutlu yöresine ait killi zeminden alınan malzeme ile Kudret Tuğla Sanayi ve Ticaret AŞ tesislerinde deneylerde kullanılan tuğlalar üretilmiştir. Tuğlaların boyutları, Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan 1400 °C kapasiteli Thermoterm marka kül fırınına, her pişme sıcaklığında 3 numune sığabilmesi için 6x8,5x18,5 cm boyutlarında seçilmiştir. Üretilen tuğlaların et kalınlıkları ve delik çapları standart olarak üretilen “8.5’luk tuğla” ile aynıdır. Üretilen 33 adet tuğla 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200°C’de özel fırında pişirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Yüksek sıcaklıkta pişirilen 3 adet tuğla numunesi

Her bir sıcaklık seviyesi için 3 adet tuğla kullanılmıştır. Tuğla numuneleri 1400°C kapasiteli Thermoterm marka kül fırınında her adımda üçer numune konularak pişirilmiştir. Sıcaklık etkisinin su emme, ortalama ağırlık kaybı ve basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Su emme ve ortalama ağırlık kaybı ölçümleri, 1/100 gr hassasiyetli terazi ile yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların dayanım deneyleri 200 ton kapasiteli YKM marka beton test presi ile yapılmıştır (Şekil 3).



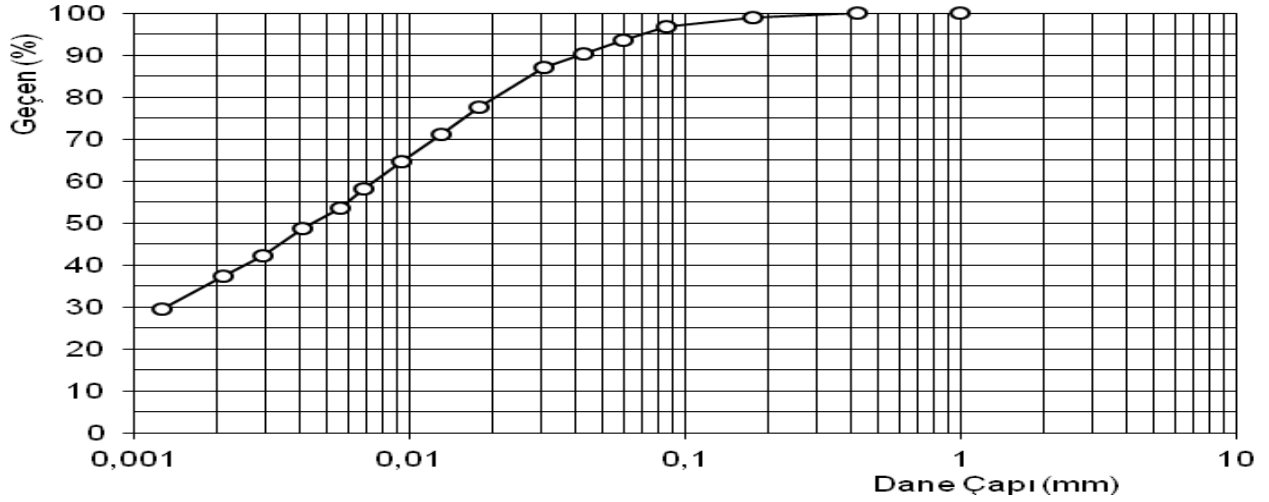
Şekil 3. YKM Beton Pres Test Makinesi

3. BULGULAR

Tuğla ve kiremit yapımında kullanılan Turgutlu killerinin hem malzeme özellikleri, hem de pişme sıcaklığına bağlı ağırlıkça su emme ve dayanım değerleri belirlenmiştir.

3.1 Dane Boyu Dağılımı

Dane boyu dağılımı için elek ve hidrometre analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre ince dane oranının %97 olduğu görülmüştür (Şekil 4).

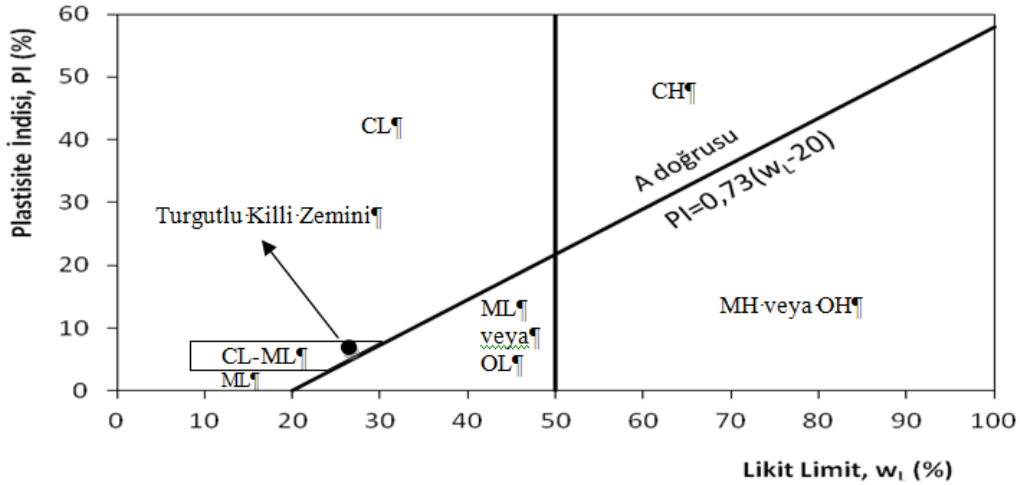


Şekil 4. Deneylerde kullanılan killi zeminin dane boyu dağılımı

3.2 Kıvam Limitleri

Çalışılan zemine ait mühendislik özelliklerinden kıvam limitleri Casagrande yöntemiyle belirlenmiş ve likit limiti (w_L) %28,8, plastik limit değeri de (PL) %22,2 olarak bulunmuştur. Bu verilerden aktivite sayısı 0,17

bulunarak, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre zeminin CL-ML (düşük ve orta plastisiteli, inorganik siltli kil) tipi aktif olmayan bir zemin olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).

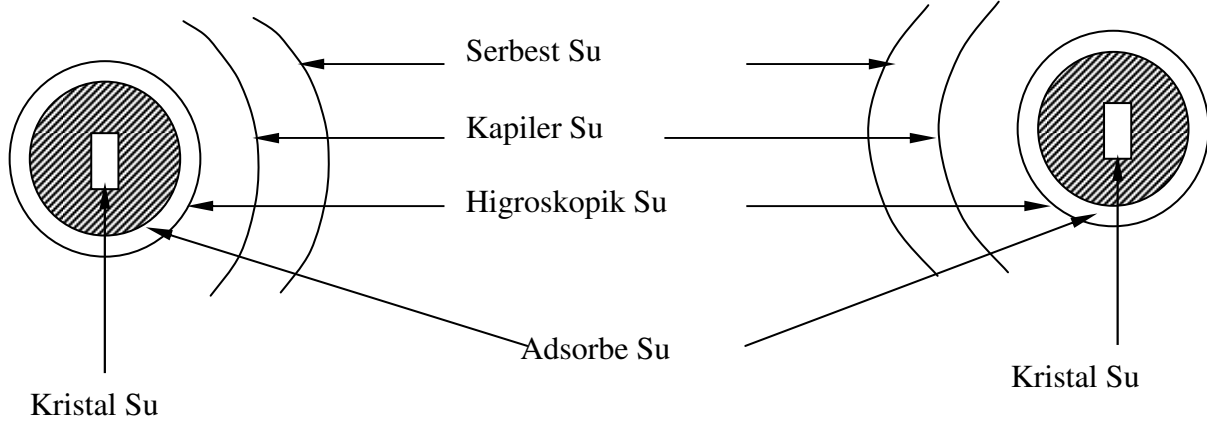


Şekil 5. Deneylerde kullanılan killi zeminin plastisite kartındaki yeri

3.3 Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğların Ortalama Ağırlık Kayıpları

İnce taneli zeminlerde özellikle kil taneleri etrafında serbest, kapiler (kılcal), higroskopik,

adsorbe (katı) ve kristal su olmak üzere zeminlerin mühendislik özelliklerini etkileyen, beş çeşit su bulunabilir (Şekil 6).

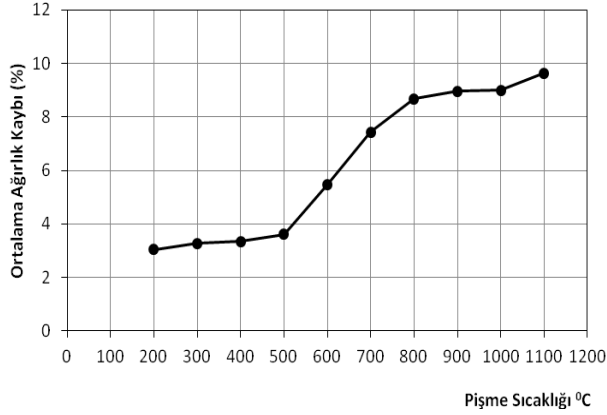


Şekil 6. Zemin suyu çeşitleri [9]

Bu sulardan serbest su yer çekimi etkisi ile taneler arasında serbestçe akabilen ve drenaj ile zeminden uzaklaştırılabilen sudur. Havada kurutma ile kaybedilebilen, taneler arasındaki boşluklarda yüzey gerilimi kuvvetlerinin etkisi ile yükselen su ise, kapiler su olarak isimlendirilmektedir. Tanelerin etrafında adsorbe sudan daha az bir kuvvetle tutulan ve havada kuruma sonucunda zeminden uzaklaştırılmayıp ancak fırında $110\pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutma ile kaybedilebilen su da higroskopik su olarak adlandırılmaktadır. Adsorbe su ise, zemin tanelerin etrafını kalınlığı yaklaşık 0,005 mikron ince bir film gibi saran ve $110\pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutma ile kaybedilemeyen sudur. Tanelerin kristal ağında bulunan ve o taneleri oluşturan minerallerin kimyasal formüllerinin bir parçası olan su da kristal su olarak tanımlanmaktadır.

Seçilen her pişirme sıcaklığında 3 adet numune olmak üzere toplam 33 adet $6\times 8.5\times 18.5$ cm boyutlarında tuğla pişirilmiştir. 500°C sıcaklığa kadar pişirilen tuğlaların bünyesinde bulunan higroskopik ve adsorbe su gibi tüm suları kaybettiği, organik maddelerin tamamen yandığı, buna bağlı olarak az da olsa ağırlık kaybına

uğradığı gözlenmektedir. $500-800^\circ\text{C}$ aralığında killi zeminin mineral yapısında büyük değişiklikler meydana geldiği, organik maddelerin tamamen yandığı, molekül suyunun bileşimi terk ederek karışımın silis ve alümin haline dönüştüğü, silis ve alümin de artan sıcaklıklarda tekrar birleşerek metakaolin silikatına ($\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$) dönüştüğü ve bunun sonucu olarak büyük ağırlık kayıplarının ve açık kırmızıdan kahverengiye renk değişimi yaşandığı görülmektedir. $800-1000^\circ\text{C}$ aralığında belirgin bir ağırlık kaybı oluşmamaktadır (Şekil 7). 1000°C 'den daha yüksek sıcaklıklardaki ağırlık kaybının ise ya numunenin tamamen eriyerek bünyesinde bulunan bazı minerallerin buharlaşmasından ya da erime sonucu numune camsı bir doku kazandığından, boşluk oranı daha da azalarak fırından çıkarıldıktan tartılınca kadarki sürede havadaki nemi bünyesine alamamasından kaynakladığı düşünülmektedir. $800-1000^\circ\text{C}$ aralığında pişirilen malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır.



Şekil 7. Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğlaların Ortalama Ağırlık Kayıpları

3.4 Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğlaların Su Emme Özellikleri

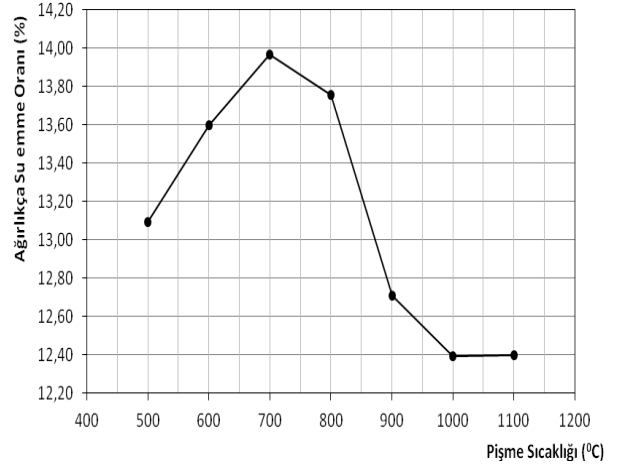
Üretilen tuğla numuneleri fırınlanmadan önce oda sıcaklığında kurutulmuş ve hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra 33 adet numune farklı sıcaklıklarda, her sıcaklık kademesinde 3 adet olmak üzere 1200°C sıcaklığa kadar pişirildikten sonra oda sıcaklığında soğutulmuş ve tekrar tartılarak ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Pişirilen bu tuğlalar 48 saat suda bekletilerek ağırlıkça su emme oranları hesaplanmıştır. 400°C'ye kadar pişirilen tuğlalar su emme deneyinde tamamen dağıldıklarından su emme oranları hesaplanamamıştır (Şekil 8).



Şekil 8. 400 °C dereceye kadar pişirilen tuğla örnekleri

500-700°C derece aralığında pişirilirken, büyük oranda ağırlık kaybına uğrayan numuneler, suda

bekletildiklerinde hızla su emerek bu ağırlık kayıplarını telafi etmeye çalışmışlardır. 700°C dereceden daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen numuneler ise camsı bir yapı kazanmaya başladıklarından su emme miktarları azalmış, 1000 °C den sonra ise değişmemiştir (Şekil 9).

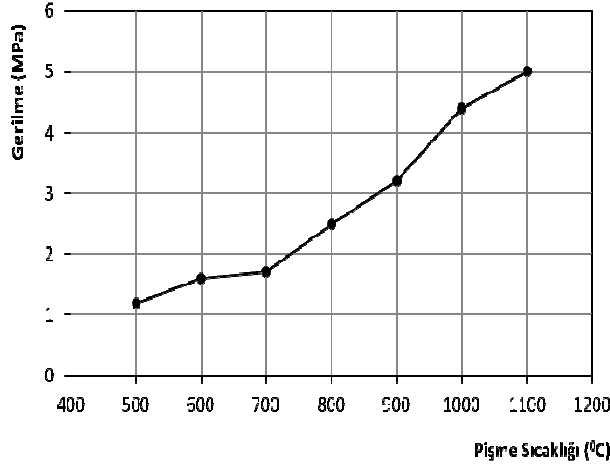


Şekil 9. Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğlaların Ağırlıkça Su Emme Oranları

3.5 Turgutlu Yöresi Killeri İle Üretilen 6x8,5x18,5 cm Boyutundaki Tuğlaların Pişme Sıcaklığına Bağlı Olarak Dayanım Özellikleri

Turgutlu yöresi killeri ile üretilen 6x8.5x18.5 cm boyutundaki tuğlaların basınç dayanımları Yapı Mekaniği Laboratuvarlarında bulunan YKM beton test presi kullanılarak belirlenmiştir.

Tuğlaların pişme sıcaklığı ile basınç dayanımlarının doğru orantılı olduğu, pişme sıcaklığının artmasıyla dayanımın arttığı tespit edilmiştir. Yüksek pişme sıcaklıklarının tuğla yapımında kullanılan killi zemin bileşimindeki minerallerin ergimesine sebep olduğu ve bu ergime sonucunda boşluk oranının azalarak daha masif ve camsı bir doku oluşturduğu gözlenmiştir. Tuğlaların pişme sıcaklığı 1100°C'ye kadar arttıkça basınç dayanımlarının da arttığı tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Pişme Sıcaklığının Dayanıma Etkisi

YKM beton test presinde kırılmış tuğla numuneleri incelendiğinde düşük sıcaklıkta pişen tuğla numunelerinin tek bir düzlemsel çatlakla mukavemetlerini kaybettikleri gözlenmiştir. Fakat 900°C ve üzeri sıcaklıklarda pişen numunelere bakıldığında numunelerin camsı bir yapı kazandığı ve parça parça kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. 500-1100 °C arasında pişen tuğlaların dayanım testinden sonraki görüntüleri

(yukarıdan aşağıya ardışık kırılmış her üç tuğla bir pişme sıcaklığını göstermektedir)

1200 °C’ de pişen tuğla numuneleri ise tamamen ergimiş ve camsı bir yapı kazanmış olduğundan dayanımı ölçülememiştir (Şekil 12).



Şekil 12. 1200 °C’ de pişen tuğla örnekleri

Deney sonuçlarına bakıldığında pişme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emme miktarını azaltmakta olduğu görülür. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın ergiyerek camlaşmasına ve şekil bozukluğuna neden olmaktadır. Bu sebeple pişme sıcaklığının 800–1100°C arasında olması daha uygundur.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Turgutlu yöresi killerin mühendislik ve bazı teknolojik özellikleri incelenmeye çalışılmıştır.

Çalışılan zeminin likit limiti (w_L) %28.8, plastik limit değeri (PL) %22.2 ve aktiflik sayısı 0.17 olarak bulunmuş ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne göre CL-ML (düşük ve orta plastisiteli, inorganik siltli kil) tipi aktif olmayan bir zemin olduğu belirlenmiştir.

Sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı incelendiğinde 500°C’ ye kadar ciddi bir ağırlık kaybı olmazken, 500-800°C aralığında killi zeminin mineral yapısında büyük değişiklikler meydana geldiği ve bunun sonucu olarak büyük ağırlık

kayıplarının yaşandığı görülmektedir. 800-1000°C aralığında belirgin bir ağırlık kaybı oluşmamaktadır. 1000°C'den daha yüksek sıcaklıklardaki ağırlık kaybının ise ya numunenin tamamen eriyerek bünyesinde bulunan bazı minerallerin buharlaşmasından ya da erime sonucu numune camsı bir doku kazandığından, boşluk oranı daha da azalarak fırından çıkarıldıktan tartılınca kadarki sürede havadaki nemi bünyesine alamamasından kaynakladığı düşünülmektedir

Pişme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emme miktarını azaltmaktadır. Ancak artan pişme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve daha sonra da eriyerek şekil bozukluklarına neden olmaktadır. Bu sebeple pişme sıcaklığının 800–1100°C arasında olması daha uygundur.

YKM beton test presinde kırılmış tuğla numuneleri incelendiğinde düşük sıcaklıkta pişen tuğla numunelerinin tek bir düzlemsel çatlakla mukavemetlerini kaybettikleri gözlenmiştir. Fakat 900°C ve üzeri sıcaklıklarda pişen numunelere bakıldığında numunelerin camsı bir yapı kazandığı ve parça parça kırıldığı gözlenmiştir.

400 °C' ye kadar pişirilen tuğlalar sıcaklıkla yeni bir doku kazanamadıklarından, su ile temas ettiklerinde geometrik şekilleri bozularak tamamen dağılmışlardır. 500-700°C aralığında pişirilirken, büyük oranda ağırlık kaybına uğrayan numuneler, suda bekletildiklerinde hızla su emerek bu ağırlık kayıplarını telafi etmeye çalışmışlardır. 700°C'den daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen numuneler ise camsı bir yapı kazanmaya başladıklarından su emme miktarları azalmıştır.

Katkı Belirleme

Bu makale, “Turgutlu (Manisa) Yöresinde Tuğla ve Kiremit Yapımında Kullanılan Killerin

Mühendislik ve Bazı Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Teşekkür

Çalışmanın olgunlaşip mevcut duruma gelmesinde, eleştirmenlere yapıcı katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kılınç E., ve Akar, A., “Kula, Şile, Turgutlu Killerinin Elektrolit Katkısıyla Viskozite Değişimlerinin İncelenmesi”, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, (2001).
- [2] Terzaghi, K., Peck, R. B., “Soil Mechanics in Engineering Practice” 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York pp.407, (1967) .
- [3] Joshi, R. C., Achari, G., Horsfield D., and Nagaraj, T. S., “Effect of Heat Treatment on Strength of Clays” Journal of Geotechnical Engineering, 120, 1080-1088, (1994).
- [4] Majed, M. Abu-Zreig, Nabil M. Al-Akhras, and Mousa F. Atom, “Influence of Heat treatment on the behavior of clayey soils” Applied Clay Science, 20, 129-135, (2001).
- [5] Yanık, G., Uz, B., ve Esenli, F., “Turgutlu (Manisa) yöresi Neojen çökellerinin jeolojisi” İtüdergisi/d, 5, 49-58, (2006).
- [6] ASTM. 1993a. Standard test method for particle-size analysis of soils (D422-92). In 1993 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pa. pp. 93–99.
- [7] ASTM. 1993e. Standard test method for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils (D4318-84). In 1993 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pa. pp. 682–692.
- [8] Köseoğlu, K., Bayça, U.S., ve Çiçek, T., “Tuğla Atığının Tuğla Üretiminde Değerlendirilmesi”, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu, Teknik Bilimler Dergisi, c1, v9, (2008).

[9] Head, K. H., “Manual of Soil Laboratory Testing: Soil Classification and Compaction Tests” John

Wiley & Son Ltd, (1992).

Geliş Tarihi: 17/11/2011

Kabul Tarihi:30/01/2012