

**ÇELTİK KAVUZUNUN TUĞLA ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gökhan GÖRHAN

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2011
ANKARA**

Gökhan GÖRHAN tarafından hazırlanan “ÇELTİK KAVUZUNUN TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa TOKYAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Metin ARSLAN
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Doç. Dr. İ. Özgür YAMAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Tarih: 08/02/2011

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Gökhan GÖRHAN

ÇELTİK KAVUZUNUN TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Gökhan GÖRHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2011

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kil tuğlası üretiminde çeltik kavuzu (ÇK) katkısı kullanılarak yüksek yalıtım ve mühendislik özelliklerine sahip yapı tuğlalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Tuğla kiline çeltik kavuzu, ikame yoluyla ve hacimsel olarak; % 5, % 10 ve % 15 oranlarında, öğütülmüş ve ham halde olmak üzere iki farklı şekilde eklenmiştir. Çalışmada kullanılan kil ve ÇK Çorum yöresinden temin edilmiştir. Şekillendirilen örnekler farklı sıcaklıklarda (700, 800, 900 ve 1000 °C) pişirilerek örneklerin fiziksel ve mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre ÇK katkısı tuğla örneklerin kızdırma kaybı oranı, su emme oranı ve görünür porozite değerlerini arttırmıştır. Bununla birlikte artan katkı oranı, tuğla örneklerin net birim hacim ağırlığını ve basınç mukavemet değerlerini azaltmıştır. Pişirme sıcaklığının artması örneklerin ısı iletkenlik katsayısını artırıcı, katkı oranının artması ise azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Basınç mukavemeti açısından tuğla üretiminde hacimsel olarak ham çeltik kavuzu (HÇK) katkısının % 10, öğütülmüş çeltik kavuzu (ÖÇK) katkısının ise % 15 oranına kadar kullanılabileceği, bununla birlikte HÇK katkılı tuğlanın daha iyi ısı iletkenlik özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Diğer özellikler bakımından ise ÇK katkı tipinin sonuçlar üzerinde çok fazla etkili olmadıkları görülmüştür. Sonuç olarak, 800 °C ve üzerinde pişirilen ve HÇK katkısının % 15 oranında yapıldığı tuğlalar dışında kalan katkılı tuğlaların yapılarda bölme duvar malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 714.1.143

Anahtar Kelimeler : Tuğla, eltik kavuzu, kil, ısı iletkenlik katsayısı

Sayfa Adedi : 136

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

**AN INVESTIGATION OF THE USE OF RICE HUSK
ON THE PRODUCTION OF BRICKS**

(Ph.D. Thesis)

Gökhan GÖRHAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2011

ABSTRACT

The objective of this study is to produce bricks with better insulation and engineering properties by using rice husk (RH) addition. Rice husk addition to the clay bricks was carried both in the raw and ground forms with 5, 10 & 15 % by volume. Clay and rice husk were obtained from Çorum region. The shaped brick samples were fired at different temperatures (700, 800, 900 ve 1000 °C) and then the physical and mechanical properties of sintered samples were determined. According to the findings, RH addition increased the loss on ignition rate, water absorption and apparent porosity. However, as the addition amount increased, the net unit weight & compressive strength of the brick samples decreased. As the firing temperature increased the thermal conductivity of the bricks also increased. On the other hand, as the amount of rice husk addition increased the thermal conductivity of the bricks decreased. As far as the compressive strength of the bricks are concerned, 10 % raw rice husk (RRH) & 15 % ground rice husk (GRH) addition could be used. In addition to this, the brick with RRH have the better thermal conductivity properties. The type of RH addition did not affect the other properties of bricks. As a result, it can be think that bricks with the RH fired at 800 °C and above can be used in constructions as division wall materials except specimens with 15 % RRH.

Science Code : 714.1.143

Key Words : Brick, rice husk, clay, thermal conductivity coefficient

Page Number: 136

Adviser : Asst. Prof. Dr. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, yine tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ' a, Doktora tezimin olgunlaşmasında ve şekillenmesinde beni yönlendiren tez izleme komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. Metin ARSLAN ve Doç. Dr. İsmail Özgür YAMAN hocalarıma, Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümüne ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | xii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | xv |
| RESİMLERİN LİSTESİ | xvii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xviii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 4 |
| 2.1. Kil ve Özellikleri..... | 4 |
| 2.1.1. Kil türleri | 4 |
| 2.1.2. Kil minerallerinin tanımı..... | 5 |
| 2.1.3. Kil minerallerinin yapısı | 5 |
| 2.2. Çeltik Kavuzu..... | 9 |
| 2.3. Isı Yalıtımı..... | 14 |
| 2.4. İstatistiksel Analizler..... | 17 |
| 2.4.1. İki faktörlü ANOVA | 17 |
| 2.4.2. Basit ve kısmi korelasyon | 17 |
| 2.4.3. Basit ve çoklu regresyon | 19 |
| 3. TUĞLA ÜRETİMİ VE KULLANILAN KATKILAR..... | 21 |
| 3.1. Tuğla Üretimi | 21 |
| 3.2. Tuğlanın Sınıflandırılması | 29 |

Sayfa

| | |
|---|----|
| 3.3. Tuğlada Kullanılan Katkılar..... | 31 |
| 4. MATERYAL VE METOT | 39 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler..... | 39 |
| 4.2. Örneklerin Hazırlanması | 39 |
| 4.3. Uygulanan Deneyler..... | 43 |
| 4.3.1. Mineralojik, kimyasal ve termal analizler..... | 43 |
| 4.3.2. Atterberg limitlerinin belirlenmesi..... | 43 |
| 4.3.3. Plastiklik suyu, kuruma küçülmesi ve toplam doğrusal küçülme deneyi | 44 |
| 4.3.4. Kızdırma kaybının belirlenmesi..... | 45 |
| 4.3.5. Porozite, yoğunluk ve su emme değerlerinin belirlenmesi | 46 |
| 4.3.6. Basınç mukavemeti deneyi | 48 |
| 4.3.7. Donma-çözülme deneyi..... | 49 |
| 4.3.8. Porozimetre deneyi..... | 49 |
| 4.3.9. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesi..... | 50 |
| 4.4. Uygulanan İstatistiksel Analizler | 51 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 52 |
| 5.1. Hammaddelere Uygulanan Analizler | 52 |
| 5.1.1. XRF ve XRD analizleri | 52 |
| 5.1.2. DTA-TG analizleri | 55 |
| 5.2. Tuğla Hammaddesinin Özellikleri | 57 |
| 5.2.1. Atterberg limitleri..... | 57 |
| 5.3. Üretilen Tuğlaların Özellikleri..... | 58 |

| | Sayfa |
|--|--------------|
| 5.3.1. Plastiklik suyu | 58 |
| 5.3.2. Kuru ve toplam doğrusal küçülme | 59 |
| 5.3.3. Kızdırma kaybı | 61 |
| 5.3.4. Görünen porozite | 64 |
| 5.3.5. Su emme | 69 |
| 5.3.6. İlk su emme hızı | 73 |
| 5.3.7. Net birim hacim ağırlık | 77 |
| 5.3.8. Görünür yoğunluk | 81 |
| 5.3.9. Kapiler su emme katsayısı | 83 |
| 5.3.10. Basınç mukavemeti | 85 |
| 5.3.11. Donma-çözülme | 89 |
| 5.3.12. Porozimetre | 91 |
| 5.3.13. Isı iletkenlik katsayısı | 100 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 104 |
| 6.1. Sonuçlar | 104 |
| 6.2. Öneriler | 106 |
| KAYNAKLAR | 108 |
| EKLER | 118 |
| EK-1. Kızdırma kaybı oranlarının açıklayıcı istatistikleri | 119 |
| EK-2. Görünen porozite değerlerinin açıklayıcı istatistikleri | 120 |
| EK-3. Su emme oranlarının açıklayıcı istatistikleri | 121 |
| EK-4. Net birim hacim ağırlık değerlerinin açıklayıcı istatistikleri | 122 |
| EK-5. Görünür yoğunluk değerlerinin açıklayıcı istatistikleri | 123 |
| EK-6. İlk su emme hızı değerlerinin açıklayıcı istatistikleri | 124 |
| EK-7. Basınç mukavemet değerlerinin açıklayıcı istatistikleri | 125 |
| EK-8. Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler | 126 |
| ÖZGEÇMİŞ | 136 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. Yaygın kil mineral tiplerinin kimyasal oluşumu | 6 |
| Çizelge 2.2. Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri..... | 7 |
| Çizelge 2.3. Türkiye'de çeltik ekim alanı, üretimi ve verimi..... | 12 |
| Çizelge 2.4. Çeltik kavuzu külünün ortalama (%) oksit değerleri | 13 |
| Çizelge 3.1. Yatay delikli (kil kagir birimlerin) tuğlaların sınıflarına göre brüt kuru hacim kütleleri..... | 30 |
| Çizelge 3.2. Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre basınç dayanımları..... | 30 |
| Çizelge 3.3. Düşey delikli hafif tuğlaların brüt kuru hacim kütleleri ve basınç dayanımlarına göre sınıf ve tipleri | 30 |
| Çizelge 3.4. Düşey delikli tuğlaların birim hacim kütleleri ve basınç dayanımı değerleri..... | 31 |
| Çizelge 4.1. Örneklerin karışım oranları (1000 gr)..... | 40 |
| Çizelge 5.1 Kil malzemesine ait kimyasal analiz değerleri (%) | 52 |
| Çizelge 5.2. Likit, plastik limit ve plastisite indeksi değerleri..... | 57 |
| Çizelge 5.3. Karışımlara ait plastiklik suyu değerleri | 58 |
| Çizelge 5.4. Örneklere ait kuruma küçülmesi oranları (%) | 59 |
| Çizelge 5.5. Tuğla örneklerine ait toplam doğrusal küçülme oranları (%)..... | 59 |
| Çizelge 5.6. Tuğla örneklerine ait kızdırma kaybı oranları (%) | 62 |
| Çizelge 5.7. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre kızdırma kaybı oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$) | 62 |
| Çizelge 5.8. Kızdırma kaybı oranlarının duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları..... | 63 |
| Çizelge 5.9. Kızdırma kaybı oranlarının yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları..... | 64 |

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 5.10. Tuğla örneklerine ait görünen porozite değerleri (%)..... | 65 |
| Çizelge 5.11. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünen porozite değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$) | 67 |
| Çizelge 5.12. Görünen porozite değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları | 67 |
| Çizelge 5.13. Görünen porozite değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 68 |
| Çizelge 5.14. Tuğla örneklerine ait su emme oranları (%) | 71 |
| Çizelge 5.15. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre su emme oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)..... | 71 |
| Çizelge 5.16. Su emme oranlarının duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları..... | 71 |
| Çizelge 5.17. Su emme oranlarının yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 72 |
| Çizelge 5.18. Örneklere ait ilk su emme hızı değerleri [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{dak.})$] | 74 |
| Çizelge 5.19. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre ilk su emme hızı değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$) | 74 |
| Çizelge 5.20. İlk su emme hızı değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları | 75 |
| Çizelge 5.21. İlk su emme hızı değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 76 |
| Çizelge 5.22. Tuğla örneklerine ait net birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)..... | 77 |
| Çizelge 5.23. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre net birim hacim ağırlık değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)..... | 78 |
| Çizelge 5.24. Net birim hacim ağırlık değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları | 78 |
| Çizelge 5.25. Net birim hacim ağırlık değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 79 |

| Çizelge | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 5.26. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri (kg/m^3)..... | 81 |
| Çizelge 5.27. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünür yoğunluk değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$) | 81 |
| Çizelge 5.28. Görünür yoğunluk değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları | 82 |
| Çizelge 5.29. Görünür yoğunluk değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 82 |
| Çizelge 5.30. Örneklerle ait kapiler su emme katsayıları ($\text{g/m}^2 \cdot \text{t}^{0,5}$)..... | 84 |
| Çizelge 5.31. Örneklerin basınç mukavemeti değerleri (MPa)..... | 86 |
| Çizelge 5.32. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre basınç mukavemeti değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$) | 87 |
| Çizelge 5.33. Basınç mukavemet değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları | 87 |
| Çizelge 5.34. Basınç mukavemeti değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları | 88 |
| Çizelge 5.35. Örneklerin donma-çözülme sonrası basınç mukavemet değerleri (MPa) | 90 |
| Çizelge 5.36. Örneklerin gözenek çapı dağılımları ($700\text{ }^\circ\text{C}$)..... | 91 |
| Çizelge 5.37. Örneklerin gözenek çapı dağılımları ($900\text{ }^\circ\text{C}$)..... | 96 |
| Çizelge 5.38. Örneklerle ait ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerleri, (W/mK) | 101 |
| Çizelge 5.39. Bazı malzemelerin birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayısı değerleri | 102 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Değişik kil minerallerinin (a) temel yapısı, (b) temsili gösterimi..... | 8 |
| Şekil 2.2. İki temel kristal yapının oluşturduğu levha yapıları; a) Hegzagonal ağ içinde silika tetrahedron levha yapısı b) Oktahedron levha yapısı | 8 |
| Şekil 3.1. Tuğla üretim prosesi | 23 |
| Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerinin pişirme rejimi | 42 |
| Şekil 4.2. Isı iletkenlik katsayısı ölçümleri için hazırlanan örnek boyutları (mm).... | 50 |
| Şekil 5.1. Kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı | 52 |
| Şekil 5.2. Kil malzemesine ait DTA/TG grafiği | 56 |
| Şekil 5.3. ÇK malzemesine ait DTA/TG grafiği..... | 56 |
| Şekil 5.4. Karışımların rölatif plastiklik suyu oranları (%)...... | 58 |
| Şekil 5.5 (a). ÖÇK katkılı, (b). HÇK katkılı tuğlaların rölatif toplam doğrusal küçülme oranları (%)...... | 61 |
| Şekil 5.6 (a). ÖÇK katkılı, (b). HÇK katkılı tuğlaların rölatif görünen porozite değerleri (%)..... | 66 |
| Şekil 5.7. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranı ile görünen porozite değerleri arasındaki korelasyon..... | 69 |
| Şekil 5.8. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri ile görünen porozite değerleri arasındaki korelasyon..... | 80 |
| Şekil 5.9. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri ile basınç mukavemeti değerleri arasındaki korelasyon | 89 |
| Şekil 5.10 (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (T0-700 °C)..... | 91 |
| Şekil 5.11. % 5 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 °C) | 92 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 5.12. % 10 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 °C) | 93 |
| Şekil 5.13. % 15 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 °C) | 94 |
| Şekil 5.14 (a). HÇK katkılı, (b). ÖÇK katkılı örneklerin toplam gözenek hacmi (700 °C) | 95 |
| Şekil 5.15 (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (T0-900 °C) | 96 |
| Şekil 5.16. % 5 ÇK katkılı örneklerde, (a) Kümülatif gözenek hacmi, (b) gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C) | 97 |
| Şekil 5.17. % 10 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C) | 98 |
| Şekil 5.18. % 15 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C) | 99 |
| Şekil 5.19 (a) HÇK katkılı, (b) ÖÇK katkılı örneklerin toplam gözenek hacmi (900 °C) | 100 |
| Şekil 5.20. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon | 103 |

RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim | Sayfa |
|---|--------------|
| Resim 2.1. Çeltik kavuzuna ait SEM görüntüleri | 10 |
| Resim 2.2. Çeltik kavuzu yüzeylerine ait SEM görüntüleri..... | 11 |
| Resim 3.1. Hammaddenin nakledilmesi..... | 23 |
| Resim 3.2 (a) Kilin su ile karıştırılması, (b) Tuğlanın ekstrüzyonda şekillendirilmesi | 24 |
| Resim 3.3. Ekstrüzyonda tuğla üretimi ve kesilmesi | 25 |
| Resim 3.4. Tuğlaların pişirilmesi | 26 |
| Resim 3.5. Farklı tuğla örnekleri..... | 29 |
| Resim 4.1. Kullanılan malzemeler; kil, öğütülmüş çeltik kavuzu (ÖÇK), ham çeltik kavuzu (HÇK)..... | 39 |
| Resim 4.2. Çelik bilyalı değirmen | 40 |
| Resim 4.3. Laboratuvar tipi ekstrüzyon | 41 |
| Resim 4.4. Ekstrüzyonda şekillendirilen tuğlalar | 41 |
| Resim 4.5. 1200 °C pişirme kapasitesi bulunan laboratuvar tipi elektrikli fırın | 42 |
| Resim 4.6. Deneylerde kullanılan tuğla örnekleri..... | 46 |
| Resim 4.7. Tuğlanın iki taraflı çimento harcı başlıklaması | 48 |
| Resim 4.8. Quantacrome poremaster porozimetre cihazı | 49 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

| | |
|-----------|---|
| β | Standardize edilmiş regresyon katsayısı |
| N | Örnek sayısı |
| p | Anlamlılık düzeyi |
| r | Korelasyon katsayısı |
| R^2 | Determinasyon katsayısı |
| sd | Serbestlik derecesi |
| λ | Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK |

Kısaltmalar

Açıklama

| | |
|------------|--|
| ÇK | Çeltik kavuzu |
| DTA | Diferansiyel termal analiz |
| HÇK | Ham çeltik kavuzu |
| HD | Yüksek birim hacim kütlelerine sahip kagir birim |
| LD | Düşük birim hacim kütlelerine sahip kagir birim |
| ÖÇK | Öğütülmüş çeltik kavuzu |
| SEM | Taramalı elektron mikroskobu |
| TG | Termogravimetrik analiz |
| XRF | X ışınları floresans |
| XRD | X ışınları difraktogramı |

1. GİRİŞ

İnsan ömrünün ortalama olarak % 70-80'lik bölümünün kapalı hacimlerde geçtiği düşünülürse, iç mekan konforunun insanın sağlıklı, mutlu ve üretken bir yaşam sürmesi üzerindeki etkileri hemen anlaşılabilir. Ülkemizdeki enerji tüketiminin yaklaşık % 40'ının konutlarda kullanılması ise iç mekân ısı konforu kavramının insan yaşamında ne denli önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Tükenir enerji kaynaklarının kısıtlı ve pahalı olması, stratejik önemi nedeniyle kolay elde edilemez oluşu, kullanımı sırasında açığa çıkan SO₂/SO₃ ve CO₂ gazlarının ekolojik sistemle birlikte insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemesi nedenleriyle kentsel yaşamda konforla birlikte para ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılma zorunluluğu doğmuştur.

Enerji kullanımında tasarruf yapılması bu amaca yönelik çalışmaların bir boyutunu oluşturur. Ancak proje ve denetimden uzak konutların hızla artması enerji tasarrufunu engellemekte ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Eltez (2000)'e göre, aynı iklim koşullarında ve aynı alana sahip Türkiye'deki bir konut Fransa'ya göre % 45 – 53, Almanya'ya göre % 25, İngiltere'ye göre % 27, İsveç'e göre % 230 daha fazla yakıt sarf etmektedir. Ayrıca bu kayıpların % 40'ının dış duvarlarda gerçekleşmesi burada kullanılan yapı malzemesinin önemini daha da arttırmaktadır.

Yapı malzemeleri içinde ancak tuğla gibi farklı mineralleri bir arada bulunduran silikat tabanlı, gözenekli malzemeler hem ısı depolama hem de yeterli küçüklükte ısı iletkenlik özelliklerini bir arada taşıyabilir. Böylece insan için rahat bir ortam oluşurken, aynı zamanda da enerji tasarrufu sağlanabilir [Ceylantekin, 2002].

Tuğlalar ve kiremitler, killerin şekillendirilip pişirilmesiyle mukavemet kazanmasının öğrenilmesi kadar eski bir geçmişe sahip yapı malzemeleridir. Tuğla ve kiremit dünya tarihinde üretimi yapılan ilk yapı malzemeleridir. Tuğla ve kiremit, tarih boyunca önemli yapılarda yerini almıştır. Pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda ilk üretimi M.Ö. 4000 yılında Babil Kulesinin yapımına denk gelmektedir.

Bu kulede 85 000 tuğla kullanıldığı hesap edilmiştir. Kilden üretilen tuğla ve kiremitler dayanıklılıkları, düşük ses ve ısı geçirgenlikleri ve yanmaya karşı dirençleri ile günümüzde de en çok kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Böylece tuğla üretimi endüstriyel boyut kazanmıştır [Şahin, 2008].

Kil tuğlaları, yapıların duvarlarını inşa etmek amacıyla kullanılan yapısal seramiklerden birini oluşturmaktadır. Genelde seramiklerin yapımı için kullanılan hammaddeler kil mineralleridir. Mineralojide kil terimi, temelde kompozisyonları ne olursa olsun boyutu 2 µm'nin altında olan tüm sedimanter kayaçların tanımı için kullanılmaktadır [Su, 1992].

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 [Bormans, 2003].

Ülkemizde de güncelliğini koruyan en önemli konulardan biri enerjiden ve kullanılan hammaddelerden tasarruftur. Endüstriyel hammadde kaynakları bakımından yeterli sayılabilen ülkemizde özellikle enerji tasarrufu önem kazanmaktadır. Bunun için inşaat sektöründe kullanılmak üzere bünye yapısı hafif, ısı yalıtım değeri yüksek yapı elemanları üretimine önem verilmesi gerekmektedir [Demir ve ark., 2008]. Tuğla üretiminde atıkların kullanılması bünyenin hafiflemesi ve ısı yalıtım değerinin yükselmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Çevresel kaygıların başında gelen katı atıklar, depolama ve ortadan kaldırma problemlerini beraberinde getirmelerinden dolayı bu atıkların yapı malzemelerinde kullanılması önemlidir.

Çeltik kavuzu (ÇK), hafif olması nedeniyle tuğla üretiminde kullanılabilen organik bir atıktır. Bu tip atıklar, tuğlanın birim hacim ağırlığını azaltıcı ve termal özelliklerini arttırıcı bir etkiye sahiptir [Demir, 2008]. Bu özelliklerinden dolayı tuğla üretiminde kullanıldığında önemli faydalar sağlayabilmektedir. Tuğlada ÇK'nın kullanılmasıyla atık bir ürünün geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin önüne geçilmekle birlikte, tuğla üretiminde kullanılan ve oluşumu uzun yıllar süren verimli toprağın kullanımı azaltılarak yine çevresel bir yarar sağlanacaktır.

Bu çalışma ile kil tuğlasında ısı yalıtım özelliklerini geliştirmek, hafif bir bünye oluşturmak ve atık bir ürün olan çeltik kavuzunun kullanılması ile kil hammaddesinden tasarruf edilmesi amacıyla, çeltik kavuzu katkılı kil tuğlasının özellikleri araştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca ısı yalıtımı konusunda ve elde edilen bulgular üzerinde uygulanan istatistiksel analizler hakkında teorik bilgiler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde tuğla üretim prosesi hakkında bilgi verilerek, tuğla üretiminde kullanılan organik ve inorganik katkıların tuğla özelliklerinde meydana getirdiği değişimler literatür taramasıyla incelenmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan malzemeler tanıtılmış ve örnek üretim prosesinden bahsedilmiştir. Üretilen örnekler üzerinde uygulanan deneyler de yine bu bölümde verilmiştir.

Beşinci bölümde deneylerden elde edilen bulgular yorumlanmış ve tartışılmıştır. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kil ve Özellikleri

Kil, seramik ve diğer teknolojik üretimdeki önemi ve yeri dolayısıyla çağlar boyunca ilk insandan günümüze değin sürekli bir ihtiyaç malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kil kavramı yeryüzünde; doğal koloidal, sulu, inorganik maddeler için verilen bir addır. Kil çok ince taneli bir sediman minerali olup tane boyutu 2 µm'den küçüktür. Kili oluşturan ana elemanlar sulu alüminyum silikat mineralleridir. Bu minerallerin başında kaolen gelmektedir. Montmorillonitin ana bileşen olması halinde kil, bentonit olarak adlandırılmaktadır.

X ışınlarıyla içyapıları belirlenen killerin sıcaklık yapısında değişiklikleri, DTA (Diferansiyel Termal Analiz) aletleri ile ölçülmekte ve kesin olarak kil cinsleri belirlenebilmektedir. Killerin ergime noktası 1150 °C'den 1785 °C'ye kadar olan sınırlar arasındadır. Kil minerallerinin özgül ağırlıkları, kaolinit için 2,60-2,68, halloysit için 2,0-2,2, ve illit için 2,76-3,0 gr/cm³'tür [Karaman ve Kibici, 2008].

Kil, belli bir kristal bünyesine sahip, ince taneli, toprağımsı, belli miktarda su katıldığı zaman plastikliği artan bir malzemedir. Kil mineralleri esas itibariyle alüminyum hidrosilikatlarıdır. Bazı minerallerde alüminyumun yerini tamamen veya kısmen Fe ve Mg alır. Bazı killer tek bir kil mineralinden ibarettir. Fakat çoğu, birkaç mineralin karışımıdır. Killerin içinde kil mineraline ilaveten; kuvars, pirit, feldspat ve kalsit gibi mineraller kil olmayan malzeme olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri organik madde ve suda çözünebilen tuzları ihtiva eder [Dengiz, 2009].

2.1.1. Kil türleri

Kil mineralleri belirli sıcaklık, basınç, iyonlar vb. gibi özellikli jeokimyasal ve fiziksel şartların konfigürasyonu sonucunda oluşur. Kil mineralleri genellikle tek mineralli yataklar oluşturmazlar. Bir kil örneği çoğunlukla birden çok kil türü içerir.

Killer, aynı kimyasal bileşime fakat farklı fiziksel karakteristiklere sahip olan başlıca üç tipte oluşur. Bunlar; yüzey killeri, şeyller ve ateş killeridir. Bu üç çeşit kilde; silika, metalik oksitlerle başkalaştırılmış alümina ve diğer safsızlıkları içerir. Teknik bakımdan metalik oksitler safsızlıklarda bir arada tutulmasını sağlar. Özellikle Fe, Mg, Ca pişmiş ürünün rengini etkiler.

Üreticiler, kimyasal kompozisyonundaki değişme miktarını ve fiziksel özellikleri killeri karıştırma ile azaltırlar. Bununla birlikte killerin temizlenmesi masraf gerektirir [Dengiz, 2009].

2.1.2. Kil minerallerinin tanımı

Kil minerali tanımı, tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişme ile sertleşen mineraller için kullanılır. Kil kelimesi tane boyu ölçüsü, petrografik ve mineralojik bakımdan üç farklı anlam taşımaktadır. Tane boyu olarak 2 µm - 0,2 µm boyutundaki taneler, petrografik olarak kohezif topraklar, kohezyonlu malzeme veya çok ince taneli sedimanter kayalar, mineralojik olarak da bir mineral grubu anlamında kullanılmaktadır.

Kil mineralleri karmaşık alüminyum hidro-silikatlar olup alüminyum, silis ve suyun farklı şekillerdeki kompozisyonlardan oluşmuşlardır [Dengiz, 2009].

2.1.3. Kil minerallerinin yapısı

Kuars, feldspat, mika, piroksen, amfibol ve kil mineralleri silikat grubu mineraller olarak bilinmektedir. Silikat minerallerinin kristal yapı kafeslerinin önemli molekülleri silis tetrahedraları (SiO_4) ve alüminyum oktahedraları $\{\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2(\text{OH})_6\}$ 'dir.

Kil minerallerinin birim kristal kafesleri, silis tabaka veya zincirleri ile alüminyum tabaka veya zincirlerinden meydana gelir. Silis tetrahedraları ve alüminyum oktahedraları iki yönde eşit sayıda düzenlenerek iki yönde eşit büyüklükte tabaka

şeklinde, bir yönde sınırlı sayıda ve diğer yönde daha çok sayıda dizilerek şerit şeklinde ağ oluşturmaktadır. Bu suretle mika gibi iki yönde aynı boyutta kristaller veya amfiboller gibi bir yönde çubuk gibi uzun kristaller meydana gelmektedir [Dengiz, 2009].

Kil mineralinin içyapısı, atomlar arası bağ kuvvetleri etkisinde atomların diziliş biçimine bağlıdır. Atomların dizilişi düzenli ise “kristal yapı”, düzensiz ve rastgele ise “amorf” yapı oluşur. Düzenli dizilişin temel niteliği tekrarlılıktır. Düzenli bir yapıda herhangi bir doğrultu boyunca atomlar arası uzaklık eşit ve çevreleri özdeştir.

Birçok kil minerali, kafes kristal yapı oluşturan atom birleşimine sahiptir. Kristal kafes, kristaldeki atomların veya iyonların üç boyutlu olarak düzgün bir şekilde tekrarlanmasından oluşmaktadır. Kil minerallerinin önemli bir özelliği, kristal boyutlarının ufak olmasıdır. X-ışını kırınım yöntemi ve elektron mikroskobu, bu kristal yapıların tanımlanmasında kullanılır. X-ışını kırınımı, kil minerallerinin atomik yapısının tekrarlanan çok sayıda kristal levhadan meydana geldiğini göstermiştir. Kil mineralleri, karışık yapılu kristaller şeklinde olup kristallerin düzenlenmesine göre gruplandırılır. Kristal düzenine göre oluşturulan gruplar, hemen hemen benzer özellikler gösterir ve genel olarak bu grup isimleriyle tanımlanır. Buna göre bazı kil mineralleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yaygın kil mineral tiplerinin kimyasal oluşumu [Türköz, 2007]

| Kil Minerali Tipi | Kimyasal Formülü |
|-------------------|---|
| Montmorillonit | $Al_2(OH)_2Si_4O_{10}$ |
| Kaolinit | $K_{0.2}Al_4(Si_{8-6}Al_{0.2})O_{20}(OH)_4$ |
| İllit | $Al_2(OH)_2Si_2O_5$ |

Mühendislik amaçlı sınıflamalarda, kil mineralleri genellikle üç grup içinde değerlendirilir (Şekil 2.1):

- Kaolinit grubu, genellikle genleşmez.
- Mika grubu, illit ve vermikulit tipi killeri içerir, fakat genleşmeleri önemli problemlere neden olmaz.

- Smektit grubu, montmorillonitleri kapsar. Yüksek şişme potansiyeline sahiptir ve en problemlili kil mineral tipidir.

Mühendislik amaçları açısından kil minerallerinin tanımlanması ve değerlendirilmesine yönelik olarak literatürde değişik çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 2.2'de mühendislik amaçları için yapısal grupları temsil eden üç ana kil mineral tipinin, tipik özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir [Türköz, 2007].

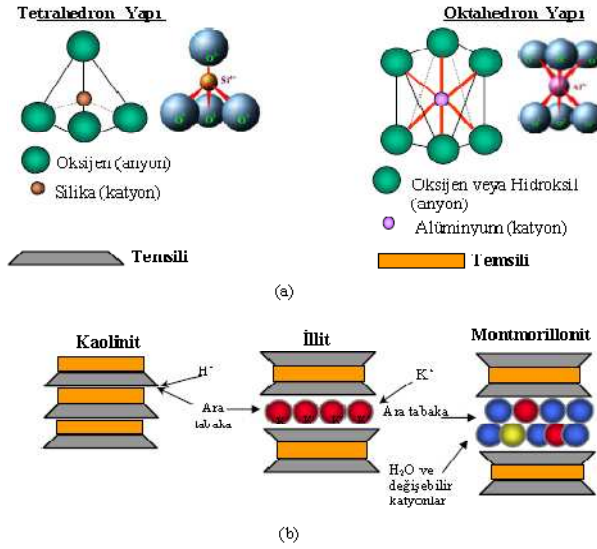
Çizelge 2.2. Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri [Türköz, 2007]

| Özellik | Montmorillonit | İllit | Kaolinit |
|---|--|-------------------|--------------|
| Tane Boyutu (μm) | 0,01-1,0 | 0,02-2,0 | 0,5-5,0 |
| Tane Şekli | Eş boyutlu yaprak | Pul | 6 Köşeli pul |
| Dış Yüzey Alanı (m^2/g) | 70-120 | 70-100 | 10-30 |
| İç Yüzey Alanı (m^2/g) | 550-650 | - | - |
| Plastisite | Yüksek | Orta | Düşük |
| Likit Limit | 110-710 | 60-120 | 29-70 |
| Plastisite İndisi | 51-100 | 34-60 | 26-38 |
| Kohezyon | Yüksek | Orta | Düşük |
| Şişme Kapasitesi | Yüksek | Orta | Düşük |
| Elektrik Yükü | 0,5-0,9 | 1,0-1,5 | 0 |
| KDK ($\text{meq}/100\text{g}$) | 80-150 | 10-40 | 3-15 |
| Özgül Gravite | 2,35-2,7 | 2,6-3,0 | 2,6-2,8 |
| Tabakalar arası mesafe (nm) | 1,0-2,0 | 1,0 | 0,7 |
| Tabakalar arası bağ | Van der Waal's bağları (zayıf çekim kuvveti) | Potasyum iyonları | Hidrojen |
| Net negatif yük (cmol/kg) | 80-120 | 15-40 | 2-5 |

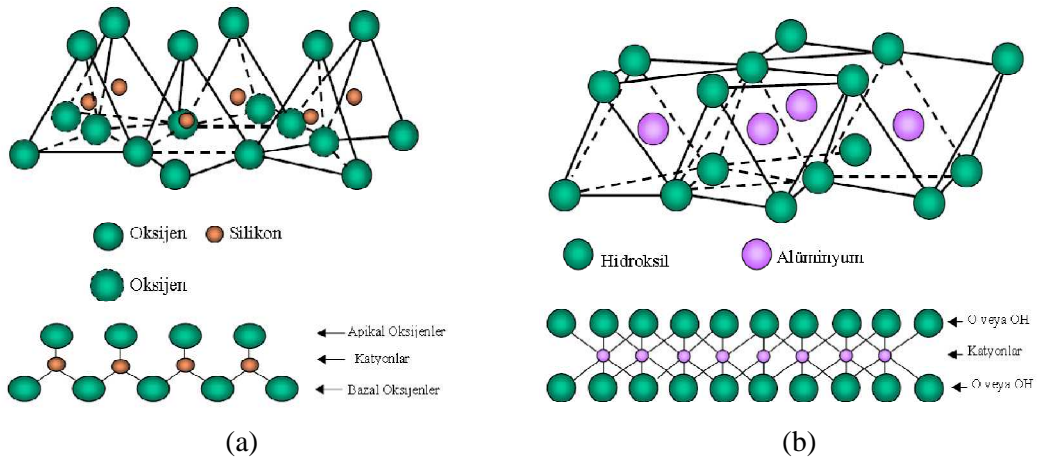
Esas itibariyle kil mineralleri iki temel kristal yapıdan oluşur. Bunlar, silika tetrahedron ve alümina veya magnezyum oktahedron kristal yapılarıdır (Şekil 2.1).

Silika tetrahedron yapı, bir silika atomu etrafındaki dört oksijen atomundan oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle, tek silika tetrahedronu, tek bir silis atomunu

çevreleyen ve tabanda aynı düzlem üzerinde bulunan dört oksijen atomundan ibarettir. Her bir tetrahedronun tabanında ve aynı düzlemde bulunan bu oksijen atomlarının birleşimi ile tetrahedron yapı oluşur. Eğer oksijen atomu iki tetrahedron yapı tarafından paylaşılırsa levha şeklindeki yapı oluşur (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Değişik kil minerallerinin (a) temel yapısı, (b) temsili gösterimi [Türköz, 2007]



Şekil 2.2. İki temel kristal yapının oluşturduğu levha yapıları, a) Hegzagonal ağ içinde silika tetrahedron levha yapısı, b) Oktahedron levha yapısı [Türköz, 2007]

Alümina veya magnezyum oktohedron yapı alüminyum, magnezyum, demir katyonlarını veya diğer atomları çevreleyen altı oksijen veya hidroksillerin

birleşiminden oluşmaktadır. Oktahedron levhadaki katyonların yer değiştirmesi ile farklı mineraller ortaya çıkmaktadır. Bu durum kristal yapının değişmeden, ortamdaki katyonların yer değiştirmesi olup “izomorf yerdeğiştirme” olarak tanımlanır. İzomorf yerdeğiştirme özelliğinden dolayı, mineraller farklı yapıya sahip olur ve farklı isimlerle tanımlanır.

Oktahedron ve tetrahedron yapılar, oktahedron ve tetrahedron levha şekillerini alarak birlikte polimer yapı oluşturur. Oluşan levhaların birleşimi ve düzenlenmesi, farklı yapıların oluşmasına sebep olur. Temel yapıdaki değişimler neticesinde bilinen kil mineralleri oluşur. Sonuç olarak tüm kil mineralleri, iki temel levha yapısının değişik şekillerde (1:1, 2:1) bir araya gelmesi ile oluşur [Türköz, 2007].

2.2. Çeltik Kavuzu

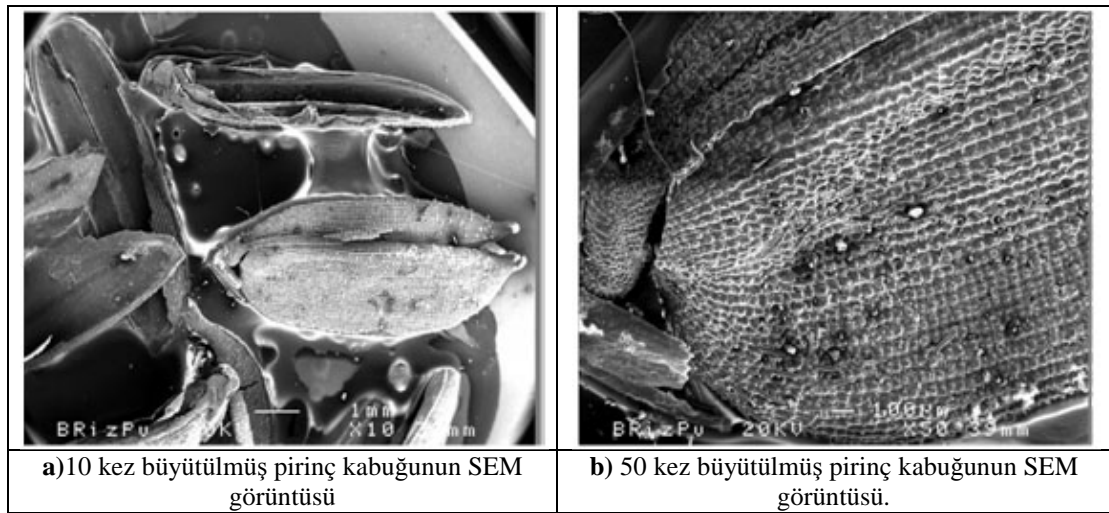
Çeltik kavuzu (ÇK), organik bir atık olmakla beraber çeltiğin öğütme prosesi süresince çeltik tanelerinin kapçıklarının alınması sonucu ortaya çıkan bir atık üründür. Pirinç üretimi yapan tüm ülkelerde bol miktarda ortaya çıkan ÇK; % 40 selüloz, % 30 lignin grubu ve % 20 oranında hidrat amorf silis içermektedir [Ganesan ve ark., 2008; Chandrasekhar ve ark., 2003; Nair ve ark., 2008; Chindaprasirt ve Kanchanda, 2007]. ÇK'nın yakılması sırasında yüksek oranda (% 60-65) uçucu madde olduğu ve % 20-25 oranında ortaya çıkan çeltik kavuzu külünde, % 95-97 oranında SiO₂ bulunduğu belirtilmiştir [Mansaray ve Ghaly, 1997].

Termal uygulamalarla ÇK'da bulunan silis, silisin kristal hali olan kristabolite dönüşmektedir. Bununla birlikte kontrollü yakma şartları sağlandığı takdirde çeltik kavuzlarından yüksek yüzey alanı, çok ince tanelere sahip ve yüksek reaktiflikte amorf silis elde edilmektedir [Chandrasekhar ve ark., 2003].

ÇK, % 5-16 oranında su emme kabiliyetine sahiptir. ÇK'nın su emme oranı ısıll özelliklerini büyük oranda etkilemektedir. Kavuz içerisindeki nem oranı arttıkça kabuğun ısıtma değeri azalmaktadır. Nem içeriği arttıkça buharlaşma için daha

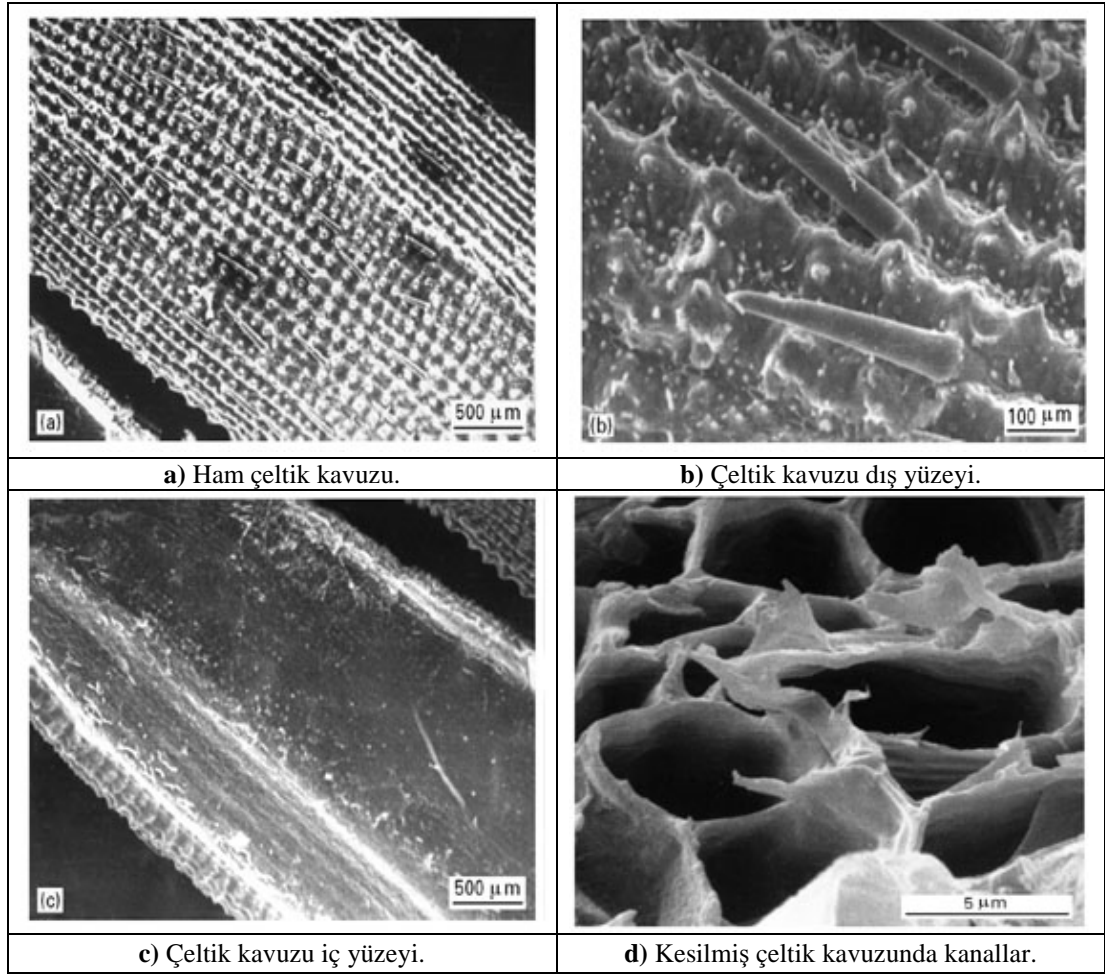
büyük bir enerji gerekecek ve ısı değerinden faydalanılması planlanan kavuzlardan elde edilen ısı enerjisi azalacaktır. ÇK'nın birim hacim ağırlıkları $83-125 \text{ kg/m}^3$ aralıklarında olduğu belirtilmektedir. Çeltik kavuzları hafif olmalarının yanı sıra boyutlarda da değişiklik göstermekte ve bu boyutlarındaki değişiklikler dikkate alınmadan karışık bir halde yakma işlemi gerçekleştirildiğinde istenilen ısı verimi alınmamaktadır. ÇK'nın ısıtma değeri $14,72-18,31 \text{ MJ/kg}$ arasında değişiklik göstermekte ve kömürün ısıtma değeri olan $31,55 \text{ MJ/kg}$ ile karşılaştırıldığında ısı veriminin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır [Mansaray ve Ghaly, 1997].

ÇK ve yüzeyine ait bazı SEM resimleri Resim 2.1 ve Resim 2.2'de gösterilmiştir.



Resim 2.1. Çeltik kavuzuna ait SEM görüntüleri [Jaubertie ve ark., 2000]

ÇK (Resim 2.1. ve Resim 2.2.), bazı bölgelerde yakıt olarak kullanılırken diğer ülkelerde atık bir ürün olarak kalmakla beraber çevre ve ortadan yok etme problemi ortaya çıkmaktadır. Çevresel kaygılar ve enerji dönüşümü ve kaynaklarına olan ihtiyacın artmasından dolayı, belli koşullar altında yakılan kavuzdan kalan külün bir yapı malzemesi olarak kullanılması yönünde çabalar bulunmaktadır [Paya ve ark., 2001].



Resim 2.2. Çeltik kavuzu yüzeylerine ait SEM görüntüleri [Ryu ve ark., 1997]

ÇK'nın yakılması sonucunda ortaya çıkan kül, yüksek oranda reaktif puzolan bir malzemedir. ÇK külü yüksek miktarda SiO_2 içerir ve kireçle reaktifliği temelde iki faktöre bağlıdır. Bunlar, amorf silis içeriği ve özgül yüzeydir. ÇK külündeki amorf faz öncelikle erime sırasında opalin ve hidro silisin sinterleşmesi ve ayrışmasıyla oluşan Si-O'nun 600 derece altındaki sıcaklıkta karışmasıyla elde edilir. Külün kontrolsüz biçimde ortaya çıkartılması durumunda zayıf puzolanik özelliklere sahip olacağı belirtilmektedir. Bununla birlikte kontrollü bir biçimde ÇK'nın yakılması sonucunda yüksek reaktifliğe sahip çeltik kavuzu külü elde edilebilmektedir. Bu nedenle, puzolanik bir malzeme olan çeltik kavuzu külünün reaktivitesi bünyesindeki kristal/amorf oranına bağlıdır. Böylelikle çeltik kavuzu külünün karakterizasyonu

için, bulundurduğu amorf silis oranının belirlenmesi çok önemlidir [Paya ve ark., 2001].

“International Rice Research Institute” tarafından yapılan araştırmaya göre, 2007 yılında dünya çapında pirinç üretimi yaklaşık 645 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. En az 114 ülkede pirinç yetiştirilmiş ve elliden fazla ülkede yıllık üretim miktarı 100 bin ton ve üzerinde gerçekleşmiştir. Pirinç üretiminin yaklaşık % 90’lık kısmını iki Asya ülkesi olan Çin ve Hindistan gerçekleştirmiştir [İnternet-1, 2008].

“Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)” verilerine göre, Türkiye’de 2006 yılında 991 bin dekarlık alanda pirinç ekilmiştir. Ekilen alanlardan toplam 417 600 ton pirinç elde edilmiş ve dekar başına pirinç verimi 421 kg olarak tespit edilmiştir [İnternet-2, 2008].

Çizelge 2.3. Türkiye’de çeltik ekim alanı, üretimi ve verimi [İşcan, 2002]

| Yıllar | Ekim Alanı (Ha) | Çeltik Üretimi (Ton) | Pirinç Üretimi (Ton) |
|---------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1990 | 40 500 | 200 000 | 120 000 |
| 1995 | 50 000 | 250 500 | 150 000 |
| 1996 | 54 850 | 280 500 | 168 000 |
| 1997 | 55 000 | 275 500 | 165 000 |
| 1998 | 60 000 | 315 600 | 189 000 |
| 1999 | 65 000 | 340 000 | 204 000 |
| 2000 | 58 000 | 350 000 | 234 000 |
| 2001 | 59 000 | 360 000 | 216 000 |

Tarım ve Köy işleri Bakanlığı’nın verilerine göre (Çizelge 2.3), ülkemizde ekim alanlarına ekilen çeltiğin yaklaşık % 60’ından pirinç elde edilmiştir [İşcan, 2002].

Çeltiğin yaklaşık % 20’si kavuz olarak ortaya çıkmaktadır. ÇK büyük hacme sahip olmasına rağmen düşük birim hacim ağırlığa sahip bir malzemedir ve sert abrasif bir yüzeye sahip olmasından dolayı doğal yollardan yok edilmesi oldukça zordur [Hwang ve Chandra, 1997].

ÇK genellikle beton ve çimento üretiminde kullanım alanı bulmuştur. Çimento ve beton üretimi için çimento katkı maddesi olarak kullanılan ÇK, öncelikle yakılmış ve

ortaya çıkan çeltik kavuzu külü bir mineral katkı ve puzolan olarak kullanılmıştır. ÇK'nın yakılarak elde edilen külü ile ilgili literatürde bulunan bazı çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

ÇK'nın yakılması sonucunda elde edilen çeltik kavuzu külüne ait kimyasal analiz değerlerinin ortalama aralık değerleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir. [Ganesan ve ark., 2008; Chindaprasirt ve Kanchanda, 2007; Saraswathy ve Song, 2007; Bui ve ark., 2005; Thuadaj ve Nuntiya, 2008; Sensale, 2006; Feng ve ark., 2004; Giaccio ve ark., 2007].

Çizelge 2.4. Çeltik kavuzu külünün ortalama (%) oksit değerleri

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | K.K. |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|-----------------|------------------|-------------------|---------|
| 87,0-96,5 | 0,2-0,8 | 0,2-0,9 | 0,5-1,4 | 0,3-0,8 | 0,0-0,3 | 1,2-3,6 | 0,0-0,1 | 0,0-6,6 |

Daha önce yapılan bazı çalışmalara göre; çimento ile % 30'a kadar çeltik kavuzu külü katkılı betonların (su/çimento oranı 0,53) basınç dayanımlarında, kontrol betonlarına göre tüm yaşlarda daha yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir [Ganesan ve ark., 2008; Saraswathy ve Song, 2007; Nehdi ve ark., 2003].

Chindaprasit ve Kanchanda (2007) yaptıkları çalışmada, % 5 sülfat çözeltisi ile genleşme deneyi yapmış ve 360 günlük ölçümler sonucunda % 40 çeltik kavuzu külü ikameli çimentoların normal çimentoya göre çok daha düşük genleşme yaptığını belirtmiştir. Sodyum sülfat çözeltisiyle yapılan pH ölçümlerinde ise 90 ve 180 günlük ölçümlere göre katkı oranı arttıkça pH değerlerinin düştüğü belirtilmiştir [Chindaprasit ve Kanchanda, 2007].

Gastaldini vd. (2007), erken dayanım kazanan portland çimentosu ve % 20 oranında çeltik kavuzu külü kullanarak yaptıkları çalışmada, kimyasal aktivatör olarak; potasyum sülfat (K₂SO₄), sodyum sülfat (Na₂SO₄) ve sodyum silikat (Na₂SiO₃) kimyasallarını ayrı ayrı olmak üzere çimento ağırlığının % 1'i oranında kullanmıştır. Kimyasal aktivatör bulunan örneklerin basınç dayanımları kontrol örneklerine oranla daha yüksek değerler vermiş ve özellikle potasyum sülfat katkılı örneklerin tüm

yaşlarda daha yüksek basınç dayanım değerleri verdiği gözlenmiştir. Ayrıca tüm su/bağlayıcı (0.35,0.5,0.65) oranlarında en düşük karbonatlaşma katsayısı, % 1 K_2SO_4 ve çeltik kavuzu külü bulunan örneklerde elde edildiği de belirtilmiştir [Gastaldini ve ark., 2007].

2.3. Isı Yalıtımı

Genel olarak bakıldığında günümüzde ana ilkeleri 19.Y.Y.'a kadar uzanan fosil kaynaklı yakıtlardan mekanik enerjiye, elektrik ve ısı enerjisine dönüşüm yöntemleri halen kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlara dayalı olan yakma teknolojileri dışında, ucuz ve temiz olarak kullanılabilir enerjiye “yakmaksızın” dönüşümün yapılabildiği bir teknoloji henüz geliştirilememiştir. Yenilenebilir kaynaklara dayalı kullanılabilir enerjinin ise artan talebi karşılamada halen yeterli olduğu söylenemez. Bu nedenlerden dolayı konutlarda ısıtma enerjisinin korunumu ve tasarrufu enerji politikaları açısından oldukça önemlidir [Onaylı, 2002].

Isı, maddeyi oluşturan moleküllerin hareketlerinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır ki, bu da madde içindeki enerjiyi ifade etmektedir. Sıcak maddelerde moleküller hızlı hareket ederken, soğuk maddelerde ise daha yavaşlardır. Bu hareketler ısı olarak isimlendirilmektedir.

Sıcaklık ise, bir maddenin hissettirdiği duygunun ölçüsüdür. Isı daima sıcak maddeden soğuk olana doğru iletilmektedir. Ancak soğuk hiçbir zaman iletilmemektedir. Çünkü soğuk sadece düşük ısının kalitesine yönelik bir tanımdır. Daha sıcak olan bir madde soğuyabilir ama buradaki olay, soğğun kazanılması değil, ısının kaybedilmesidir.

Isı yalıtımının yapı konforuna direkt etkisi bulunmaktadır. Yalıtımın yetersiz olduğu durumlarda, mekan içindeki yaşam konfor sıcaklığının kabul edilebilir seviyelerde olmasına karşılık, yaşayan bireylerin konforsuzluktan şikayet ettiği çeşitli gözlemler sonucu tespit edilmiştir. Yapıya yeterli ısı yalıtımı uygulanmadığı durumlarda, konforsuzluk ve enerji savurganlığı kaçınılmaz olmaktadır. İyi yalıtımlı bir binanın

kolay ısınması ve geç soğuması yanında, ortamdaki sıcaklık değişimlerinde fazla olmadığı için, konfor temini daha kolay ve yüksek seviyede olabilmektedir.

Isı yalıtım malzemeleri, elektrik yalıtım malzemelerinin aksine gözeneklidir. Gözenekli yapı; liflerin, tanelerin, gözenekli tanelerin yığın şeklinde bulunmaları, köpüklü malzeme veya herhangi bir bileşiğin meydana getirdiği bazı kısmi elemanlarının çıkartılması yahut yakılması ile elde olunur. Mesela yanmış olan kil, sünger taşı, tuf, cüruf, alçı gibi malzemelerden muhtelif yalıtım malzemeleri yapılmaktadır. Teknikte kullanılan ısı yalıtım malzemeleri; organik asıllı, inorganik asıllı ve sentetik olmak üzere üç grupta yer almaktadır [Çolakoğlu, 2004].

Yapılaşmanın özellikle de konutlaşmanın büyük bir hız kazandığı günümüzde, iç iklim koşullarının dengede tutulması sağlık ve ekonomik açıdan büyük bir önem arz etmektedir. İnsanoğlunun yaşamının büyük bir kısmı değişik hacimler içerisinde geçmektedir. Dolayısıyla, bu hacimlerin hizmet fonksiyonuna göre en iyi şekilde bulunması, bu hacimleri teşkil eden ve bir koruyucu niteliğinde olan yapı malzemeleri ile sağlanmaktadır.

Konutların ve yapıların ısıtılmasında harcanan enerji, ülkemizde harcanan toplam enerjinin yaklaşık % 40'ıdır. Konut ve diğer yapılarda ısı kayıplarının azaltılması, yapıların yalıtılmasına veya ısı iletkenlikleri düşük yapı malzemelerinin kullanılmasına bağlıdır.

Bu durum, özellikle kış mevsiminin çok uzun sürdüğü ve kış ayları sıcaklık ortalamasının çok düşük olduğu bölgelerimizde daha da önem kazanmaktadır.

Isı iletimi problemlerinin çözümünde özellikle endüstride ısıtma – havalandırma ve soğutma tekniğinde pratik hesaplar için çeşitli malzemelerin, özellikle ısı yalıtkanların ısı iletim katsayılarının bilinmesi birinci derecede önem taşır. Ülkemizde çeşitli inşaat malzemeleri geliştirilmektedir. Isı hesaplarında, bu malzemelerin benzerleri için literatürde verilmiş olan ısı iletim katsayısı değerlerini

kullanmak hatalı sonuçlara götürebilir. Bu bakımdan her yeni malzemenin, yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı gibi fiziki özelliklerinin tayini gerekir.

Katı cisimlerde ısı transfer işlemi, cismin moleküllerinin ısı aktarımı ile gerçekleşir. Camsı molekül yapısındaki bir katı cisimde ısının kat edeceği yol, kristal molekül yapısındaki ısının kat edeceği yoldan daha uzundur. Sonuç olarak, camsı fazdaki bir katının ısı iletimi daha düşük bir değere sahip olmaktadır. Genleşmiş yüksek fırın cürufu, perlit, cam, kalsine uçucu kül, sünger taşı ve diyatomit agregalarının yapısı camsıdır ve bu agregalar ile yapılan gerek hafif betonlar ve gerekse hafif blok elemanlar, kuru birim hacim ağırlıklarına göre normal agregalarla üretilen betonlara göre daha düşük ısı iletim katsayısına sahiptirler.

Isı iletimi, bir ortam (katı, sıvı, gaz) içerisinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan doğruya fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin fark edilebilir bir yer değiştirme olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu meydana gelen ısı yayılımı işlemidir.

Isı iletiminde genel olarak ısı transferi, sıcaklığa ve sıcaklık basamağına bağlıdır. Bunun için üniform yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 olan sonlu kalınlıkta, sonlu bir levhada eğer $T_1 - T_2$ sıcaklık farkı levha özelliklerini değiştirecek büyüklükte değil ise, birim zamanda iletilen ısı miktarı Eş. 2.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{\lambda A (T_1 - T_2)}{L} \quad (2.1)$$

Burada;

Q = Birim zamanda ısı akımı (kcal veya Watt)

A = ısı akımına dik yüzey alanı (m^2)

L = levha kalınlığı (m)

λ = sabit orantı katsayısı (malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı)'nı ifade eder.

Isı iletim katsayısı (λ), malzemenin fiziki bir özelliği olup ısı iletme kabiliyetini gösterir ve homojen bir malzemenin kararlı durumda iken, birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki fark 1 °C olduğunda; birim zamanda, birim alandan ve bu alana ait dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarıdır. Birimi, kcal/mh°C veya Watt/mK'dir [Uygunoğlu, 2005].

2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen bulgular kullanılarak iki faktörlü anova, kısmi ve ikili korelasyon ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde güven aralığı % 95, $\alpha=0,05$ olarak alınmıştır. Uygulanan istatistiksel analizler bu kısımda teorik olarak açıklanmıştır.

2.4.1. İki faktörlü ANOVA

İki faktörlü ANOVA, gruplar arası iki faktörün bir bağımlı değişken üzerinde etkisini ayrı ayrı test etmek yerine, faktörlerin temel etkilerini ve iki faktörün bağımlı değişken üzerindeki ortak etkisini eş zamanlı olarak test eden bir istatistiksel yöntemdir [Büyüköztürk, 2003].

2.4.2. Basit ve kısmi korelasyon

Basit Korelasyon; değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesine, değişkenlerin ölçme yapısına, dağılımın özelliklerine, aralarındaki ilişkinin doğrusal olup olmamasına, değişken sayısına ve kontrol durumuna bağlı olarak farklı istatistiksel teknikler kullanılarak yapılmaktadır.

İki değişken arasındaki ilişki, ikili yada basit korelasyon ismi verilen korelasyon teknikleri ile bulunur. Bir değişkenin iki yada daha çok değişken ile olan ilişkisi çoklu korelasyonun, bu değişkenlerden birinin kontrol edilerek diğer değişkenlerle olan ilişkisi ise kısmi korelasyon tekniklerinin konusudur.

Korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini ya da miktarını ve yönünü açıklayan bir sayıdır. Korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin miktarını bulup yorumlamak amacıyla kullanılır.

Pearson korelasyon katsayısı, iki değişkeninde sürekli olmasını değişkenlerin birlikte normal dağılım göstermesini gerektirmektedir. Değişkenler sürekli bir dağılım gösterdiği halde normal dağılım göstermiyorlarsa, iki değişken arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla Spearman Brown sıra farkları korelasyon katsayısı kullanılır. Değişkenlere ait değerlerin puan yerine sıra değeri olarak verildiği durumlarda da sıra farkları korelasyon katsayısı bulunur. İki değişken için kullanılan bir Pearson korelasyon katsayısı;

- Kuvvet (düşük-orta-yüksek)
- Yön (pozitif-negatif)
- Açıklanan varyans (determinasyon katsayısı, r^2)
- İstatistiksel anlamlılık ve
- Pratik anlamlılık açısından yorumlanabilir.

Korelasyon katsayısının 1,00 olması, mükemmel pozitif bir ilişkiyi; -1,00 olması mükemmel negatif bir ilişkiyi; 0,00 olması ilişkinin olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısının büyüklük bakımından yorumlanmasında üzerinde tam olarak ortak aralıklar bulunmamakla birlikte, korelasyonu yorumlamada şu sınırların sıklıkla kullanılabileceği belirtilmelidir. Korelasyon katsayısının mutlak değer olarak 0,70-0,30 arasında olması, orta; 0,30-0,00 arasında olması ise düşük düzeyde bir ilişki olarak tanımlanabilir. İki değişken arasında pozitif bir ilişkinin olması deneklerin X değişkenine ait değerlerin artması durumunda Y değişkenine ait değerlerin de artma eğiliminde olduğunu ya da X değerlerinin düşmesi durumunda Y değerlerinin de düşme eğiliminde olduğunu gösterir. Değişkenler arasındaki ilişkinin negatif olması ise değişkenlerden birine ait değerlerin artması durumunda diğer değişkenin değerlerinin düşme eğiliminde olduğunu gösterir. Açıklanan varyans, değişkenlerden birinde gözlenen değişikliğin ne kadarının diğer değişken tarafından

açıklandığını yorumlamada kullanılır ve determinasyon katsayısı olarak da isimlendirilen korelasyon katsayısının karesine (r^2) eşittir.

İki değişken arasında hesaplanan bir korelasyon katsayısının sıfırdan anlamlı bir şekilde farklılık gösterip göstermediğine ilişkin yapılan test işlemi sonunda, korelasyon katsayısı çok düşük olmasına karşılık anlamlı çıkabilir ya da yüksek düzeyde bir korelasyon katsayısı anlamlı çıkmayabilir. Bu durum büyük ölçüde puanların toplandığı denek sayısına bağlıdır. Örneğin, beş örnekten hesaplanan $r = 0,70$, $\alpha = 0,05$ ' de anlamlı değildir. Buna karşılık 100 örnekten hesaplanan $r = 0,20$, $\alpha = 0,05$ ' de anlamlıdır. Bu gibi durumlarda araştırmacı, hesaplanan korelasyon katsayısının büyüklüğünü ve açıklanan varyansın pratikteki önemini dikkate alarak esnek bir yoruma gidebilir.

Kısmi korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin, bir yada daha çok değişkenin salt bu iki değişkenden kaynaklanabileceği gibi, bu değişkenlerle ilişkili olan m tane değişkenden de kaynaklanabilir. Kısmi korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkiyi, bu değişkenlerle ilişkili olan bir yada bir kaç tane değişkeni kontrol ederek hesaplanmasını sağlar. Kısmi korelasyonun hesaplanması için;

- Aralarındaki ilişkinin miktarı bulunacak değişkenlerin ve bu değişkenlerdeki varyansların sabitlenmesi,
- Kontrol edilen dışsal değişkenlerin sürekli olması,
- Değişkenlerin normal dağılım göstermesi gerekmektedir [Büyüköztürk, 2003].

2.4.3. Basit ve çoklu regresyon

Regresyon analizi, aralarında ilişki olan iki ya da daha fazla değişkenden birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız değişkenler olarak ayrımı ile aralarındaki ilişkinin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecini anlatır. Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise, Doğrusal Regresyon Analizi, değil ise Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi olarak isimlendirilir.

Regresyon analizinin amaçları dört noktada açıklanabilir:

- Bağımlı değişken ile bağımsız değişken ya da değişkenler arasındaki ilişkiyi regresyon eşitliği ile açıklamak,
- Regresyon modelinin bilinmeyen parametreleri tahmin edildiğinde, bağımsız değişken ya da değişkenlerin bilinen değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmek,
- Bağımsız değişkenin ya da değişkenlerin bağımlı değişkende gözlenen değişimlerin ne kadarını açıkladıklarını, determinasyon katsayısı ile belirlemek,
- Bağımsız değişken ya da değişkenlerin bağımlı değişkeni anlamlı bir şekilde açıklayıp açıklamadıkları; birden fazla bağımsız değişken var ise bunların bağımlı değişken üzerindeki görece önemliliklerini saptamak.

Çoklu regresyon analizi, bağımlı değişkenle ilişkili olan iki ya da daha çok bağımsız değişkene dayalı olarak, bağımlı değişkenin tahmin edilmesine yönelik bir analiz türüdür. Çoklu regresyon analizi, açıklayıcı değişkenler tarafından bağımlı değişkende açıklanan toplam varyansın yorumlanmasına, açıklanan varyansın istatistiksel anlamlılığına, açıklayıcı değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlılığına ve açıklayıcı değişkenlerle bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin yönüne ilişkin yorum yapma olanağı verir. Çoklu regresyon analizinde, farklı ölçme birimleri ve varyanslara sahip bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlere ilişkin görece önem sıralarını yorumlamada regresyon katsayıları kullanılmaz.

Bu amaçla standardize edilmiş regresyon katsayıları olan β (Beta) değerlerine, işaretlerine dikkat etmeksizin bakılır. En yüksek beta değerine sahip olan değişken görece olarak en önemli açıklayıcıdır. Kestirici değişkenlerin görece önemlilik ölçüsü olarak β^2 , bağımlı değişkenin kestirilmesinde her bir kestirici değişkenin tek başına yaptığı katkı olarak yorumlanabilmektedir [Büyüköztürk, 2003].

3. TUĞLA ÜRETİMİ VE KULLANILAN KATKILAR

3.1. Tuğla Üretimi

Tuğla, killi toprağın su ile iyice karıştırılıp hamur şekline getirilip şekillendirildikten ve yavaş kurutulduktan sonra özel ocak veya fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900-1300°C) pişirilmesi ile elde edilen ve duvarlarda çok yaygın olarak kullanılan oldukça eski bir yapı malzemesidir [Şişman ve ark., 2006; Güner ve Süme, 2000; Karaman, 2006; Diaz ve ark., 2007; Cultrone ve Sebastian, 2009].

Tuğla uygun toprakların bol olması, bu malzemenin ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermesi nedeniyle kentlerde olduğu gibi kırsal alanlarda tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılmakta ve üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde hayvan barınakları, tarımsal ürün depoları gibi yapılar genellikle tek katlı ve prefabrik yapı malzemeleri ile yapılmaktadır. Bunlar içerisinde önemli yeri bulunan tuğlalar, yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir [Karaman, 2006]. Tuğlalar arasında, kristal seramiklerden biri olan kil tuğlaları aynı zamanda bilinen en eski ve en çok kullanılan yapı malzemelerinin başında gelir [Chidiac ve Federico, 2007; Mbumbia ve Wilmars 2002].

Tuğla imaline elverişli topraklar kumlu kil olarak adlandırılmaktadır. Seramik killerinden farkları demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Bu topraklar kil, çorak, mil, silt, lem, balçık gibi isimler altında da tanınırlar. Bu toprakların içinde kuvars, montmorillonit, kaolinit, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulunmaktadır. Ayrıca bu topraklarda % 33'den fazla CaCO₃ (kireçtaşı) bulunmamalıdır. Bununla birlikte kireç miktarı % 25'i geçmeyen killer tuğla üretimi için daha uygun topraklar olarak kabul edilmektedir.

Bünyesinde çok fazla kireç bulunduran killerle yapılan tuğlalar pişirildikten sonra fazla gözenek oranına sahip olmakta, su emme değerleri yükselmekte ve bunların neticesinde de dona dayanıklılığı zayıf olmaktadır. Pişirme işleminin ardından

bünyede serbest kireç kalabilmekte ve bu üründe tuğlada çatlamalara sebep olabilmektedir [Orhun, 1964; DPT, 2001].

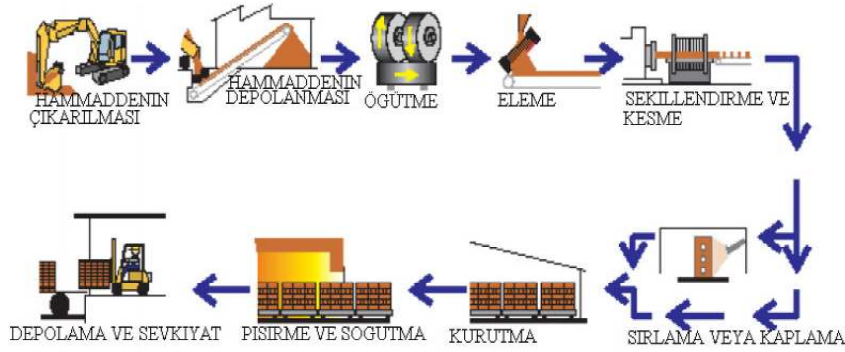
Kil içinde bulunan silis (SiO_2); plastikliği düşürür, kuruma ve pişme küçülmesini azaltır. Tane boyutu çok küçük olmadığında çekme ve basınç mukavemetini azaltır. Kuvars halinde bulunmayan silis çok daha fazla reaktiftir. Tridimit ve kristobalit'e daha çabuk dönüşür ve alkalilerle daha düşük sıcaklıklarda bileşik oluşturur [Ceylantekin, 2002].

Kil mineralinde bulunan alümina (Al_2O_3), kaolenin plastikliğini azaltırken, pişmiş kilin refrakterliğini artırır. Alkali içerikli mineraller seramik üretiminde vitrifikasyon sıcaklığını düşürür. Alkaliler, alümina ve silisle birleşerek düşük sıcaklıkta sıvı faz oluşur ve killerin pişirilmesi ile cam faz olarak kalır. Çözünür alkali tuzları (Potasyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorür ve bunların kompleksleri), killerin koloidal ve plastiklik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Alkali içerikli minerallerin çoğu plastik olmadıkları için bünyenin kuru mukavemetini düşürür [Ceylantekin, 2002].

Killerde kireçtaşı parçaları, jips, organik maddeler ve iri kayaç artıkları kaliteyi bozabildikleri gibi tuğlanın pişme şartlarına göre, suda çözünen tuzlarda teşekkül edebilir. Suda çözünen tuzların bulunması halinde tuğla yüzeyinde kristalleşme ortaya çıkmakta ve bu yolla çiçeklenen tuğlanın basınç ve dona mukavemeti azalmaktadır. Dolayısıyla doğadan elde edilen ve üretim tesislerine getirilecek olan kil, gerek boyut olarak gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip olması için bir dizi ön hazırlıktan geçmesi gerekmektedir [Orhun, 1964; DPT, 2001].

Tuğla üretim prosesi toplam altı aşamadan oluşan bir süreci kapsamaktadır. Bunlar sırasıyla; hammaddenin alınması ve depolanması, hammaddenin hazırlanması, tuğlanın şekillendirilmesi, kurutma, pişirme ve soğutma son olarak da hazırlanan ürünün depolanmasıdır (Şekil 3.1) [Şahin, 2008].

Tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılacak killer, temin edilerek depolanmaktadır. Ardından depolama bölgelerinde bulunan killer hammaddenin hazırlanması amacıyla tuğlaların şekillendirileceği bölgeye nakledilirler (Resim 3.1) [İnternet-3, 2006].



Şekil 3.1 Tuğla üretim prosesi [Şahin, 2008]



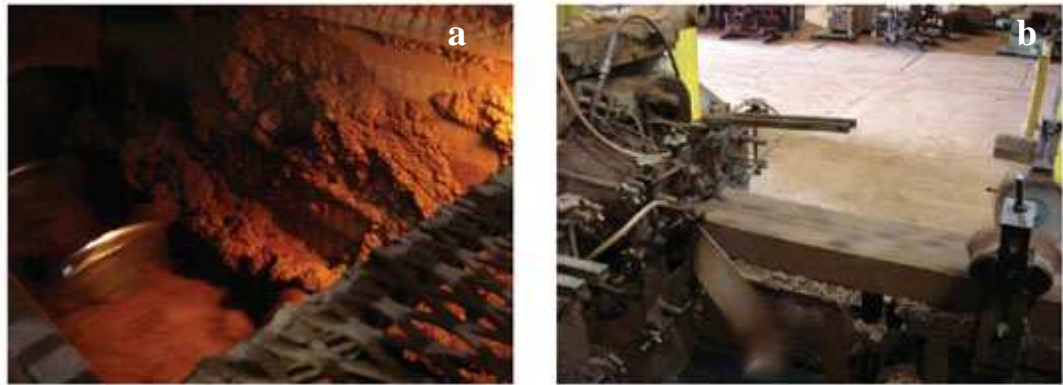
Resim 3.1 Hammaddenin nakledilmesi [İnternet-3, 2006]

Hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi için önce öğütme işlemi yapılmalıdır. Hammaddenin homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için iyice ufalanması ve ince partiküller halini alması gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli makinelerle içindeki iri taşlar, çöpler ayıklanmakta (taş ayırıcı, vals, kollergang, vb.) ve istenilen tane çapına kadar öğütülmektedir. Ayrıca homojen bir kil hamuru elde etmek için kilin yeterli miktarda su ile birlikte ezilmesi ve karıştırılması gerekmektedir (Resim 3.2 (a)). Kile su ilave edildiğinde plastiklik bir miktar artmaktadır. Su ilavesi öğütme öncesinde yapılabildiği gibi öğütme sonrasında da yapılabilmektedir [Orhun, 1964; DPT, 2001].

Bir kili plastikleştirmek için gerekli su miktarı kilden kile farklılık göstermektedir. Kil tipine bağlı olarak kurutmada alınacak su miktarı kütlece % 10 - % 40 arasında olmalıdır. Yüksek plastikliğe sahip killer, düşük plastikliğe sahip iri taneli killere göre daha uzun zamanda kurumakta ve bu killerin kuruma küçülmesi de yüksek olmaktadır. Kuruma dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir [Uz ve ark., 2008].

Dinlendirme, hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Üretilen malzemenin kalitesini etkileyen çok önemli bir unsurdur. Killerin tiksotropik özellikleri dolayısıyla yoğrulmuş çamurun dinlenme esnasında direnç kazanması söz konusudur. Dinlendirme işlemi öğütme işlemlerinden önce veya sonra yapılabilmektedir [Orhun, 1964; DPT, 2001].

Tuğlalar, Resim 3.2.'de gösterildiği gibi kilin su ile karıştırılmasının ardından şekillendirilmekte [İnternet-3, 2006] ve Resim 3.3.'de gösterildiği gibi ekstrüzyondan çıkartılarak istenilen boyutlarda pişirme işleminden önce kesilmektedir [İnternet-4, 2006].



Resim 3.2 (a) Kilin su ile karıştırılması, (b) Tuğlanın ekstrüzyonda şekillendirilmesi [İnternet-3, 2006]

Şekillendirilen tuğlaların, pişirme öncesi belirli bir mukavemet kazanmaları ve pişirme sırasında şekil değiştirme (rötire) ve çatlamayı engellemek için kurutulması gerekir. Kurutma işlemi normal atmosferik şartlarda doğal olarak yapılabileceği gibi,

sıcaklığın ve nemin kontrol altında tutulabildiği özel kurutma odalarında da yapılabilir [Şişman, 2006].



Resim 3.3. Ekstrüzyonda tuğla üretimi ve kesilmesi [İnternet-4, 2006]

Kurutma, kil içinde mevcut ve şekillendirmeye uygun plastik hale getirmek için katılan suyun değişik yöntemlerle bünyeden çıkarılma işlemidir. Kil ürünleri çok hızlı kurutulmaları halinde deformasyonlara ve çatlamalara maruz kalır. Buharlaşma nedeniyle nem konsantrasyonundaki değişimler ve bünyenin suyu uzaklaştıkça çekme değişkenliği yaş üründe gerilimlere neden olmaktadır [Uz ve ark., 2006]. Bu nedenle pişirme işleminden önce istenilen boyutta kesilen tuğlalar kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Ardından pişirme işlemi fırınlarda gerçekleştirilmektedir (Resim 3.4) [İnternet-3, 2006].

Tuğla gibi duvar elemanlarının özellikleri ile ilgili birçok bilgi bulunmasına rağmen henüz bazı özellikleri tam olarak bilinmemektedir. Tuğlanın hammaddesi olan kil mineralinin sinterleşerek tuğlanın durabilitesini ve dayanıklılığını artırması amacıyla yapılan pişirme işlemi sonucunda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda tuğla bünyesinde camlaşma oluşumunun başladığı gözlenmiştir [Karaman ve ark., 2006; Chidiac ve Federico, 2007].



Resim 3.4. Tuğlaların pişirilmesi [İnternet-3, 2006]

Piştirme prosesi, kil tanelerini birbirleriyle bağ yapacak şekilde sinterlemektedir. Piştirme süresince, kuartz, feldispat, kalsit, dolomit ve hematit gibi mineraller seramik ürünlerin nihai özelliklerini belirleyen bir seri dönüşümler meydana getirir. Sinterleme sürecinde yüksek enerji gereksinimlerinden dolayı tuğla bünye içerisine katılan katkılar ergitici olarak adlandırılmakta ve sinterleme için gerekli olan sıcaklığı düşürmektedir. Sinterleme sıcaklığını düşürmek amacıyla Na_2O ve CaO içeren katkılar kullanılabilir. Sinterleşme, şekillendirilip kurutulmuş tuğla hammaddesinin erimeye yakın duruma kadar pişirilmiş halidir [Bayat ve Bayat, 1998; Jordan ve ark., 2001; Chidiac ve Federico, 2007; TS 4562, 1985].

Sinterleme ayrık taneciklerin yapışkan bir kütle içinde bağlanmasıdır. Bu işlem tane sınırlarının fiziksel olarak yeniden düzenlenmesi anlamına gelir. Seramik malzemelerde atomları sınırlarından ayıracak ve farklı bir bölgeye taşıyacak yeterli enerji olmazsa kütle hareket edemez.

Bu hız üç önemli değişken tarafından belirlenir. Bunlar;

- Süre: sinterleme üzerinde doğrusal bir etkiye sahiptir. Sinterleme süresine paralel olarak sinterleme miktarı gerçekleşir.
- Tane boyutu: sinterleme miktarı üzerinde ters bir güç ilişkisine sahiptir. Ortalama tane boyutunun küçülmesi ile gerekli sinterleme süresi azalacaktır.

- Sıcaklık: sinterlemeyi üstlü olarak etkiler. Sıcaklıktaki küçük bir değişiklik sinterleme üzerinde çok büyük oranda bir etkiye yol açacaktır [Pilko, 2000].

Piştirme sırasında, fırın oksijeni yetersiz ve piştirme hızı yüksek ise vitrifikasyon başladığı halde iç kısımda yanmamış organik maddeler olabilir. Dış kısım vitrifiye olduğu için içeriye oksijen giremez, böylelikle içerde oluşan CO₂ gazları dışarı çıkamaz. Bunun sonucu olarak şişme meydana gelir. Eğer şişme oluşmıyorsa siyah merkezileşme olur. Bu da iç kısmın dolayısı ile tuğlanın gevrekleşmesine neden olur [Köseoğlu, 2007].

Kilin kimyasal ve yapısal modifikasyonu piştirme süresince tuğlanın durabilitesini ve mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Tuğlanın fiziksel ve kimyasal özellikleri kil malzemesinde bulunan minerallerin özellikleriyle ve ısı yoğunluklarıyla belirlenir. Kil tuğlaları yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında kilde havaya karşı dayanım kazandıran durabil hale getiren ve kalıcı bir sertlik kazandıran bir grup kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Tuğlanın kalitesi temelde vitrifikasyon derecesine bağlıdır [Karaman ve ark., 2006].

Tuğla bünyeler her ne kadar kurutulsa da belirli bir miktar nem içermektedir. Nem miktarı en fazla % 2 olmaktadır. Fırının ön ısıtma bölgesinde ham tuğlanın bu nemi uzaklaştırılır. Bu durum fazla bir kuruma küçülmesine neden olmaz. Eğer çok fazla nem içeriği varsa hızlı kurutma çatlamalara neden olabilir. Kurutma sonrası kurutma fırını dışında atmosfer şartlarının değişken olması durumuna göre tuğla defalarca su absorplayıp daha sonra bu suyu bırakabilir. Bu durum iç kısımlarda mikro çatlaklara neden olur ve tuğlanın mukavemeti düşer.

Tuğla yapımında kullanılan killerin çoğu önemli miktarda organik madde içerir. Artan organik madde içeriği hızlı ısıtmada negatif etki oluşturur. Oksijen yetersizliğinden organik maddelerin tümü yanmaz ve siyah noktalar oluşur. Aynı zamanda üründe şişme de meydana gelebilir. Piştirme hızı arttıkça siyah nokta miktarı artar. Siyah noktalar temel olarak tuğlanın donma dayanımının azaltır ve

kullanım sırasında çiçeklenmeye neden olur. Siyah nokta oluşumunu engellemek için pişirme hızı ve bünye plastikliğinin azaltılması uygulanabilir.

Silikat tabakalarının kafes yapılarında bulunan su 450-650 °C arasında bünyeden uzaklaşır. Bu sıcaklıkta kil plastikliğini kaybeder ve yeni mineral oluşumuyla ilk pişirme safhası başlar. Ürün boyutsal kararlılık kazanır ve hava direnci artmaya başlar. 450-650 °C arasında ısıtma çok hızlı yapılırsa ani su çıkışı nedeniyle seramik bünyede çatlamlar meydana gelebilir. Düşey delikli tuğlada çatlaklar genellikle delikler arasında meydana gelir. TG'de gözlenen ağırlık kaybı DTA'da endotermik reaksiyon olarak gözlenir. Çünkü suyun buharlaşması için enerjiye ihtiyaç duyulur. Isıtma sırasında 573 °C'de α - β kuvars dönüşümü meydana gelir. Genleşme oranı kuvarsın tane boyu ve miktarına bağlıdır. Kuvars dönüşüm sıcaklığı çok hızlı geçilirse ani genleşme nedeniyle seramik bünyede gerilmeler ve bunun sonucu üründe çatlamlar meydana gelebilir [Ceylantekin, 2002].

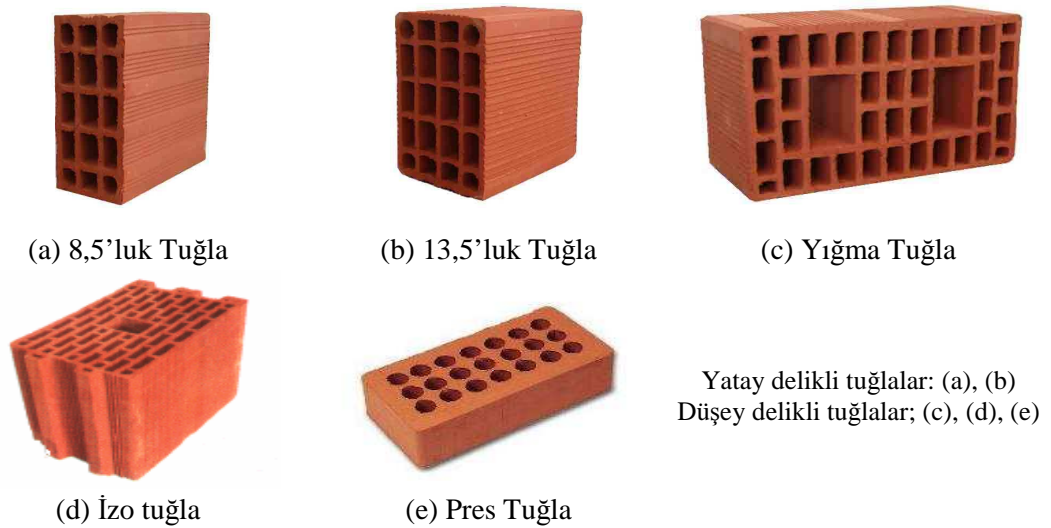
Yapı tuğlaları hem geleneksel yavaş süreli ve hem de hızlı pişirme yöntemi ile pişirilerek, mikro yapı ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta ürünlerin su emme değerleri her iki pişirme yönteminde de eşit olmuştur. Hızlı pişirme yöntemi eğilme mukavemetini artırmış, ancak birim hacim ağırlığı düşürmüştü, gözenek boyutlarını arttırmış, dona dayanımı ise iyileşmiştir. Pişme küçülmesi ve gözenek boyutu ayırımının karbonat içeriği ve kilin tane boyutuna bağlı olduğu görülmüştür. Hızlı pişirme yönteminde maksimum sıcaklıklar 50-100 °C daha fazla yükseltildiğinde geleneksel pişirme yöntemindeki ürün özellikleri elde edildiği gibi bu özellikler daha olumlu olarak gelişmiştir [Dondi ve ark., 1999].

Pişirme sırasında sıkça rastlanan camsı bir yapı ve ergime oluşur. Seramik yapı içerisindeki akıcılar veya safsızlıklar geride kalan katı ile reaksiyona girerek tane sınırlarında sıvı bir faz oluşturur. Sıvı, gözeneklerin yok edilmesine neden olur ve soğuma ile birlikte camsı yapıya dönüşür. Camsı fazın varlığı bağlayıcı olarak hizmet verir ve seramik bağlayıcısı olarak adlandırılır [Demir ve ark., 2008].

3.2. Tuğlanın Sınıflandırılması

İlgili Türk Standardına göre [TS EN 771-1, 2005]; iki grup pişirilmiş kil kâgir grubu uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Bu standartta tuğlalar LD ve HD birimler olmak üzere iki grupta tarif edilmiştir. Buna göre korunmuş kâgirde kullanım için tasarlanmış düşük birim hacim kütlelerine sahip olanlar LD kâgir birimler olarak adlandırılmıştır. LD kâgir birimler korunmuş (açık hava şartlarına maruz olmayan) kâgirde kullanılacak, kuru birim hacim kütlesi en fazla 1000 kg/m^3 olan kil kâgir birimleri kapsamaktadır. HD kâgir birimler ise korunmamış (açık hava şartlarına maruz olan) kâgirde kullanılacak kil kâgir birimlerin tamamını ve korunmuş kâgirde kullanılacak, kuru birim hacim kütlesi 1000 kg/m^3 'ten daha büyük olan kil kâgir birimleri kapsamaktadır.

TS EN 771-1'e (2005) göre, tuğlalar oturma yüzeyine dik doğrultuda, bir yüzden karşı yüze tamamen kat eden, tasarlanarak oluşturulmuş boşluk bulunuyorsa, düşey delikli tuğla; oturma yüzeyine paralel doğrultuda, bir yüzden karşı yüze tamamen kat eden, tasarlanarak oluşturulmuş boşluğa sahip ise yatay delikli tuğla adını alırlar (Resim 3.5).



Resim 3.5. Farklı tuğla örnekleri [İnternet-5, 2007; İnternet-6, 2007; İnternet-7, 2007]

Yatay delikli tuğlalar, brüt kuru birim hacim kütesine göre Çizelge 3.1’de, basınç dayanım değerlerine göre Çizelge 3.2’de verildiği gibi sınıflandırılırlar. Düşey delikli hafif tuğlaların ve normal tuğlaların sınıflandırmaları Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir [TS EN 771-1, 2005].

Çizelge 3.1. Yatay delikli (kil kagir birimlerin) tuğlaların sınıflarına göre brüt kuru hacim kütleleri [TS EN 771-1, 2005]

| Tuğla sınıfı | Brüt kuru hacim kütle değerleri (kg/m ³) | |
|--------------|--|-------|
| | En çok | En az |
| 1,0 | 1000 | 901 |
| 0,9 | 900 | 801 |
| 0,8 | 800 | 701 |
| 0,7 | 700 | 601 |
| 0,6 | 600 | 501 |

Çizelge 3.2. Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre basınç dayanımları [TS EN 771-1, 2005]

| Tuğla sınıfı | Basınç dayanımı N/mm ² (kgf/cm ²) | |
|--------------|--|----------------|
| | Aritmetik ortalama En az | En küçük değer |
| (7,5) | 7,5 (75) | 6,0 (60) |
| (5,0) | 5,0 (50) | 4,0 (40) |
| (2,5) | 2,5 (25) | 2,0 (20) |

Çizelge 3.3. Düşey delikli hafif tuğlaların brüt kuru hacim kütleleri ve basınç dayanımlarına göre sınıf ve tipleri [TS EN 771-1, 2005]

| Tuğlanın | | Basınç dayanımı | | Brüt kuru birim hacim kütesi | | Tuğlanın sembolü |
|----------|------|---|---|------------------------------|-------|------------------|
| Sınıfı | Tipi | Aritmetik ortalama En az N/mm ² (Kgf/cm ²) | En küçük değer N/mm ² (Kgf/cm ²) | En fazla | En az | |
| 0,7 | I | 3,0 (30) | 2,4 (24) | 700 | 601 | 0,7/30 |
| | II | 4,0 (40) | 3,2 (32) | | | 0,7/40 |
| 0,8 | I | 4,0 (40) | 3,2 (32) | 800 | 701 | 0,8/40 |
| | II | 5,0 (50) | 4,0 (40) | | | 0,8/50 |
| 0,9 | I | 5,0 (50) | 4,0 (40) | 900 | 801 | 0,9/50 |
| | II | 6,0 (60) | 4,8 (48) | | | 0,9/60 |
| 1,0 | I | 6,5 (65) | 5,2 (52) | 1000 | 901 | 1,0/65 |
| | II | 8,0 (80) | 6,4 (64) | | | 1,0/80 |

Çizelge 3.4. Düşey delikli tuğlaların birim hacim kütleleri ve basınç dayanımı değerleri [TS EN 771-1, 2005]

| Tuğla tipi | Basınç dayanımı | | Brüt kuru birim hacim kütlesi (kg/m ³) | |
|------------------------|---|---|--|----------|
| | Aritmetik ortalama N/mm ² (Kgf/cm ²) | En küçük değer N/mm ² (Kgf/cm ²) | En büyük | En küçük |
| 2000 kg/m ³ | 24,0 (240) | 19,0 (190) | 2000 | 1801 |
| | 18,0 (180) | 14,5 (145) | | |
| | 12,0 (120) | 9,5 (95) | | |
| 1800 kg/m ³ | 22,0 (220) | 17,5 (175) | 1800 | 1601 |
| | 18,0 (180) | 12,0 (120) | | |
| | 10,0 (100) | 8,0 (80) | | |
| 1600 kg/m ³ | 22,0 (220) | 17,5 (175) | 1600 | 1401 |
| | 15,0 (150) | 12,0 (120) | | |
| | 10,0 (100) | 8,0 (80) | | |
| 1400 kg/m ³ | 22,0 (220) | 16,0 (160) | 1400 | 1201 |
| | 12,0 (120) | 9,5 (95) | | |
| | 8,0 (80) | 6,5 (65) | | |
| 1200 kg/m ³ | 15,0 (150) | 12,0 (120) | 1200 | 1001 |
| | 10,0 (100) | 8,0 (80) | | |
| | 6,0 (60) | 4,5 (45) | | |

3.3. Tuğlada Kullanılan Katkılar

Özellikle gelişmiş ülkelerde kontrol edilemeyen atıkların artması gelişmiş ülkelerin çevresel ilgilerini arttırmıştır. Bu nedenle, çevreyi dostça kullanma popülaritesindeki artış ile yapı endüstrisindeki hafif yapı malzemelerinin, standartlarda belirtilen malzeme niteliklerini sağlayarak çevreye faydalı olarak kullanılabilirliği yönündeki araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır [Turgut, 2007].

Günümüzde çevreye dost malzemelerin kullanımı, geri dönüşümü ve enerji tasarrufu önemli çalışma alanlarını oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapılarda kullanılan tuğlalardan bu beklentileri karşılamaya yönelik ısı iletkenlik yeteneklerinin olumlu yönde gelişmesi beklentisi doğmuştur [Demir, 2008].

Tuğlaların yalıtım kapasitesini arttırmanın bir yolu, kil bünyede porozite oluşturmaktır. Organik katkılar kil bünyede porozite oluşturmak amacıyla çok sık

tercih edilen katkı malzemelerinin başında gelmektedir. Tuğla üretiminde kullanılan organik atıklar bünyenin yoğunluğunu etkileyerek termal iletkenlik üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Tuğla içerisinde gözeneklerin oluşumunu sağlayan malzemeler organik ve inorganik olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Testere talaşı, polistren, kağıt atığı, kömür ve çeltik kavuzu gibi malzemeler organik; Perlit, diatomit, kalsit, pomza ve vermikülit gibi malzemeler ise inorganik (mineral) malzemelerdir [Demir, 2008].

Enerji, yüksek ısı dirençli malzemelerle yapılarda saklanabilir. Ayrıca ateş dayanımı ve taşıma kapasitesi de gereklidir. Günümüzde bu kriterlere göre en uygun malzeme tuğladır fakat günümüzde yapılar için daha hafif malzemeler gereklidir. Bilindiği gibi kil ile geliştirilmiş perlit karıştırılarak yüksek ısı yalıtımlı bir yapı malzemesi olarak kullanılabilirler. Bu tuğlalar; gözenekli, hafif, ateşe dayanıklı, ses ve ısı yalıtım özellikleri ile nem tutan bir malzeme özelliği kazanmaktadır. Yalıtım amaçlı tuğlaların yapımında geliştirilmiş perlit filler malzeme olarak yada harç malzemesi olarak kullanılabilir [Topçu, 2007].

Hammaddedeki karbonat içeriğinin temelde Ca ve Mg'un tamamen silikatlaşmasından dolayı bazı avantajlar getirdiği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada karbonat atığı tuğlalarda dayanımı ve su emme oranını geliştirmek amacıyla kullanılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bir başka çalışmada ise tuğlanın termal özelliklerini geliştirmek amacıyla alkali-karbonat karışımı kullanılmıştır [Saboya ve ark., 2007].

Monteiro ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada yağ atıklarını tuğla bünye içerisine % 5'e kadar değişen oranlarda katarak kil tuğlaları üretmişlerdir. Yağ atıkları ile kırmızı seramiklerin birleştirilmesinin ardından yapıda küçük barit ($BaSO_4$) partikülleri varlık göstermiştir. Bununla birlikte bu partiküllerin miktarının fazla ve silikat matriksin etrafında yoğun olduğu fakat $BaSO_4$ 'ün tuğla dayanımına çok etkili olmadığı da ileri sürülmüştür [Monteiro ve ark., 2007].

Okongwu (1988), tarafından yapılan bir çalışmada ise kompozit tuğlaların üretimi sırasında kullanılmış motor yağı katkıları kullanarak kil tuğlaları üretilmiştir. Üretilen örnekler öncelikle kurutulmuş ve daha sonra 950 °C'de pişirilmiştir. Yağ katkısının tuğla özelliklerine herhangi bir katkı yapmadığı belirtilmiştir [Okongwu, 1988].

Mekki ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada zeytinyağı değirmen atık suyunu tuğla üretiminde kullanılan taze su ile değiştirerek tuğla üretimi yolunu seçmişlerdir. Yapılan bu çalışmada atık suyun kullanıldığı tuğlalar ile normal suların kullanıldığı tuğlaların şekillenme özelliklerinin benzer olduğu ortaya çıkmıştır. Kurutma işleminin ardından yağ atık sularının çoğunun buharlaşma yoluyla serbest kaldığı da belirtilmiştir [Mekki ve ark., 2006].

Atık su arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinin pişirme esnasında yakıt tasarrufu sağladığı, metal içeriğinin de çamur ile tuğla seramiği arasında bir bağ oluşturduğu tespit edilmiştir. Atık su çamurunun ağırlıkça maksimum % 40 oranında tuğla içinde kullanılabilceğini belirtilmiştir. Bayat ve Bayat (1998)'in, konu ile ilgili olarak, çimento atık su arıtma tesisi çamuru ile yaptıkları çalışmalar sonucunda elde ettikleri bulgular şunlardır;

- Çamur katkılı tuğlaların yüzey görünüş, şekil ve renk açısından referans tuğlaları ile arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.
- Çamur katkılı tuğlaların, toplam küçülme değerleri referans tuğlalarına kıyasla yaklaşık 2-3 kat daha fazladır.
- Çamur katkılı tuğlaların daha fazla gözenekli yapıya sahip olması nedeni ile su emme değerleri referans tuğlalarına kıyasla yaklaşık % 18-55 daha fazladır.
- Çamur katkılı tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri referans tuğlalarına kıyasla daha azdır. Bu özellik, taşımada bir avantaj olarak görülebilir. Ayrıca daha fazla gözenekli yapı içermesinin de ısı yalıtımında bir avantaj sağlayacağı söylenebilir.

- Çamur katkılı tuğlaların basınç dayanımları tuğla içinde maksimum % 20 çamur oranına kadar TS EN 771'de belirtilen standart değerler içinde kalmaktadır.
- Zararlı manyezi ve kireç deneyi sonrası çamur katkılı tuğlaların basma dayanımları TS EN 771'de öngörülen normal basınç dayanımının % 85'inden daha az olmaması özelliğini sağlamaktadır [Bayat ve Bayat, 1998].

Liew ve ark. (2004), tarafından kanalizasyon çamuru, tuğla üretiminde kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, tuğla bünye içerisine ağırlıkça, % 10'dan % 40'a kadar değişen oranlarda kanalizasyon çamuru katkısı yapılmıştır. Çamur katkılı kil tuğlaların yüzeylerinde ve dokusunda normal kil tuğlalarına göre biraz daha fazla bozukluk tespit edilmiştir. Kimyasal ve fiziksel özellik olarak, % 40'a kadar kanalizasyon çamuru içeren tuğlalar konu ile ilgili standartları karşıladığı belirtilmekle birlikte tuğlalarda atık oranı % 30'u aşması durumunda kullanılmamaları tavsiye edilmektedir. Bunun sebebi olarak elle hafifçe dokunulduğunda bile kolayca kırılabilirdikleri belirtilmiştir. Doğal çamurlu tuğlalar görüntünün ön planda olduğu yerlerde kullanılmamak kaydı ile gerekli görülen yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir [Liew ve ark., 2004].

Balgaranova ve ark. (2003), tarafından yapılan başka bir çalışmada ise çamur kil bünye içerisine % 10 oranında katılmış ve iki farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Pişirme işleminin ardından su emme, eğilme dayanımı, görünür yoğunluk, görünen porozite, pişme küçülmesi ve toplam küçülme testleri gerçekleştirilmiştir. Su emme değerleri pişme sıcaklığının artmasıyla azalırken katkı miktarının artmasıyla birlikte artmaktadır. Tuğla bünyesinde bulunan çamurun miktarı arttıkça karışımın yapışkanlığı artarken, tuğlanın porozite boyutları ve böylelikle tuğlanın su emme oranları artmıştır [Balgaranova ve ark., 2003].

Weng ve ark. (2003), çalışmalarında kuru çamuru, tuğla bünye içerisine % 40'a kadar değişen oranlarda katmıştır. Örnekleri, 880-1000 °C'de olmak üzere dört farklı sıcaklıkta pişirmiş ve bunun sonunda atık miktarının artmasıyla su emme oranlarının arttığını (%5-45), pişirme sıcaklığı arttığında ise su emme oranlarının azaldığını

(%20-50) tespit etmiştir. Normal tuğlaların yoğunluk değerleriyle (1,8-2,0 gr/cm³) katkılı örneklerin yoğunlukları kıyaslandığında, katkılı örneklerin 880 °C'de pişen ve % 40 katkılı örneklerinde 1,0 gr/cm³'e kadar düştüğü belirtilmiştir. Pişme küçülmesi ise katkı miktarının ve pişirme sıcaklığının artmasıyla artmıştır (%7-22) [Weng ve ark., 2003].

Demir (2006), tarafından yapılan bir çalışmada, atık çaylar ile tuğla üretilmiş ve bu örneklerin durabilitesi ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. İşlenmiş çay atıklarının organik doğal yapısından dolayı bünye içerisinde gözenek oluşumu ve bağlayıcılık özellikleri araştırılmıştır. Örneklerin üretimi sırasında ise işlenmiş çay atıkları % 0, 2,5 ve 5 olmak üzere kil bünye içerisine katkı yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ise katkılı örneklerin pişirilen ve pişmemiş örneklerinde basınç dayanımlarında olumlu artışlar olduğu ve bünyede herhangi bir çatlak ve kırılmalar olmadığı gözlenmiş ve bu atıkların tuğla üretiminde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır [Demir, 2006].

Başpınar ve Demir (2004), tuğla bünyesinde gözenek oluşturmak amacıyla haşhaş katkılı tuğla çalışmaları yapmışlardır. Haşhaş miktarı kil bünye içerisinde arttırıldıkça plastiklik için gerekli olan su miktarında azalmalar gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak ise haşhaş tohumu içinde yüksek oranda yağ içeriğinin bulunması ve diğer organik maddelerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, % 10'a kadar yapılan katkıların tuğla örneklerin özelliklerini olumlu biçimde geliştirdiği ve bu malzemenin kullanımı ile tuğlanın ısı iletkenliğine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Pişirme sırasında bünyede kalan külün koku salması haşhaş tohumunun önemli bir dezavantajı olduğu da belirtilmiştir [Başpınar ve Demir, 2004].

Okongwu (1988), yaptığı deneyler sonucunda % 2'ye kadar katılan talaş tozu katkısının; tuğla örneklerinin basınç mukavemetini, su emme oranını ve yoğunluk özelliklerini geliştirdiği fakat bu limitin üzerine çıkıldığında ise tuğla özelliklerine zarar verdiği bu zararlarında basınç mukavemetinde azalmalara ve su emme oranlarında ise artışlara yol açtığını bildirmiştir [Okongwu, 1988].

Elinwa (2006), yakılmış talaş tozu küllerinin tuğlalarda gösterdiği özellikleri belirlemek amacıyla yaptığı deneysel çalışma sırasında katkı tuğlaları; 200, 600 ve 1200 °C'de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta pişirmiş ve daha sonra sırasıyla 1, 4 ve 8 gün boyunca örneklerin kür işlemlerini gerçekleştirmiştir. Kür etmekteki amacı kireçtaşının kirece dönüşmesini gerçekleştirmektir.

Örneklerin basınç mukavemetleri katkı miktarı arttıkça azalma göstermiş ve maksimum basınç mukavemet değeri % 10 atık katkı örneklerin 600 derecede pişirilen ve 1 gün süreyle kür edilen örneklerinden elde edilmiştir. Basınç mukavemet değerlerine alümin ve müllit miktarının çok az etki yaptığı da belirtilmekle birlikte örneklerin su emme değerleri atık miktarının artmasıyla birlikte artmış fakat standartlarda belirtilen değerlerin içinde kalmayı başarmıştır. Bununla birlikte atık ilavesinin tuğlanın büzülme etkilerini azalttığı da belirtilmiştir [Elinwa, 2006].

Demir (2007) tarafından yapılan bir başka çalışmada, tuğla özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kil bünye içerisine, % 2,5, 5 ve 10 oranlarında talaş tozu, tütün ve çimen malzemelerini katkı olarak ilave etmiştir. Tuğla üretiminde kullanılan killerin plastikliği incelendiğinde, kil bünye içerisine yapılan atık oranlarının artmasıyla birlikte plastiklik oranlarının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte tuğlaların diğer teknolojik özellikleri katkı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Organik malzemelerin katkı oranının artması ile birlikte tuğla örneklerin fiziksel özelliklerinde de değişimler meydana gelmiştir. Bulk yoğunluk ve görünür yoğunluk değerleri katkı miktarı ile ters orantılı olarak azalırken, porozite ve su emme oranları ise doğru orantılı olarak artmıştır. Basınç mukavemet değerleri açısından ise katkı miktarının artması basınç mukavemet değerlerini şahit numuneye oranla düşürmekte ve talaş tozu katkısı diğer organik katkılara oranla bünyede daha iyi bir dayanım gelişmesine imkan vermesine rağmen % 10 katkı örneklerin basınç mukavemeti, referans tuğlanın basınç mukavemet değerini neredeyse % 40 oranında azaltmıştır [Demir, 2008].

Demir ve ark. (2005), tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise kağıt atıkları tuğla bünye içerisine % 10'a kadar değişen oranlarda ilave edilmiştir. Yapılan alışma sonucunda atık oranının artmasıyla; plastiklik suyu (%30-40) ve kuruma küçülmesi artmıştır (% 4,4-5,2). Katkı miktarı arttıa porozite ve su emme oranlarında artış meydana gelirken, basınç mukavemet değerlerini düşürdüğü fakat TS EN 771'de istenilen basınç mukavemet değerlerini karşıladığı belirtilmiştir [Demir ve ark., 2005].

Friaa ve ark. (1986), tarafından yapılan bir çalışmada tuğla yapımında zeytinyağı değerimen atık suyu katkısı kullanılmıştır. Ancak zeytinyağı değerimen atık suyunda bulunan katı içeriği nedeniyle tuğlanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir [Mekki ve ark., 2006].

Segadaes ve ark. (2005), kırmızı kil tuğla yapımı sırasında karışıma % 30'a kadar yeterli inceliğe kadar öğütölmüş ve düşük demir minerali içeren mermer ve granit atıklarının kil ile karıştırılarak tuğla üretiminde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir [Segadaes ve ark., 2005].

Menezes ve ark. (2005), granit artıklarının kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada tuğla üretimi amacıyla kil ile granit artıklarını karıştırmışlardır. Çalışma sonucunda tuğla bünyesinde, granit atıklarının geleneksel seramik hammaddeleri ile benzer özellikler gösterdiği ve fiziksel ve mineralojik açıdan tuğlaların aynı özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir [Menezes ve ark., 2005].

Freire ve Mota (1997), mermer ve granit artıklarını pişmiş kil tuğlası karışımında kullanmış ve tuğlanın mekanik özelliklerinin çok etkili bir şekilde geliştiğini saptamışlardır.

Bozadgiev (1996), kiremit ve tuğlanın dayanım ve su emme özelliklerini geliştirmek amacıyla karbonat atığı kullanmış ve olumlu sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir. Balint ve Mattyasovszky-Zsolnay (1982), karışımlarda alkali-karbonat karışımını tuğlanın termal özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanmıştır [Saboya ve ark., 2007].

Michael (1994), tarafından yapılan bir çalışmada kil tuğlayı stabil bir bünye yapmak için çeltik kavuzu katılarak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada % 0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 10 oranında pirinç kabuğu bünyeye katılmıştır. Tuğlalardan bir örnek grup yaklaşık 3-4 saat süresince 1005 °C'de pişirilmiştir. Çalışma sonucunda ise katkı miktarının basınç mukavemetini azalttığı ve katkılı tuğlaların katkı miktarının artmasıyla birlikte daha hafif olduğu belirlenmiştir. Mbiminah (1992), tarafından yapılan başka bir çalışmada ise çeltik kavuzu katkısıyla tuğlaların basınç mukavemetlerinin azaldığı ve su emme oranlarının da arttığı belirtilmiştir [Oyetola ve Abdullahi, 2006].

Kağıt atıkları tuğla yapımı için uygun kaolen ve kireç içermektedir. Ayrıca lifli yapıda oldukları için kurutma sırasında yapıya destek sağlarlar (Junge, 1999) [Ceylantekin, 2002]. Buna ilaveten % 30'a kadar kil bünyeye yapılan kağıt atık katkısının tuğla örneklerde ısı iletkenlik katsayılarını azalttıkları da belirtilmiştir [Sütçü ve Akkurt, 2009].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kullanılan Malzemeler

Örneklerin hazırlanmasında kullanılan kil ve çeltik kavuzu Çorum ilinden temin edilmiştir. Kullanılan kil malzemesi özel işletmeli bir tuğla fabrikasında, üretime hazır bulunan kil yığınınından alınmıştır. Kil malzemesinin yoğunluğu $2,63 \text{ gr/cm}^3$; öğütülmüş çeltik kavuzunun yoğunluğu ise $1,74 \text{ gr/cm}^3$ dür.

Katkı malzemesi olan çeltik kavuzu, ham çeltik kavuzu (HÇK) ve öğütülmüş çeltik kavuzu (ÖÇK) olmak üzere iki farklı şekilde kil malzemesine eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Kullanılan malzemeler Resim 4.1’de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Kullanılan malzemeler; kil, öğütülmüş çeltik kavuzu (ÖÇK), ham çeltik kavuzu (HÇK)

4.2. Örneklerin Hazırlanması

Örneklerin üretiminde kullanılan malzemeler, öncelikle etüv kurusu ağırlığa gelinceye kadar, 200 lt hacme sahip etüvde $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur. Ardından karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla malzemelerin yoğunluk değerleri

belirlenmiştir. Bu amaçla malzemeler çelik bilyeli değirmende (Resim 4.2), tane boyutu maksimum 250 mikron inceliğe gelinceye kadar öğütüldükten sonra yoğunlukları hesaplanmıştır. Örneklerin üretimi için hazırlanan karışımlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kil malzemesine çeltik kavuzu (ÇK) ikame yoluyla ve hacimsel olarak, öğütülmüş (T5, T10, T15) ve ham halde (TH5, TH10, TH15) olacak şekilde ilave edilmiştir.

Çizelge 4.1. Örneklerin karışım oranları (1000 gr)

| Örnek grubu | Hacim (cm ³) | | Ağırlık (gr) | | | Hacimsel Oran (%) | |
|-------------|--------------------------|----|--------------|----|--------|-------------------|----|
| | Kil | ÇK | Kil | ÇK | Toplam | Kil | ÇK |
| T0 | 380 | - | 1000 | - | 1000 | 100 | - |
| T5 | 361 | 19 | 950 | 33 | 983 | 95 | 5 |
| T10 | 342 | 38 | 900 | 66 | 966 | 90 | 10 |
| T15 | 324 | 56 | 850 | 99 | 949 | 85 | 15 |
| TH5 | 361 | 19 | 950 | 33 | 983 | 95 | 5 |
| TH10 | 342 | 38 | 900 | 66 | 966 | 90 | 10 |
| TH15 | 324 | 56 | 850 | 99 | 949 | 85 | 15 |



Resim 4.2. Çelik bilyalı değirmen

Karışımların hazırlanması sırasında kullanılan kil malzemesi ve ÖÇK, tane boyutu maksimum 1 mm inceliğe gelinceye kadar öğütülmüştür. Ham olarak kullanılan çeltik kavuzu ise hiçbir öğütme işlemine tabi tutulmadan ve kuru olarak karışımlarda kullanılmıştır.

Karışımlar kuru halde 15 dakika boyunca homojen bir dağılıma sahip olmaları amacıyla karıştırılmıştır. Ardından, karışımlara belirli oranlarda su ilave edilerek

yoğrulmuştur. Her bir örnek grubu için hazırlanan tuğla çamurları plastiklik özelliklerinin artırılması amacıyla hava ile temas etmeyecek şekilde poşetlenerek dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlendirilen tuğla çamurları, Resim 4.3'deki laboratuvar tipi ekstrüzyon kullanılarak 6 bar basınç altında, 40 x 70 x 50 mm³ boyutlarında (Resim 4.4) şekillendirilmiştir.



Resim 4.3. Laboratuvar tipi ekstrüzyon

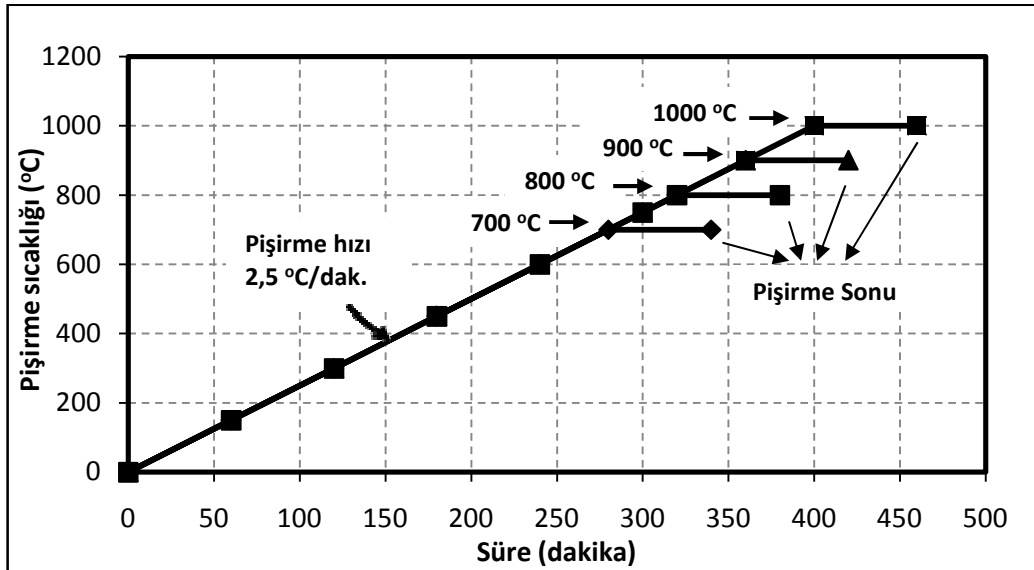


Resim 4.4. Ekstrüzyonda şekillendirilen tuğlalar

Tuğla örneklerin pişirme işlemlerinde, 500 lt hacimli ve 1200  C pişirme kapasitesi bulunan laboratuvar tipi elektrikli fırın kullanılmıştır (Resim 4.5). Örnekler dört farklı sıcaklıkta (700, 800, 900 ve 1000  C) pişirilmiştir.



Resim 4.5. 1200  C pişirme kapasitesi bulunan laboratuvar tipi elektrikli fırın



şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerinin pişirme rejimi

Piştirme rejimi olarak 2,5 °C/dakika uygulanmış olup son sıcaklıklarda örnekler bir saat bekletildikten sonra fırın kapatılmıştır. Piştirilen örnekler fırın içerisinde soğumaya bırakılmış ve fırın iç sıcaklığı, oda sıcaklığına ulaştığında (+25 °C) örnekler fırından alınmıştır. Örneklerin piştirme rejimleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

4.3. Uygulanan Deneyler

4.3.1. Mineralojik, kimyasal ve termal analizler

Kullanılan kil malzemesinde bulunan oksitlerin belirlenmesi amacıyla yarı kantitatif kimyasal analizi, XRF yöntemi kullanılarak Afyon Kocatepe Üniversitesi (A.K.Ü.), Müh. Fak., Maden Mühendisliği Laboratuvarında bulunan RIGAKU / ZSX PRIMUS II marka XRF cihazında yapılmıştır.

Kil malzemesinde bulunan kristal fazların belirlenmesi amacıyla A.K.Ü., Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan X-ışınları difraktometresi kullanılarak XRD analizi gerçekleştirilmiştir (Schimadzu XRD-6000, Cu K_α: 1,54060 Å).

ÇK ve kil hammaddesinin termal değişimlere olan tepkilerinin gözlenmesi, bu malzemelerin hangi sıcaklıklarda ve ne oranda termal reaksiyonlar gerçekleştirdiğini belirlemek ve termal duyarlılıklarının belirlenebilmesi amacıyla Orta Doğu Teknik Üniversitesi (O.D.T.Ü.), Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezinde bulunan Setaram Labsys Simultaneous DTA/TG cihazında, 25 °C – 1000 °C sıcaklık aralığında, 5 °C/dakika ısıtma hızında ve hava ortamında DTA/TG analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.3.2. Atterberg limitlerinin belirlenmesi

Tuğla üretiminde kullanılacak olan karışımların limit değerlerinin belirlenmesi amacıyla, 40 nolu elekten geçen malzemedan en az 200 gr ağırlığında numune alınarak bir kap içerisine konulmuştur. Üzerine damıtık su ilavesi yapılarak homojen bir hamur durumuna gelene kadar karıştırılmıştır. Hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından su ilavesi yapılarak

Casagrande aletinde saniyede 2 devirlik hızla krank kolu çevrilmiş ve iki yanda kalan malzeme, açılan oluğun dip kısmında 13 mm boyunca birbirine değene kadar kap kaldırılıp düşürülmüştür. Bu duruma gelene kadarki düşüş sayısı kayıt edilmiştir. Her denemede elde edilen su içeriğine karşı düşüş sayısı, yarı logaritmik bir kâğıda, su içeriği değerleri ordinat eksenini boyunca düşüş sayısı ise logaritmik olarak apsis eksenini boyunca işaretlenmiştir. Elde edilen noktalara en iyi uyan doğrunun çizilmesiyle elde edilen “akış doğrusu” üzerinde 25 düşüş karşısındaki su içeriği örneğin likit limitini vermiştir. Likit limit (LL), karışımın plastik halden likit hale geçtiği su içeriği değeridir.

Plastiklik limit için, limit deneyi için başlangıçta hazırlanan numuneden ayrılan bir kısım yoğrularak top şeklindeki numune silindirik bir makarna şeklini alana değin cam plaka ile el ayası arasında yuvarlanmıştır. Numunenin çapı 3 mm’ye düştüğü anda dağılan numunenin parçaları toplanmış ve etüvde kurutulmuştur. Numunedeki su içeriği karışımın plastiklik limit değerini vermiştir. Plastik Limit (PL), karışımın plastik halden katı hale geçtiği su içeriği değeridir. Plastisite İndisi (PI) ise karışımın plastik davranış gösterdiği su içeriği alanıdır. Rakamsal olarak likit limit değeri ile plastik limit değeri arasındaki farktır. Karışımların PI değerleri Eş. 4.1 yardımıyla belirlenmiştir [İnternet-8, 1998].

$$PI: LL-PL \quad (4.1)$$

4.3.3. Plastiklik suyu, kuruma küçülmesi ve toplam doğrusal küçülme deneyi

Şekillendirilen örnekler öncelikle laboratuvar ortamında ardından etüvde + 55 °C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından önceden seçilen örneklerin uzunluk ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilerek, her bir örnek grubuna ait kuruma küçülmesi ve plastiklik suyu değerleri ile örneklerin pişirilmesinin ardından elde edilen toplam doğrusal küçülme oranları TS 4790’a [TS 4790, 1986] göre, Eş. 4.2 – 4.4 kullanılarak belirlenmiştir. Değerler, her bir örnek grubu için beş örneğin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

$$\text{Plastiklik suyu (\%)} = \frac{W_y - W_k}{W_k} \times 100 \quad (4.2)$$

Burada;

W_y : Numunenin yaş ağırlığı (gr),

W_k : Numunenin kuru ağırlığı (gr)'dir.

$$\text{Doğrusal kuruma küçülmesi (\%)} = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\text{Toplam doğrusal kuruma küçülme (\%)} = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100 \quad (4.4)$$

Burada;

L_p : Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm),

L_d : Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm),

L_f : Deney numunesinin pişmiş uzunluğu (mm)'dir.

4.3.4. Kızdırma kaybının belirlenmesi

Tuğlanın pişirme işlemleri sırasında bünyesinde meydana gelen ağırlık kaybı, kızdırma kaybı olarak tanımlanmaktadır. Örneklerin kızdırma kaybı oranları, pişirme işleminden önce ve pişirme işleminden sonra elde edilen ağırlık tartımlarına göre Eş. 4.5 yardımıyla belirlenmiştir.

$$\text{Kızdırma kaybı (\%)} = \left(1 - \left(\frac{W_p}{W_k} \right) \right) \times 100 \quad (4.5)$$

Burada;

W_p : Numunenin pişmiş ağırlığı (gr),

W_k : Numunenin kuru ağırlığı (gr)'dir.

4.3.5. Porozite, yoğunluk ve su emme değerlerinin belirlenmesi

Örneklerin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pişirilen örnekler su tankına yerleştirilmiş ve 24 saat süreyle su içerisinde bekletilmiştir. Örnekler su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları (W_2) ve suya doymun yüzey kuru ağırlıkları (W_3) belirlenmiştir. Ardından ilgili örnekler etüvde değişmez ağılığa gelinceye kadar kurutulmuştur (W_1).

Bu değerler yardımıyla örneklerin görünen porozite, net birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri TS EN 772-4'e [TS EN 772-4, 2000], su emme değerleri ise TS EN 771-1'e [TS EN 771-1, 2005] göre aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla (Eş. 4.6 – 4.9) hesaplanmıştır. Değerler, her bir örnek grubu için on örneğin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan bazı tuğlalar Resim 4.6'da gösterilmiştir.



Resim 4.6. Deneylerde kullanılan tuğla örnekleri

$$\text{Görünen porozite (\%)} = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \right) \times 100 \quad (4.6)$$

$$\text{Net birim hacim ağırlık (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_1}{W_3 - W_2} \right) \quad (4.7)$$

$$\text{Görünür yoğunluk (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_1}{W_1 - W_2} \right) \quad (4.8)$$

$$\text{Su emme (\%)} = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_3} \right) \times 100 \quad (4.9)$$

Örneklerin, ilk su emme hızı ve kapiler su emme katsayılarının belirlenmesi amacıyla her bir örnek grubundan seçilen altı adet numune üzerinde parafin ile örneklerin yüzeylerine tecrit işlemi yapılmıştır. İlk su emme hızı deneyinde t, bir dakika olarak alınmıştır.

Kapiler su emme hızı deneyinde ise; 1., 4., 9., 16. ve 25. dakikalarda ölçümler yapılarak bu örneklerin deneyleri ve hesaplamaları, TS EN 772-11 [TS EN 772-11, 2002] nolu standarda göre aşağıda verilen eşitlikler (Eş. 4.10 – Eş. 4.11) kullanılarak belirlenmiştir.

İlk su emme hızı;

$$C_{wi,s} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{dak.}} \right] = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s t} \times 10^3 \quad (4.10)$$

Kapiler su emme katsayısı;

$$C_{w,s} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \times \text{t}^{0,5}} \right] = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \quad (4.11)$$

Kâgir birimlerde, suya temas etme süresinin kareköküne karşılık gelen $\frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s}$ değerleri işaretlenerek grafik çizilir. Grafiğin başlangıçtaki doğrusal parçasının eğimi olarak $C_{w,s}$ hesaplanmıştır.

Burada;

$C_{wi,s}$: İlk su emme hızı [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{dak.})$],

$C_{w,s}$: Kapiler su emme katsayısı [$gr/(m^2 \cdot t^{0.5})$],

$m_{dry,s}$: Deneş numunesinin kurutma sonrasındaki kütleş (g),

$m_{so,s}$: Deneş numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütleş (g),

A_s : Deneş numunenin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı (mm^2),

t_{so} : Deneş numunesinin suya temas ettirilme süresi (dak.),

4.3.6. Basınç mukavemeti deneş

Mekanik özelliklerden biri olan basınç mukavemet testi için yine her bir örnek grubundan altışar örnek üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tuğla örnekleri üzerinde TS EN 772-1 nolu standarda göre; öncelikle çimento harcı kullanılarak iki tarafına başlıklama yapılmıştır (Resim 4.7).



Resim 4.7. Tuğlanın iki taraflı çimento harcı başlıklaması

Yine aynı standarda göre başlıklanan örneklerin şartlandırmaları etüvde gerçekleştirilmiştir. Ardından örnekler otomatik bilgisayar kontrollü basınç presinde ve TS EN 772-1'e [TS EN 772-1, 2002] göre deneş tabi tutulmuşlardır. Örneklerin basınç mukavemet değerleri; kırılma yükünün, yük uygulanan yöndeki brüt alana (boşluk alanları dahil) bölünmesiyle elde edilmiştir.

4.3.7. Donma-çözülme deneyi

Hazırlanan örneklerden, donma-çözülme deneyi için her bir örnek grubundan üçer adet örnek alınarak 48 saat süresince suda bekletilmiş, ardından iki saat donma, bir saat çözülme döngüsünü takip edecek şekilde ve 25 kez tekrarlanarak donma-çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir.

4.3.8. Porozimetre deneyi

Örneklerin 700 ve 900 °C'de pişirilen numuneleri, bünyedeki gözenek oranları ve gözenek çaplarının belirlenmesi amacıyla Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde bulunan Quantacrome Poremaster civalı porozimetre cihazı kullanılarak, boşluk dağılımını tayin etmek üzere deneye tabi tutulmuştur (Resim 4.8).



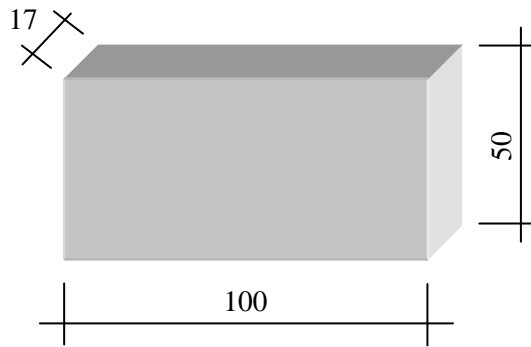
Resim 4.8. Quantacrome poremaster porozimetre cihazı

Boşluk dağılımı tayini, Poremaster markalı civalı porozimetre ile ilgili standarda [ASTM D 4404, 2004] uygun olarak yapılmıştır. Deneyde, 7 mm çapında ve 15 mm uzunluğundaki numuneler, hacmi bilinen cam deney tüplerine yerleştirildikten sonra içerisindeki hazneye cihaz tarafından civa doldurmaktadır. Civa giderek artan basınç ile numunelere nüfuz ettirilmekte ve deney sistemine ait yazılımdan faydalanılarak

örnek içerisindeki boşluk dağılımları numunelere nüfuz eden civa hacmine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Deney sırasında örneklere 50 PSI (0,35 MPa) basınç uygulanmış olup, HG yüzey gerilimi $480,00 \text{ erg/cm}^2$, HG kontak açısı ise; $140,00^\circ$ dir.

4.3.9. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesi

Çalışmada üretilen örneklerin ısı yalıtım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, yalıtım özelliğinin bir ölçütü olan ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere Şekil 4.2’de gösterildiği gibi tuğla örnekleri $17 \times 100 \times 50 \text{ mm}$ boyutlarında prizmalar hazırlanmıştır. Her numune üçer defa ölçülerek ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.2. Isı iletkenlik katsayısı ölçümleri için hazırlanan örnek boyutları (mm)

Ölçümlerde, Dokuz Eylül Üniversitesi (D.E.Ü.), Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Laboratuvarında bulunan "Shotherm QTM-D2" cihazı kullanılmıştır. Deney hot-wire (sıcak tel) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, ısıtıcı tel (krom - nikel) ve tele orta noktasında dokunacak şekilde lehimlenmiş termo eleman (nikel - krom - nikel) iki örnek arasına yerleştirilir. Üstteki örnek yalıtılmış ve iletkenliği bilinen plaka (prob), alttaki örnek ise ısı iletkenliği bilinmeyen ölçülecek olan numunedir [Esen, 2003]. Bu durumda ısı iletim katsayısı Eş. 4.11’e göre hesaplanır [Kumlutaş ve Tavman, 2003]:

$$k = F \frac{Q \ln(t_2 - t_1)}{T_2 - T_1} - H \quad (4.11)$$

Burada;

F, H: Ölçme cihazına ait sabitler,

Q: Isıtıcı tele verilen ısı akışı,

t_1, t_2 : Ölçüm zamanları (saniye),

T_1 : t_1 zamanındaki sıcaklık,

T_2 : t_2 zamanındaki sıcaklık.

Bu cihazın en önemli avantajlarından birisi, ölçüm esnasındaki ısı kayıplarının, ölçümün kısa sürede yapılmasından dolayı çok az miktarda olmasıdır. Cihaz 0,020-10 W/mK aralığında ısı iletim katsayısını \pm %5 hassasiyet ile ölçebilmektedir.

4.4. Uygulanan İstatistiksel Analizler

Örneklerin üretiminde ve hazırlanmasında kullanılan değişkenlerin, değerler üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla iki faktörlü varyans çözümlemesi yapılmıştır. Faktörlerin anlamlı bulunmasının ardından farklılıkların hangi gruplarda olduğunu belirlemek amacıyla çoklu karşılaştırma testlerinden biri olan Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Duncan çoklu karşılaştırma testinde, her bir örnek grubu, ayrı ayrı pişirme sıcaklıklarına göre analiz edilmiştir. Dört farklı pişirme sıcaklığının bulunması sebebiyle test sonuçları en fazla dört altkümeye ayrılmıştır. Aynı altkümede bulunan örnekler arasında herhangi bir farklılık olmadığı kabul edilmiştir. Ardından, etkenlerin sonuçlar üzerinde ne kadar etkili olduğunun anlaşılması amacıyla çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizlerinde katkı tipi olarak, ÖÇK katkılı ve HÇK katkılı örnekler tanımlanmıştır. İstatistiksel testlerde güven aralığı % 95 ($\alpha=0,05$) olarak alınmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Hammaddelere Uygulanan Analizler

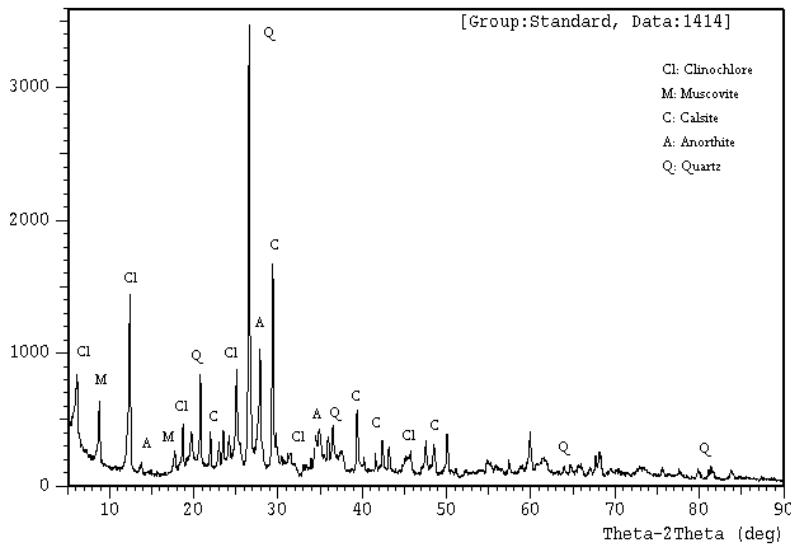
5.1.1. XRF ve XRD analizleri

Yarı kantitatif kimyasal analiz yöntemi olan XRF, killerin değerlendirilmesinde tek başına aydınlatıcı bilgiler vermemektedir. Bu nedenle kimyasal analiz sonuçlarının XRD ve DTA ile beraber değerlendirilmesiyle hammaddenin mineralojik yapısı ve teknolojik özellikleri hakkında daha sağlıklı bilgiler elde edilebilmektedir [Demir, 2001]. Bu nedenle kil malzemesinde bulunan oksitlerin belirlenmesi amacıyla kimyasal analiz, minerallerin belirlenmesi amacıyla da XRD analizi yapılmıştır. Kil malzemesine ait XRF analiz sonuçları ve X-ışınları difraktogramı sırasıyla Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kil malzemesine ait kimyasal analiz değerleri (%)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | MnO | SO ₃ | P ₂ O ₅ | K.K.* |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------|-----------------|-------------------------------|-------|
| 42,40 | 15,90 | 8,97 | 5,19 | 9,93 | 1,10 | 2,51 | 1,12 | 0,209 | 0,555 | 0,208 | 11,70 |

*K.K., Kızdırma Kaybı



Şekil 5.1. Kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı

Kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramına göre kil içerisinde; kuartz (SiO_2), kalsit (CaCO_3), anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), muskovit ve klinoklor mineralleri bulunmaktadır. Tüm kil türlerinde yaygın ve baskın olan mineral kuartz'dır. Bunun yanında kimyasal analiz sonuçlarına göre yüksek oranda kil bünyesinde bulunan CaO, kalsit mineralinin kökenini oluşturmaktadır. Muskovit minerali ise kil türünü belirten bir mineraldir. Buna göre kil, mika grubuna ait bir kil mineralidir. Mika, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidro alüminyum silikat minerallerine verilen isimdir. Mika gurubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineral muskovittir [Gürsu, 2003].

Çalışmada kullanılan kil malzemesinde temel olarak SiO_2 ve Al_2O_3 , ergitici olarak da; K_2O , Fe_2O_3 , CaO, MgO ve TiO_2 bulunmaktadır [Musthafa ve ark., 2010]. Kimyasal analiz değerleri incelendiğinde kil malzemesinde CaO oranının (% 9,93) yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1). Bu nedenle kil bünyede pişirme sırasında yüksek miktarda gaz oluşumu ve kilden üretilen örneklerde, yüksek porozite ve kızdırma kaybı meydana gelebileceği belirtilmektedir [Alcantara ve ark., 2008].

Kilin yapısı CaO miktarına bağlı olarak kalkerli olup olmaması ile belirlenmektedir. Maniatis ve Tite (1981)'e göre kil içerisinde % 6'dan fazla oranda CaO bulunuyorsa kil, kalkerli kil olarak adlandırılmaktadır. Şayet; K_2O , Fe_2O_3 , CaO, MgO ve TiO_2 konsantrasyonu % 9'dan daha fazla ise kil, düşük refrakterli; % 9'dan daha az ise yüksek refrakterli olarak adlandırılmaktadır [Musthafa ve ark., 2010]. Bu bağlamda çalışmada kullanılan kil malzemesi, düşük refrakter özelliği gösteren kalkerli kil olarak adlandırılabilir.

Çalışmada kullanılan kil malzemesinde CaO dışında kalan tüm oksitler ve oksitlerin miktarları literatürde verilen sınırlar içerisinde yer almıştır. Bu bilgilere göre, tuğla üretiminde kullanılacak olan kilin kimyasal yapısında ortalama % 42–64 SiO_2 , % 15–20 Al_2O_3 ve % 8 CaO bulunmalıdır. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) miktarı % 35'in altında ve % 25-30'dan fazla olmamalıdır [Yılmaz ve ark., 2005].

Tuğla renginin kırmızı olabilmesi için, topraktaki en önemli minerallerden birisi olan demir oksit oranının % 5'in üzerinde olması gerekir. Diğer yandan fazla oranda Fe_2O_3 , düşük oranda Al_2O_3 ve $CaCO_3$ içeren killer çok kırmızı hatta siyaha yakın pişmekte ve çok düşük sıcaklıklarda eriyebilmektedir. Fazla demir, demir sülfat ve karbonlar pişme sırasında çatlama, kopma ve tuğla yüzeyinde çiçeklenme (lekeler) yapar. Bu nedenle demir oksit ve hidratların % 8-10 arasında olması tercih edilir. Yaklaşık % 7 CaO içerikli bünyelerin pişirilmesi sonucu soluk sarı, sarı ve kahverengi tonları elde edilmektedir. Ayrıca yüksek karbonat içeriği, kırmızı pişen bünyelerin renkleri üzerinde ağartma veya parlatma etkisine sahiptir [Karaman, 2006]. Toprak içerisinde fazla miktarda mangan (MnO) olması, pişirme sırasında rengin kahverengi olmasına ve su ile temas ettiğinde çatlaklara sebep olduğu için % 5'den daha az oranda bulunması gerektiği de belirtilmektedir [Şişman ve ark., 2006].

Grimshaw (1971)'a göre; CaO'in tuğlada 1050 °C'ye kadar ergitici özelliği yoktur. Ancak kil mineralleri ile düşük sıcaklıkta vollastonit ($CaSiO_3$) veya anortit ($CaAl_2Si_2O_8$) oluşturur. Reaksiyon sıcaklığının altında kalsiyum bileşikleri pişme küçülmesini düşürür.

Kalsiyum karbonat yaklaşık 900 °C'de dekompozisyona uğrayarak kirece dönüşür ve soğutma sırasında bu şekilde kalırsa havanın nemini ve CO_2 'ini çekerek hacmini artırır ve bu nedenle seramik bünyelerde patlamalara neden olur. Yaklaşık 900 °C'de CO_2 çıkışı nedeniyle seramik bünyelerin mukavemetini düşürerek su emmeyi arttırmaktadır [Ceylantekin, 2002]. Bünyede kalsit, illit ve kuvars olması halinde bu sıcaklıkta anortit kristali oluşmaya başlar [Cultrone ve ark., 2001].

Yapılan XRF ve XRD analizleriyle literatürde yer alan bilgilere göre; çalışmada kullanılan kil malzemesinde bulunan CaO miktarı (% 9,93) yüksek değerlerde bulunmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kilin pişirilmesiyle malzemenin bünyesinde CO_2 çıkışları meydana gelerek, gözeneklilik artacak ve buna bağlı olarak mukavemet değerleri azalacaktır. Bununla birlikte kullanılan kil malzemesi, düşük refrakter özelliğine sahip kalkerli muskovit olarak adlandırılabilir.

5.1.2. DTA-TG analizleri

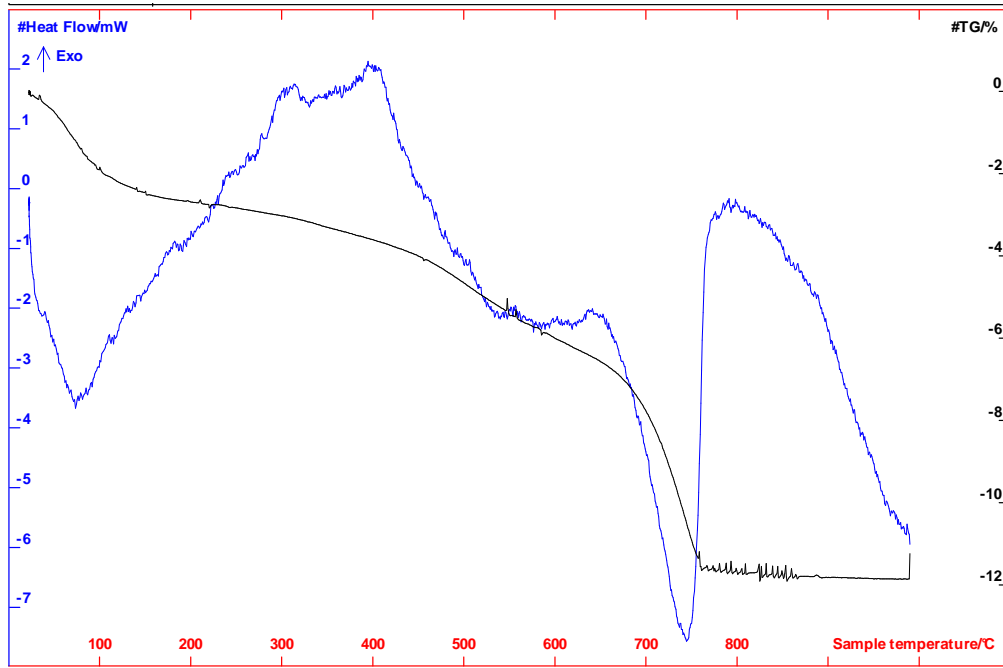
Diferansiyel termal analiz (DTA) uzun zamandan beri kil mineralleri, karbonatlar, sülfatlar, zeolitler, sülfidler, arsenidler ve grafit gibi minerallerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Sıcaklık farkı numunede bir kimyasal tepkime, faz değişimi veya yapısal bir olay olduğu zaman gözlenmektedir.

Termogravimetrik analiz (TG) yöntemiyle, kontrollü bir oranda ısıtılan veya soğutulan numunenin sürekli olarak ağırlığında meydana gelen değişim miktarı ölçülür ve bir eğri halinde grafiği alınır. Elde edilen grafikte materyalin bileşimi ve termal duyarlılığının ölçümü mümkün olmaktadır [Karakaya, 2006].

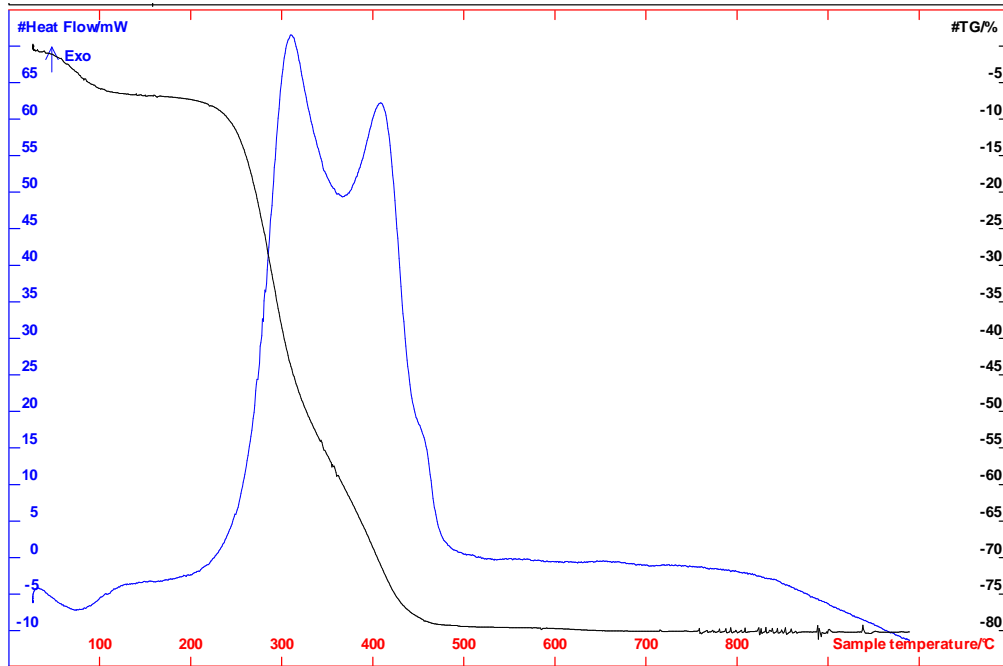
DTA kil minerallerinin termal reaksiyonlarının çalışılmasında kullanılan yaygın bir tekniktir. Bu reaksiyonlar adsorbe suyun dehidratasyonu, mineral suyun buharlaşmasını ardından kilin bir meta faza ve meta fazın bir kristal faza tekrar kristallenmesiyle oluşan dönüşümleri içerir. Meta fazın tekrar kristallenmesi ekzotermik olmasına rağmen ilk iki reaksiyon endotermik reaksiyondur. DTA pik sıcaklıkları her mineral için karakteristiktir ve DTA eğrileri birçok kilin tanımlanması ve belirlenmesi için kullanılabilir bir tekniktir [Yariv, 2004].

Kil malzemesinin DTA/TG grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Kuvvetli endotermik DTA piki 100 °C civarında belirli bir ağırlık kaybıyla kendini gösterir. Şişen killerde ağırlık kaybı önemli miktarlarda gerçekleşirken, şişme yapmayan killerde bu ağırlık kaybı küçük oranlarda gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıkta ortaya çıkan DTA piki adsorbe suyun buharlaşması nedeniyledir [Yariv, 2004]. Kil malzemesinde bulunan organiklerin 300 °C – 420 °C arasında yandıkları ve 530 °C – 660 °C arasında kil mineralleri arasında bulunan mineral suyunun bünyeden çıkış yaptığı düşünülmektedir. 750 °C – 800 °C sıcaklık aralıklarında ise kil mineralinde bulunan kalsit mineralinin dekompozisyonu sonucunda ekzotermik pikin olduğu düşünülmektedir [Ramachandran ve ark., 2002]. Termogravimetrik eğrileri incelendiğinde ise kil mineralinin % 12 ağırlık kaybına uğradığı belirlenmiştir (Şekil 5.2).

ÇK'nın DTA/TG grafiğine göre malzeme 230 °C – 450 °C sıcaklık aralıklarında yanarak ekzotermik DTA piki vermiştir. ÇK'da ısıl işlem sırasında % 80'lik bir ağırlık kaybı meydana geldiği de gözlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2. Kıl malzemesine ait DTA/TG grafiği



Şekil 5.3. ÇK malzemesine ait DTA/TG grafiği

5.2. Tuğla Hammaddesinin Özellikleri

5.2.1. Atterberg limitleri

Likit limit ve plastik limit değerleri özellikle ince daneli zeminlerin kıvam durumlarının sınırlarını belirler. Kıvam, zeminin göreceli olarak deforme olabilme özelliğidir [İnternet-8, 1998].

Referans ve ÖÇK katkısı bulunan karışımların, Atterberg Limitleri içerisinde yer alan; likit limit (LL), plastik limit (PL) ve plastisite indeksi (PI) değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre referans karışımında LL ve PL değerleri sırasıyla; % 36,6 ve % 23,3’dür. Bu değerler tüm karışımlar içerisinde en düşük değerler olup, kile eklenen ÇK katkısı karışımların; LL ve PL değerlerini arttırmıştır.

Çizelge 5.2. Likit, plastik limit ve plastisite indeksi değerleri

| | T0 | T5 | T10 | T15 |
|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Likit Limit (%) | 36,6 | 38,3 | 39,7 | 40,6 |
| Plastik Limit (%) | 23,3 | 27,6 | 29,4 | 32,5 |
| Plastisite İndeksi | 13,3 | 10,7 | 10,3 | 8,1 |

Genelde, LL ve PL değerlerinin organik madde ve kil içeriğinin artmasıyla artacağı bilinmektedir [Gülser ve ark., 2008]. Organik madde miktarına bağlı olarak Atterberg limitlerinin değişkenlik gösterdiği; topraklara ilave edilen organik atık miktarı ile LL ve PL değerleri arasında da pozitif bir ilişki bulunduğu [Yakupoğlu ve Özdemir, 2006], fakat PI’yı çok fazla etkilemediği belirlenmiştir [Gülser ve ark., 2008]. Organik atık uygulamasına bağlı olarak toprakların LL ve PL değerlerinin artış gösterdiği vurgulanmıştır [Yakupoğlu ve Özdemir, 2006]. Bhushan ve Sharma (2002), organik atık kullanarak yaptıkları bir çalışma sonucunda, toprağa organik atık ilavesinin, PL değerini önemli ölçüde arttırdığını belirlemiştir [Yakupoğlu ve Özdemir, 2006]. Bu bilgiler ışığında elde edilen bulgular, literatürde mevcut bulunan çalışmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

5.3. Üretilen Tuğlaların Özellikleri

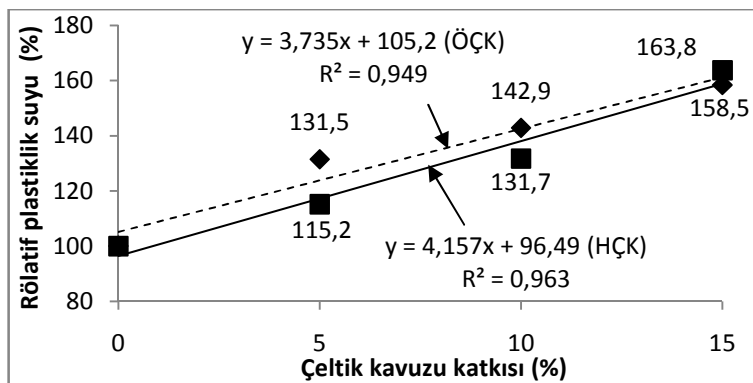
5.3.1. Plastiklik suyu

Karışımların yoğurulması amacıyla eklenen plastiklik suyu miktarları belirlenmiş ve Çizelge 5.3'de verilmiştir. Kil veya kil karışımlarının plastikliğinin sağlanması amacıyla bünyeye eklenen su oranı fiziksel özelliğin bir ölçümüdür. Kilin plastikliğinin artırılması için tane boyutunda değişikliklere gidilebileceği gibi organik ve inorganik katkılarında kullanılması mümkündür [Uz ve ark., 2006].

Çizelge 5.3. Karışımlara ait plastiklik suyu değerleri

| Örnek Grubu | T0 | T5 | T10 | T15 | TH5 | TH10 | TH15 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Plastiklik Suyu (%) | 18,22 | 23,96 | 26,04 | 28,87 | 20,99 | 24,00 | 29,84 |

ÇK katkısının artması, tuğla örneklerin plastikliği için gerekli olan su miktarını arttırmaktadır (Şekil 5.4). ÖÇK katkısı bulunan örneklerde, plastiklik suyu değerleri referans örneğe göre % 31,5 - % 58,5 oranında artmıştır. HÇK katkılı örneklerde ise bu artış, % 15,2 - % 63,8 arasında değişmiştir. ÇK'nın boşluklu içyapısı [Ryu ve Kim, 1997], plastiklik için kile göre daha fazla su ihtiyacı duymasına ve karışımların plastikliği için gerekli olan su miktarlarının artmasına sebep olmuştur. Nitekim, organik maddelerin varlığı kil malzemenin plastikliğini önemli miktarda arttırabilmektedir [Maritan ve ark., 2006].



Şekil 5.4. Karışımların rölatif plastiklik suyu oranları (%)

5.3.2. Kuru ve toplam doğrusal küçülme

Su çıkışı yüzeyde daha fazla olduğu için bu bölgeler daha fazla küçülür ve sistemde bir gerilme meydana gelir. İç dış bölgeler arasındaki gerilmeler nedeniyle bünyede deformasyon veya çatlaklar oluşabilir. ÇK lifli yapı özelliği göstermesi nedeniyle boyutlarda bir küçülme meydana getirirken büneyi destekler ve küçülme sırasında çatlak oluşumunu engeller [Ceylantekin, 2002].

Bu nedenle ÇK katkılı örneklerde küçülme oranları referans örneklere oranla daha düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Örneklerin kuruma küçülmesi oranları Çizelge 5.4'de; farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerden elde edilen uzunluk ölçümlerine göre toplam doğrusal küçülme oranları ise Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Örneklere ait kuruma küçülmesi oranları (%)

| Örnek Grubu | T0 | T5 | T10 | T15 | TH5 | TH10 | TH15 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Kuruma küçülmesi oranı | 4,7 | 3,5 | 2,3 | 1,7 | 3,3 | 3,3 | 1,6 |

Çizelge 5.5. Tuğla örneklerine ait toplam doğrusal küçülme oranları (%)

| Örnek Grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 4,64 | 4,75 | 5,24 | 5,23 |
| T5 | 3,41 | 3,61 | 3,75 | 3,78 |
| T10 | 2,33 | 2,41 | 2,46 | 2,69 |
| T15 | 1,73 | 1,86 | 2,18 | 2,23 |
| TH5 | 3,31 | 3,39 | 3,56 | 3,99 |
| TH10 | 3,36 | 3,61 | 3,87 | 4,02 |
| TH15 | 1,56 | 2,10 | 2,84 | 3,37 |

Tüm killer küçülme gösterirler fakat tümü aynı oranda küçülme yapmaz. Kil bünye içerisinde bulunan safsızlıkların türü, miktarı ve kil tanelerinin boyutu küçülmeyi etkilemektedir [Peterson, 2010]. ÇK katkısının partikül boyutları kil partiküllerinden daha büyük olması nedeniyle küçülme oranlarında, referans örneklere göre bir miktar azalmalar görülmüştür.

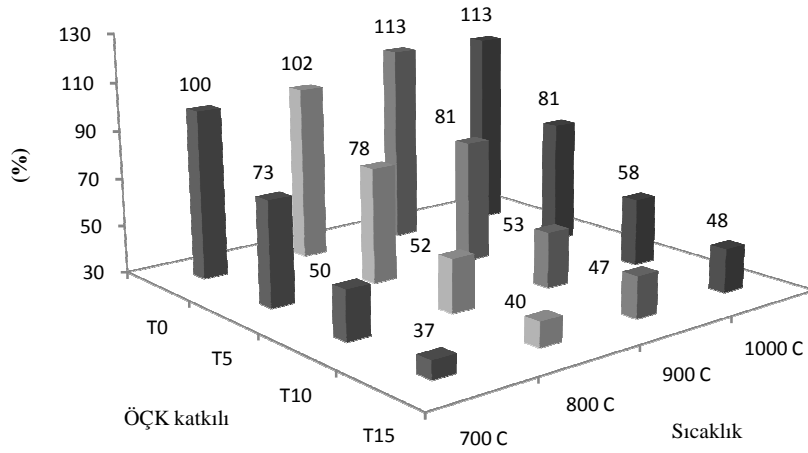
Kilin işlenebilirliği için bünyeye eklenen plastiklik suyu kurutma prosesinde bünyeden buharlaşarak ayrılmaktadır. Suyun bünyeyi terk ettiği boşluklara kil partikülleri hareket ederek boşlukları doldurmakta ve küçülme olayı meydana gelmektedir [Lee ve Yeh, 2008; Peterson, 2010].

Bu nedenle yüksek plastikliğe sahip kil bünyelerde küçülme daha fazla olmaktadır. Fakat kil bünyedeki tane boyutunun büyümesi küçülmeyi azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda kil bünye kademeli olarak camlaşmakta ve kil bünye küçülmektedir. Kil partikülleri erirken boyutları yavaşça azalır ve kil küçülür. Bununla birlikte bünyenin tüm köşe ve çatlaklarında daha sıkı ve yoğun bir halde camlaşma meydana gelir [Peterson, 2010].

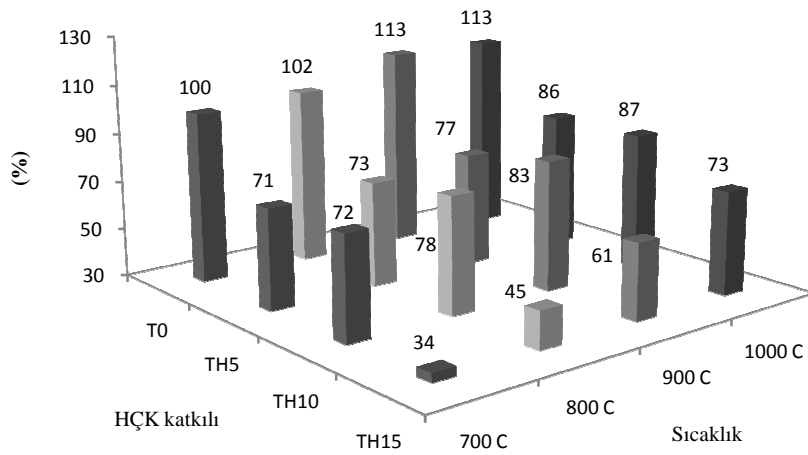
Pişirme sıcaklığının artması referans örneklerin (T0) toplam doğrusal küçülme oranlarında artışa sebep olmuştur (Şekil 5.5). Bu durum daha önce yapılan bazı çalışmalarda da belirtilmiştir [Bideci ve Bideci, 2008]. Sıcaklığın artmasıyla kilde bulunan alkali oksitler, bünyedeki eriyik faz ürünlerinin artmasına yol açmakta dolayısıyla küçülmenin artmasına neden olmaktadır [Öztürk, 2002]. Pişirme sıcaklığındaki artış bünyedeki vitrifikasyonu ve dolayısıyla küçülme değerlerini arttırmaktadır [Nastro ve ark., 2006].

Kil miktarının azalması toplam doğrusal küçülme oranlarını azaltıcı bir etkendir [Yılmaz ve ark., 2005]. Bünyesinde daha az kil bulunduran örneklerde elde edilen değerler bu nedenden ötürü referans örneklere göre daha düşüktür. Bunun yanında ÇK katkılı örneklerde de referans örnekte olduğu gibi pişirme sıcaklığı küçülme oranlarını arttırıcı bir etki oluşturmuştur. Katkı oranlarındaki artış ise küçülme oranlarını azaltmıştır (Şekil 5.5).

HÇK katkılı örnekler ile ÖÇK katkılı örnekler kıyaslandığında, ÖÇK katkısı genelde toplam doğrusal küçülme oranlarını azaltmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.5 (a). ÖÇK katkılı, (b). HÇK katkılı tuğlaların rölatif toplam doğrusal küçülme oranları (%)

5.3.3. Kızdırma kaybı

Piştirme sıcaklıklarına bağlı olarak kızdırma kaybı oranları değişkenlik göstermiştir. Tüm örneklerde sıcaklığın artması ile bünyede bulunan organik maddeler yanmış ve ağırlık kayıpları artmıştır. Kızdırma kaybının; kil mineralleri, hidroksitler ve organik maddelerin varlığıyla ilişkili olduğu belirtilmektedir [Milheiro ve ark., 2005]. Kızdırma kayıplarındaki bu artışlar, artan piştirme sıcaklığının bir fonksiyonu olarak

gözenek hacmindeki genişlemenin artması ve pişmiş örneklerin gözenekli yapılarından gaz kaçışlarının kolaylaşması ile ilişkilendirilebilir [Mahllawy, 2008].

Elde edilen bulgulara göre kontrol örnekleri (T0), tüm sıcaklıklarda en düşük kızdırma kaybı oranlarına sahiptir. Bununla birlikte bünyeye eklenen katkı miktarlarındaki artışlar ve artan pişirme sıcaklığı kızdırma kaybı oranlarındaki artışları da beraberinde getirirken, tüm sıcaklıklarda en yüksek değerleri TH15 örnekleri vermiştir (Çizelge 5.6). ÖÇK katkılı örneklerde kızdırma kaybı oranlarının, HÇK katkılı örneklere göre biraz daha düşük seviyelerde olduğu da gözlenmiştir.

Çizelge 5.6. Tuğla örneklerine ait kızdırma kaybı oranları (%)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 5,3 | 8,9 | 10,0 | 10,7 |
| T5 | 8,4 | 11,9 | 12,7 | 12,7 |
| T10 | 10,7 | 14,1 | 14,8 | 14,7 |
| T15 | 13,5 | 16,7 | 17,2 | 17,2 |
| TH5 | 8,4 | 12,4 | 12,5 | 13,3 |
| TH10 | 11,2 | 15,0 | 14,9 | 15,6 |
| TH15 | 14,1 | 17,1 | 17,8 | 17,7 |

Çizelge 5.7. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre kızdırma kaybı oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|-----------------------|-----------------|-----|--------------------|------------|-------|
| Örnek grubu (G) | 1 891,826 | 6 | 315,304 | 42 040,587 | 0,000 |
| Pişirme sıcaklığı (S) | 834,250 | 3 | 278,083 | 37 077,759 | 0,000 |
| G*S | 17,570 | 18 | 0,976 | 130,151 | 0,000 |
| Hata | 1,890 | 252 | 0,007 | | |
| Toplam | 51 506,340 | 280 | | | |

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre kızdırma kaybı oranlarında (Çizelge 5.6), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.7). Başka bir ifadeyle, örneklerin kızdırma kaybı oranları; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir.

Uygulanan örnek grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-252)}=130,151$; $p<0,05$].

Herbir örnek grubunun pişirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.8’de verilmiştir. ÖÇK katkılı (T5, T10 ve T15) ve % 15 HÇK katkılı TH15 örneklerinin, 900 °C ve 1000 °C’de pişirilen örneklerinde farklılık yoktur (Çizelge 5.8). Diğer örnek gruplarına ait tuğlaların kızdırma kaybı oranları ise tüm pişirme sıcaklıklarında birbirinden farklıdır. Ortalama kızdırma kaybı oranları; HÇK katkılı örneklerde % 14,2, ÖÇK katkılı örneklerde % 13,7, referans örneklerinde ise % 8,7 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.8. Kızdırma kaybı oranlarının duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| T5 | 1 | 2 | 3* | 3* |
| T10 | 1 | 2 | 3* | 3* |
| T15 | 1 | 2 | 3* | 3* |
| TH5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| TH10 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| TH15 | 1 | 2 | 3* | 3* |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre kızdırma kaybı oranlarının yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları ise Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile kızdırma kaybı oranları arasında pozitif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = 0,626$), diğer değişkenler kontrol edildiğinde de iki değişken arasındaki korelasyonun $r = 0,797$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Pişirme sıcaklığı ile kızdırma kaybı oranları arasında pozitif ve orta

düzeyde ($r = 0,481$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile kızdırma kaybı oranları arasında hesaplanan negatif ve orta düzeydeki ikili korelasyonun ($r = -0,390$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde ise yine negatif ve orta düzeyde ($r = -0,635$) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.9. Kızdırma kaybı oranlarının yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|---|--------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 8,896 | 0,357 | | 24,891 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | 0,981 | 0,045 | 0,626 | 21,955 | 0,000 | 0,626 | 0,797 |
| Pişirme sıcaklığı | 1,346 | 0,080 | 0,481 | 16,842 | 0,000 | 0,481 | 0,712 |
| Katkı tipi | -1,743 | 0,128 | -0,390 | -13,654 | 0,000 | -0,390 | -0,635 |
| R=0,880, R ² =0,775 | | | | | | | |
| F _(3,276) =317,369, p= 0,000 | | | | | | | |

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin kızdırma kaybı oranları ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir (R=0,880, R²=0,775, p=0,000). Bu üç değişken birlikte, kızdırma kaybı oranının toplam varyansının yaklaşık % 77,5'ini açıklamaktadır. Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin kızdırma kaybı oranları üzerinde görece önem sırası; örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipidir. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, tüm değişkenlerin kızdırma kaybı oranlarını etkilediği bulunmuştur.

5.3.4. Görünen porozite

Porozite ve özellikle gözeneklerin boyut dağılımı farklı yapı malzemeleri açısından durabilite özelliğini belirleyen önemli bir parametre olup, özellikle şiddetli hava olaylarına maruz kalan tuğlalar açısından da oldukça önemlidir. Yüksek gözenek oranına sahip ve gözenek çaplarının daha büyük olduğu yapı tuğlaları, özellikle çiçeklenme ve donma çözünme başta olmak üzere atmosferik olaylardan önemli ölçüde etkilenmektedir [Cultrone ve ark., 2004]. Tuğla gibi birçok yapı malzemesi gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu gözenekli yapılarda nem tamamen doygun ya da

kuru halde olmak üzere çok farklı düzeylerde bulunabilmektedir [Miniotaite, 2005]. Porozitedeki farklılıklar yapı malzemelerinin mekanik dayanıklılığını önemli derecede etkilemektedir [Lu ve ark., 1999].

Çizelge 5.10. Tuğla örneklerine ait görünen porozite değerleri (%)

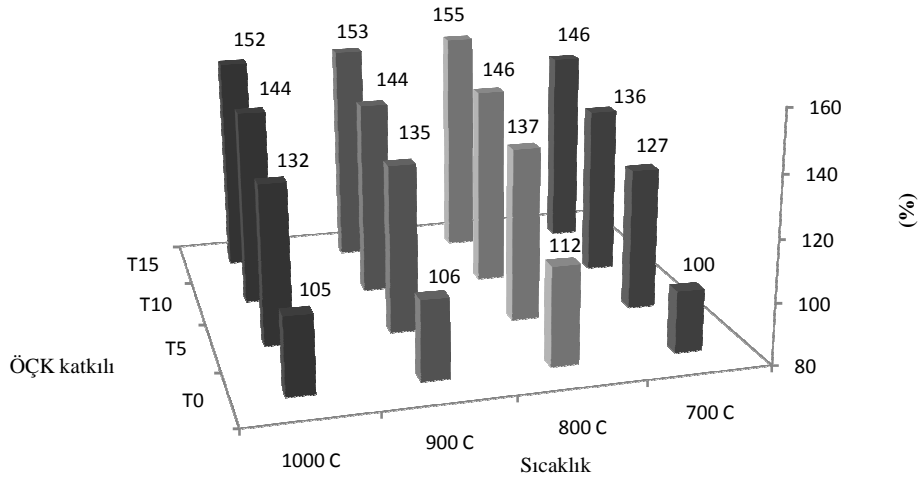
| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 28,5 | 31,9 | 30,1 | 29,9 |
| T5 | 36,1 | 39,0 | 38,4 | 37,7 |
| T10 | 38,8 | 41,5 | 41,0 | 41,1 |
| T15 | 41,6 | 44,3 | 43,7 | 43,2 |
| TH5 | 34,2 | 37,8 | 36,6 | 36,8 |
| TH10 | 38,4 | 41,2 | 40,0 | 40,6 |
| TH15 | 46,5 | 48,9 | 48,2 | 48,3 |

Örneklerde sinterlemenin başladığı düşünülen 800 °C'den sonra artan pişirme sıcaklığı görünen porozite değerlerini azaltmıştır (Çizelge 5.10). Elde edilen bulgular, 700 °C'de pişirilen referans örneğe göre oranlandığında, ÇK katkı bulduran örnekler içerisinde en yüksek değerlere % 15 oranında ÇK katkısı bulunan T15 ve TH15 örneklerinde ulaşılmıştır. Bununla birlikte genel olarak ÖÇK katkısı bulunan tuğla örneklerinde görünen porozite değerleri, HÇK katkısı bulunan örneklere göre biraz daha yüksek seviyelerdedir (Şekil 5.6).

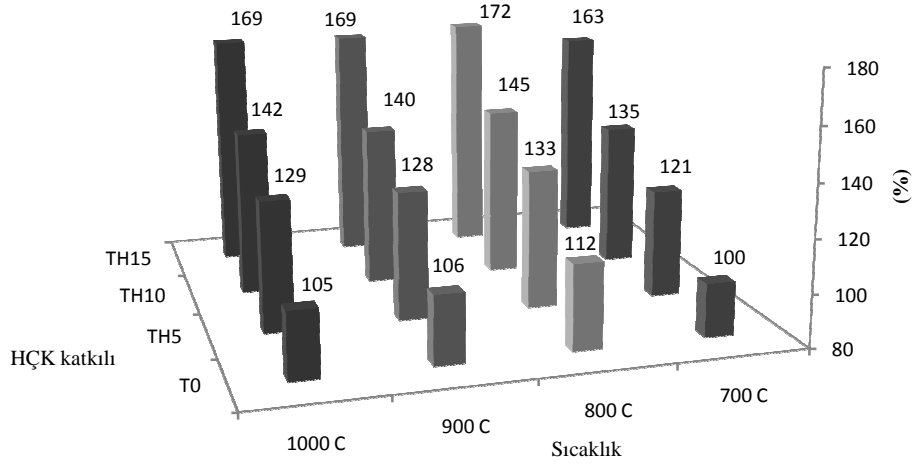
Kalkerli veya kalkersiz düşük refrakterli killerin oksitlenme şartlarında yaygın olarak 850 – 950 °C'de vitrifikasyon gerçekleştirdiği [Musthafa ve ark., 2010] ve artan pişirme sıcaklığının görünen poroziteyi azalttığı belirtilmektedir [Raut ve ark., 2008]. Elde edilen bulgular incelendiğinde de artan pişirme sıcaklığıyla örneklerin görünen porozite değerlerinin azalma eğiliminde oldukları görülmektedir.

Karışımlarda bulunan kil miktarlarındaki azalmalar neticesinde referans örneklerle kıyaslandığında bünyede bulunan kil miktarı ve dolayısıyla feldispat miktarı azalmaktadır. Feldispatlar düşük sıcaklıklarda likit faz geliştirmeleri ve sinterleme prosesine yardımcı olmalarından [Noni ve ark., 2010] dolayı, kil miktarındaki azalmalar örneklerin daha gözenekli olmasına neden olmaktadır. Kil içerisinde

bulunan kuartz, yüksek ergime sıcaklığına sahip olması sayesinde sinterleme sürecinde, termal ve boyutsal stabiliteyi düzenlemektedir [Leonelli ve ark., 2001; Noni ve ark., 2010].



(a)



(b)

Şekil 5.6 (a). ÖÇK katkı, (b). HÇK katkı tuğlaların rölatif görünen porozite değerleri (%)

Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünen porozite değerlerinde (Çizelge 5.10), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.11). Başka bir ifadeyle, örneklerin görünen porozite değerleri; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek

grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-252)}=4,111, p<0,05$].

Çizelge 5.11. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünen porozite değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|------------------------|--------------------|------------|--------------------|----------|-------|
| Örnek grubu (G) | 7542,954 | 6 | 1257,159 | 5103,652 | 0,000 |
| Piştirme sıcaklığı (S) | 316,071 | 3 | 105,357 | 427,715 | 0,000 |
| G*S | 18,225 | 18 | 1,013 | 4,111 | 0,000 |
| Hata | 62,074 | 252 | 0,246 | | |
| Toplam | 443 341,160 | 280 | | | |

Herbir örnek grubunun pişirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.12’de verilmiştir. Referans, % 10 ve % 15 ÖÇK katkı ve % 5 HÇK katkı TH5 örneklerinin, 900 °C ve 1000 °C’de pişirilen örneklerinde farklılık yoktur (Çizelge 5.12). Diğer örnek gruplarına ait tuğlaların kızdırma kaybı oranları ise tüm pişirme sıcaklıklarında birbirinden farklıdır. Ortalama kızdırma kaybı oranları; HÇK katkı örneklerde % 41,5, ÖÇK katkı örneklerde % 40,5, referans örneklerinde ise % 30,1 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.12. Görünen porozite değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Piştirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| T5 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| T10 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| T15 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| TH5 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| TH10 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| TH15 | 1 | 3 | 2 | 2,3 |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre görünen porozite değerlerinin yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Görünen porozite değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|---|--------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 36,867 | 0,617 | | 59,752 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | 1,926 | 0,077 | 0,723 | 24,972 | 0,000 | 0,723 | 0,833 |
| Piştirme sıcaklığı | 0,475 | 0,138 | 0,100 | 3,444 | 0,001 | 0,100 | 0,203 |
| Katkı tipi | -3,690 | 0,220 | -0,485 | -16,741 | 0,000 | -0,485 | -0,710 |
| R=0,877, R ² =0,768 | | | | | | | |
| F _(3,276) =305,239, p= 0,000 | | | | | | | |

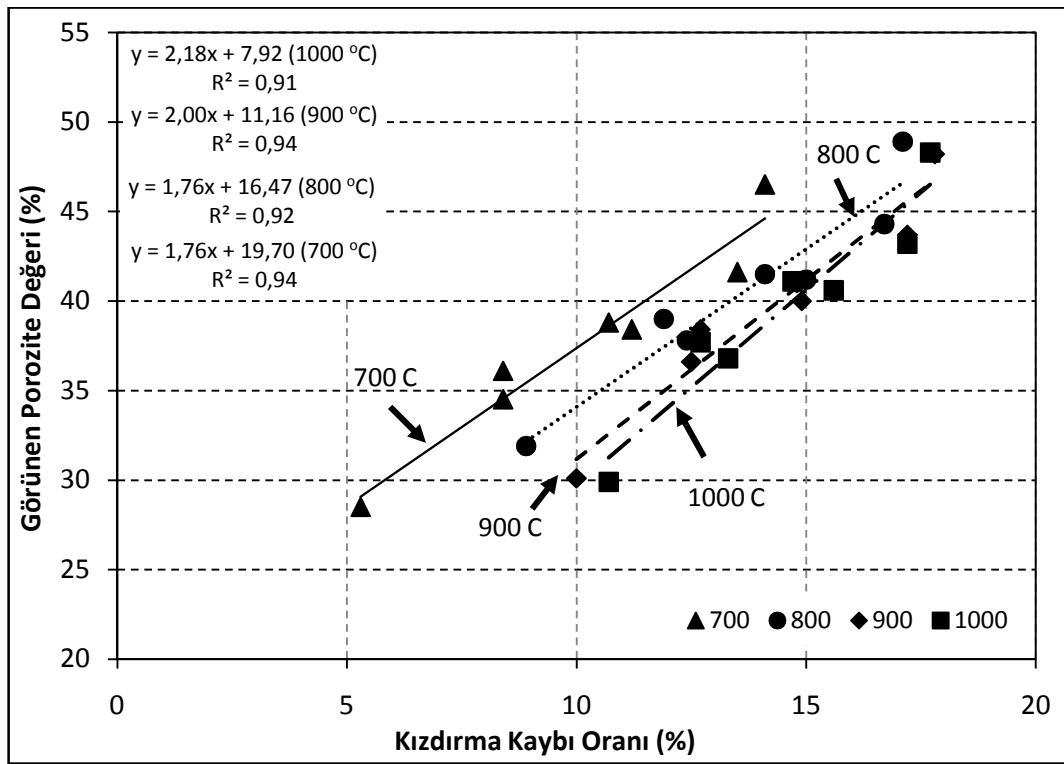
Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile görünen porozite değerleri arasında pozitif ve yüksek düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = 0,723$), diğer değişkenler kontrol edildiğinde de iki değişken arasındaki korelasyonun $r = 0,833$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Piştirme sıcaklığı ile görünen porozite değerleri arasında pozitif ve zayıf düzeyde ($r = 0,100$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile görünen porozite değerleri arasında hesaplanan negatif ve orta düzeyde ikili korelasyonun ($r = -0,485$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde ise yine negatif ve yüksek düzeyde ($r = -0,710$) olduğu görülmektedir.

Örnek grubu, piştirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin görünen porozite değerleri ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R=0,877$, $R^2=0,768$, $p=0,000$). Bu üç değişken birlikte, görünen porozite değerlerinin toplam varyansının yaklaşık % 76,8'ini açıklamaktadır.

Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin görünen porozite değerleri üzerinde görece önem sırası; örnek grubu, katkı tipi ve piştirme sıcaklığıdır. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları

incelendiğinde ise, tüm değişkenlerin görünen porozite değerleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu görülmektedir.

Görünen porozite değerleri ile kızdırma kaybı oranları arasındaki korelasyonlar, Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Elde edilen korelasyon verilerine göre, pişirme sıcaklığına bağlı olarak örneklerde kızdırma kaybı oranının artmasıyla görünen porozite değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranı ile görünen porozite değerleri arasındaki korelasyon

5.3.5. Su emme

Su emme, örneğin yüzeyiyle bağlantılı açık gözeneklerin hacmiyle ilişkilidir. Aynı zamanda yoğunluk ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Sinterleme ilerledikçe gözenekler yuvarlaklaşmakta, katı haline göre daha küçük olmakta ve sinterleme sonucunda dış yüzeyden izole olarak kapanmaktadır. Sinterleme, 950 °C üzerinde camsı faz şeklinde hızlanmaktadır. Bu faz gözeneklere penetre olarak onları

kapamakta ve komşu gözeneklerden ayırmaktadır. Bu mekanizma sinterleme sıcaklığının artmasıyla su emmenin azalmasını açıklayabilmektedir [Milherio ve ark., 2005].

Malzeme bünyesindeki gözeneklerin boyutları ve dağılımı su emme derecesini belirlemektedir. Mikro yapıdaki gözeneklerin varlığından dolayı kapiler etki, nemden dolayı bozulmaların başladığı durumlarda oldukça etkilidir. Porozite direk malzemenin kullanım ömrü boyunca durabilitesini ve performansını etkilediği için çok önemlidir [Juliana ve ark., 2009].

Porozite kadar su emme oranı da tuğlaların durabilitesini etkileyen önemli bir faktördür. Tuğla bünyesine ne kadar az su girerse tuğlanın durabilitesi ve doğaya karşı direnci artmaktadır. Bu sebeple tuğla bünyesinin yoğun olması gerektiği belirtilmektedir [Weng ve ark., 2003; Mahllawy, 2008].

Sinterleme sürecinde bünyede bulunan organik ÇK yanarak ortamdan CO₂ salınımı gerçekleştirerek bünyede boşluklar oluşturmuştur. Kil miktarının azalmasıyla sıvı faz miktarında azalma olacağından dolayı oluşan boşluklar tam olarak dolmamakta, dolayısıyla bünyeye nüfus eden su miktarlarında artış olmaktadır [Öztürk, 2002]. Buna ilaveten artan pişirme sıcaklığı tuğlalarda su emme değerlerini azaltmaktadır [Loryuenyong ve ark., 2009]. Tuğla bünyesinde su emme oranının azalması, basınç mukavemetinin artmasına neden olmaktadır [Marras ve ark., 2000].

% 10 oranına kadar ÖÇK katkılı örneklerde su emme oranları, HÇK katkılı örneklerden daha yüksektir. Bununla birlikte, % 15 ÇK katkılı örnekler içerisinde ÖÇK katkılı örneklerin daha düşük oranlarda su emdikleri belirlenmiştir (Çizelge 5.14).

ANOVA sonuçlarına göre su emme oranları (Çizelge 5.14) ile pişirme sıcaklığı ve örnek grupları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.15). Başka bir ifadeyle, örneklerin su emme oranları; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından

etkilenmiştir. Örnek grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-252)}=2,217$, $p<0,05$].

Çizelge 5.14. Tuğla örneklerine ait su emme oranları (%)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 15,0 | 17,4 | 16,3 | 16,2 |
| T5 | 22,4 | 24,9 | 24,3 | 23,8 |
| T10 | 26,1 | 28,7 | 27,9 | 28,0 |
| T15 | 30,6 | 33,5 | 32,4 | 31,7 |
| TH5 | 20,3 | 23,1 | 22,0 | 21,9 |
| TH10 | 24,9 | 27,6 | 26,3 | 26,6 |
| TH15 | 36,8 | 38,9 | 37,8 | 37,8 |

Çizelge 5.15. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre su emme oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|-----------------------|-----------------|-----|--------------------|----------|-------|
| Örnek grubu (G) | 11 780,806 | 6 | 1963,468 | 9267,538 | 0,000 |
| Pişirme sıcaklığı (S) | 236,519 | 3 | 78,840 | 372,122 | 0,000 |
| G*S | 8,453 | 18 | 0,470 | 2,217 | 0,004 |
| Hata | 53,390 | 252 | 0,212 | | |
| Toplam | 209 292,600 | 280 | | | |

Çizelge 5.16. Su emme oranlarının duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| T5 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| T10 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| T15 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| TH5 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| TH10 | 1 | 3 | 2* | 2* |
| TH15 | 1 | 3 | 2* | 2* |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Herbir örnek grubunun pişirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.16'da verilmiştir. Referans (T0), % 10 ÖÇK katkılı T10 ve HÇK katkılı (TH5, TH10 ve TH15) tuğla örneklerinin, 900 °C ve 1000 °C'de pişirilen örneklerinde farklılık yoktur (Çizelge 5.16). Diğer örnek gruplarına ait tuğlaların su emme oranları ise tüm pişirme sıcaklıklarında birbirinden farklıdır. Ortalama su emme oranları; HÇK katkılı örneklerde % 28,7, ÖÇK katkılı örneklerde % 27,9, referans örneklerinde ise % 16,2 olarak bulunmuştur.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre su emme oranlarının yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Su emme oranlarının yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|---|-------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 23,73 | 0,890 | | 26,661 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | 2,28 | 0,111 | 0,695 | 20,523 | 0,000 | 0,695 | 0,777 |
| Pişirme sıcaklığı | 0,33 | 0,199 | 0,056 | 1,641 | 0,102 | 0,056 | 0,098 |
| Katkı tipi | -4,16 | 0,318 | -0,444 | -13,097 | 0,000 | -0,444 | -0,619 |
| R=0,827, R ² =0,683 | | | | | | | |
| F _(3,276) =198,471, p= 0,000 | | | | | | | |

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile su emme oranları arasında pozitif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = 0,695$), ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde iki değişken arasındaki korelasyonun $r = 0,777$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Pişirme Sıcaklığı ile su emme oranları arasında pozitif ve zayıf düzeyde ($r = 0,056$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile su emme oranları arasında hesaplanan negatif ve orta düzeyde ikili korelasyonun ($r = -0,444$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde de yine negatif ve orta düzeyde ($r=-0,619$) olduğu görülmektedir. Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin su emme oranları ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R=0,827$, $R^2=0,683$,

$p=0,000$). Bu üç değişken birlikte, su emme oranlarındaki toplam varyansının yaklaşık % 68,3'ünü açıklamaktadır.

Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin su emme oranları üzerinde görelî önem sırası; örnek grubu, katkı tipi ve pişirme sıcaklığıdır. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, sadece pişirme sıcaklığı değişkeninin su emme oranları üzerindeki etkisinin anlamsız olduğu görülmektedir.

5.3.6. İlk su emme hızı

Gözenekli yapı malzemelerinin durabilitesi, büyük oranda malzeme içinde çözünen tuzların ve likitlerin taşınmasına bağlıdır. Nem tamamen kurduğunda, gözenekli malzemenin katı matriksinde önemli kuvvetler gösteren tuzlar kristalleşir. Bu etkileşim kuvvetleri malzemenin çatlamasıyla sonuçlanabilir. Mikro çatlaklar, mekanik olarak fazla yüklemeye, ölçülü genleşme ve küçülmeye, hidrotermal yüklemeye ve kimyasal proseslerden dolayı gözenekli yapı malzemelerinde görülebilir. Çatlakların varlığından dolayı tuz çözeltisinin penetrasyonu, ileride zarar oranını arttırmayla sonuçlanmaktadır [Poupeleer ve ark., 2003].

Bu sebeple tuğla örneklerin bünyesine likitlerin taşınması mümkün olduğunca düşük seviyelerde olmalıdır. Yapı malzemesinin absorbe oranı yapının bozulma ve yıpranma oranının tahmin edilmesi için önemlidir [Ridgway ve ark., 2006].

Ayrıca harç ile temas halinde olan tuğlaların emeceği su oranı duvarın durabilitesi ve sağlamlığı açısından da oldukça önemlidir. Bu sebeple tuğlaların ilk su emme hızlarının optimum düzeyde olması halinde tuğla-harç birleşmesi durumunda oluşturdukları duvarın durabilitesinin yüksek olacağı düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda örneklere ait ilk su emme hızı değerleri Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Örneklere ait ilk su emme hızı değerleri [kg/(m²xdak.)]

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 0,48 | 0,29 | 0,29 | 0,68 |
| T5 | 0,65 | 0,35 | 0,61 | 1,41 |
| T10 | 0,89 | 0,56 | 0,97 | 1,76 |
| T15 | 1,33 | 0,80 | 1,60 | 2,14 |
| TH5 | 1,26 | 0,63 | 0,77 | 1,31 |
| TH10 | 1,47 | 1,01 | 1,39 | 2,06 |
| TH15 | 2,76 | 2,34 | 3,30 | 3,96 |

Pişirme sıcaklığının artmasıyla tuğla bünyesinde yoğunluk azalmakta ve ergime başlamaktadır. Bu nedenle tuğla bünyesinde mikro düzeyde gözeneklilik oluşabilmektedir. Bu gözenekliliğin artmasıyla birlikte örneklerin yüzeysel su emme yeteneği artmaktadır. Deneye tabi tutulan örneklerde, referans örnekleri (T0) en düşük seviyelerde bulunurken ÇK katkısı ve artan pişirme sıcaklığının ilk su emme değerlerini arttırdığı Çizelge 5.18’de görülmektedir. ÖÇK katkısı bulunan örneklerin ilk su emme hızları, HÇK katkısı bulunduran örneklere göre daha düşük seviyelerde kalmıştır. ÖÇK kil malzemesi ile daha sıkı bir yapı içerisine girdiği, HÇK katkı yapıldığında ise çeltik kavuzu çevresinde, kil ile iyi bağ yapamadığı için yüzeysel boşlukların daha fazla olması sebebiyle, bu değerleri arttırdığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.19. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre ilk su emme hızı değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|-----------------------|-----------------|-----|--------------------|---------|-------|
| Örnek grubu (G) | 107,010 | 6 | 17,835 | 293,642 | 0,000 |
| Pişirme sıcaklığı (S) | 23,643 | 3 | 7,881 | 129,755 | 0,000 |
| G*S | 5,390 | 18 | 0,299 | 4,931 | 0,000 |
| Hata | 8,503 | 140 | 0,061 | | |
| Toplam | 438,861 | 168 | | | |

Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre ilk su emme hızı değerlerinde (Çizelge 5.18), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.19). Başka bir ifadeyle, örneklerin ilk su emme hızı değerleri; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek

grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-140)}=4,931, p<0,05$].

Çizelge 5.20. İlk su emme hızı değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 2 | 1* | 1* | 3 |
| T5 | 2* | 1 | 2* | 3 |
| T10 | 2* | 1 | 2* | 3 |
| T15 | 2* | 1 | 2* | 3 |
| TH5 | 2* | 1* | 1* | 2* |
| TH10 | 2* | 1 | 2* | 3 |
| TH15 | 1* | 1* | 2 | 3 |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Herbir örnek grubunun pişirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Referans (T0) tuğlaların 800 °C ve 900 °C’de pişirilen örneklerinde ilk su emme hızı değerleri aynı grupta yer almaktadır. Başka bir deyişle bu sıcaklıklarda pişirilen örneklerin ilk su emme hızı değerleri arasında bir farklılık yoktur. ÖÇK katkılı (T5, T10 ve T15) ve % 10 HÇK katkılı TH10 tuğlalarda ise, 700 °C ve 900 °C’de pişirilen örnekler arasında bir farklılık bulunmamaktadır. % 5 HÇK katkılı TH5 tuğlalarında ilk su emme hızı değerleri iki grupta toplanmıştır. Buna göre; 700 °C ile 1000 °C’de pişirilen ve 800 °C ile 900 °C’de pişirilen örnekler arasında bir farklılık bulunmamaktadır. % 15 HÇK katkılı tuğlalarda ise 700 °C ve 800 °C’de pişirilen örnekler arasında bir farklılık yoktur.

HÇK katkılı örneklerde ortalama ilk su emme hızı değerleri 1,86 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{dak.})$]; ÖÇK katkılı örneklerde ise 1,09 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{dak.})$] olarak bulunmuştur. Referans örneklerin ilk su emme hızı 0,44 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{dak.})$]’dır.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre ilk su emme hızı değerlerinin yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. İlk su emme hızı değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|--------------------|--------|---------------|---------|--------|-------|---------|---------|
| Sabit | -0,508 | 0,183 | | -2,776 | 0,006 | | |
| Örnek grubu | 0,334 | 0,023 | 0,721 | 14,621 | 0,000 | 0,721 | 0,752 |
| Piştirme sıcaklığı | 0,234 | 0,041 | 0,282 | 5,721 | 0,000 | 0,282 | 0,408 |
| Katkı tipi | -0,053 | 0,065 | -0,040 | -0,815 | 0,416 | -0,040 | -0,064 |

R=0,775, R²=0,601
F_(3,164)=82,389, p= 0,000

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile ilk su emme hızı değerleri arasında pozitif ve yüksek düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = 0,721$), diğer değişkenler kontrol edildiğinde de iki değişken arasındaki korelasyonun $r = 0,752$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Piştirme sıcaklığı ile ilk su emme hızı değerleri arasında pozitif ve zayıf düzeyde ($r = 0,282$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile ilk su emme hızı değerleri arasında hesaplanan negatif ve zayıf düzeyde ikili korelasyonun ($r=-0,040$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde ise yine negatif ve zayıf düzeyde ($r= -0,064$) olduğu görülmektedir.

Örnek grubu, piştirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin ilk su emme hızı değerleri ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R=0,775$, $R^2=0,601$, $p=0,000$). Bu üç değişken birlikte, ilk su emme hızı değerlerinin toplam varyansının yaklaşık % 60,1’ini açıklamaktadır. Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin ilk su emme hızı değerleri üzerinde görece önem sırası; örnek grubu, piştirme sıcaklığı ve katkı tipidir. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, örnek grubu ve sıcaklığın değerler üzerinde anlamlı etkilerinin bulunduğu, katkı tipinin ise ilk su emme değerlerini önemli oranda etkilemediği bulunmuştur.

5.3.7. Net birim hacim ağırlık

Seramiklerde, sinterleme süresinde yoğunlaşma prosesi, bünyedeki tanelerin genişlemesiyle yakından ilişkilidir. Kuvars taneleri 900 °C üzerindeki sıcaklıklarda dönüşüm yapmalarından dolayı genelde kil seramikler bu sıcaklıkta pişirilmektedir. Kil ürünlerin porozitelerinin azaltılması ve dayanım gelişiminin sağlanması amacıyla bahsedilen yüksek sıcaklıkta kil ürünleri pişirilmelidir [Lee ve Yeh, 2008]. Kil ürünlerde, termal davranışların anlaşılabilmesi amacıyla pişirme rejimi ile ilgili birçok çalışma da yapılmıştır [Carretero ve ark., 2002; Castelein ve ark., 2001; Kobayashi ve ark., 1992; Monteiro ve ark., 2004; Traore ve ark., 2000]. Kil ürün pişirildiğinde yoğunluğunun artması ve dayanımının gelişebilmesi beklenmektedir [Lee ve Yeh, 2008].

Elde edilen bulgulara göre, referans grubuna ait tuğla örnekleri (T0), tüm sıcaklıklarda en yüksek net birim hacim ağırlığa sahip olduğu Çizelge 5.22'de görülmektedir. Bununla birlikte bünyeye eklenen ÇK katkısı ve oranı arttıkça net birim hacim ağırlıklar azalmıştır.

Çizelge 5.22. Tuğla örneklerine ait net birim hacim ağırlık değerleri (kg/m³)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 1894 | 1832 | 1850 | 1846 |
| T5 | 1610 | 1562 | 1580 | 1583 |
| T10 | 1490 | 1448 | 1468 | 1468 |
| T15 | 1362 | 1323 | 1349 | 1362 |
| TH5 | 1686 | 1636 | 1662 | 1673 |
| TH10 | 1544 | 1496 | 1520 | 1527 |
| TH15 | 1265 | 1258 | 1276 | 1278 |

Üretim aşamasında bünyede bulunan ÇK katkısı pişirme süresince yanmış ve böylelikle bünyede meydana gelen ağırlık kayıplarıyla net birim hacim ağırlıklar değişmiştir. ÇK katkısının % 10'a kadar yapıldığı örnek gruplarında, ÖÇK katkısı bulunan örnekler daha düşük net birim hacim ağırlığa sahipken; % 15 ÖÇK katkısı bulunan örneklerde ham katkıya göre daha yüksek net birim hacim ağırlık elde

edilmiştir. Buna sebep olarak, ekstrüzyonda örnekler şekillendirilirken TH15 örnek grubuna ait tuğla numunelerinin yeterince kaliteli bir şekillenme ve iyi bir sıkışma yapamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.23. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre net birim hacim ağırlık değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|------------------------|------------------------|------------|--------------------|----------|-------|
| Örnek grubu (G) | 9 258 098,916 | 6 | 1 543 016,486 | 9322,359 | 0,000 |
| Piştirme sıcaklığı (S) | 63 925,872 | 3 | 21 308,624 | 128,739 | 0,000 |
| G*S | 16 273,940 | 18 | 904,108 | 5,462 | 0,000 |
| Hata | 41 710,489 | 252 | 165,518 | | |
| Toplam | 665 107 744,210 | 280 | | | |

Piştirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre net birim hacim ağırlıklarda (Çizelge 5.22), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken ile arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.23). Başka bir ifadeyle, örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri; katkı oranlarından ve piştirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek grubu ve piştirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-252)}=5,462$, $p<0,05$].

Çizelge 5.24. Net birim hacim ağırlık değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Piştirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 3 | 1 | 2* | 2* |
| T5 | 3 | 1 | 2* | 2* |
| T10 | 3 | 1 | 2* | 2* |
| T15 | 3* | 1 | 2 | 3* |
| TH5 | 3 | 1 | 2 | 2,3 |
| TH10 | 3 | 1 | 2* | 2* |
| TH15 | 1,2 | 1 | 2* | 2* |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Herbir örnek grubunun piştirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.24'de

verilmiştir. Referans (T0), % 5 ve % 10 ÖÇK katkı (T5, T10) tuğlalar ile % 10 ve % 15 HÇK katkı (TH10 ve TH15) tuğla örneklerinin, 900 °C ve 1000 °C’de pişirilen örneklerinde bir farklılık yoktur. Bunun yanında % 15 ÖÇK katkı tuğlaların 700 °C ve 1000 °C’de pişirilen örnekleri arasında da bir farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 5.24). HÇK katkı örneklerde ortalama net birim hacim ağırlık değerleri 1485 kg/m³; ÖÇK katkı örneklerde ise 1467 kg/m³ olarak bulunmuştur. Referans örneklerde net birim hacim ağırlık değerleri 1855 kg/m³, dür.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre net birim hacim ağırlık değerlerinin yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Net birim hacim ağırlık değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

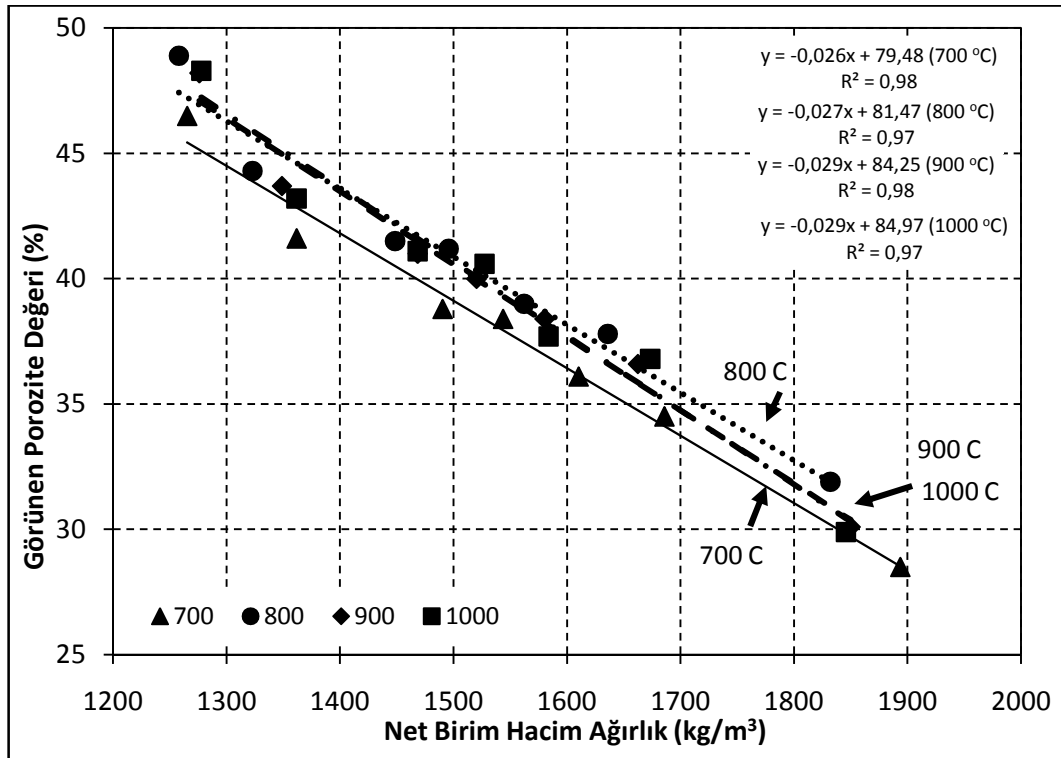
| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|---|---------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 1521,04 | 21,462 | | 70,872 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | -60,26 | 2,683 | -0,659 | -22,464 | 0,000 | -0,659 | -0,804 |
| Pişirme sıcaklığı | -2,71 | 4,799 | -0,017 | -0,565 | 0,572 | -0,017 | -0,034 |
| Katkı tipi | 149,986 | 7,667 | 0,574 | 19,564 | 0,000 | 0,574 | 0,762 |
| R=0,873, R ² =0,763 | | | | | | | |
| F _(3,276) =295,895, p= 0,000 | | | | | | | |

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile net birim hacim ağırlık değerleri arasında negatif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu (r = -0,659), ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde iki değişken arasındaki korelasyonun r = -0,804 olarak hesaplandığı görülmektedir. Pişirme sıcaklığı ile net birim hacim ağırlık değerleri arasında negatif ve zayıf düzeyde (r = -0,017) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile net birim hacim ağırlık değerleri arasında hesaplanan pozitif ve orta düzeyde ikili korelasyonun (r = 0,574), diğer iki değişken kontrol edildiğinde yine pozitif ve yüksek düzeyde (r = 0,762) olduğu görülmektedir. Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir (R=0,873, R²=0,763,

$p=0,000$). Bu üç değişken birlikte, net birim hacim ağırlık değerlerinin toplam varyansının yaklaşık % 76,3'ünü açıklamaktadır.

Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin net birim hacim ağırlık değerleri üzerinde görelî önem sırası; örnek grubu, katkı tipi ve pişirme sıcaklığıdır. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, sadece pişirme sıcaklığı değişkeninin net birim hacim ağırlık değerleri üzerindeki etkisinin anlamsız olduğu görülmektedir.

Görünen porozite değerleri ile net birim hacim ağırlık değerleri arasındaki korelasyonlar, Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Elde edilen korelasyon verilerine göre pişirme sıcaklığına bağlı olarak örneklerin net birim hacim ağırlıkları, görünen porozite değerlerinin artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 5.8. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık ile görünen porozite değerleri arasındaki korelasyon

5.3.8. Görünür yoğunluk

Tüm örnek gruplarında, ÖÇK katkısı bulunan tuğlaların görünür yoğunluğu, HÇK katkılı örneklere nazaran daha düşüktür. Genelde en fazla yoğunluğa, 1000 °C'de pişirilen örneklerin sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.26).

Piştirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünür yoğunluk değerlerinde (Çizelge 5.26), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.27). Başka bir ifadeyle, örneklerin görünür yoğunluk değerleri; katkı oranlarından ve piştirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek grubu ve piştirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-252)}=5,611, p<0,05$].

Çizelge 5.26. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri (kg/m^3)

| Örnek grubu | Piştirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|-------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 2646 | 2691 | 2646 | 2632 |
| T5 | 2521 | 2559 | 2566 | 2539 |
| T10 | 2437 | 2477 | 2488 | 2492 |
| T15 | 2333 | 2376 | 2397 | 2398 |
| TH5 | 2564 | 2631 | 2622 | 2645 |
| TH10 | 2505 | 2544 | 2534 | 2568 |
| TH15 | 2366 | 2460 | 2464 | 2472 |

Çizelge 5.27. Piştirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre görünür yoğunluk değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|------------------------|--------------------------|------------|--------------------|---------|-------|
| Örnek grubu (G) | 2 287 199,611 | 6 | 381 199,935 | 543,926 | 0,000 |
| Piştirme sıcaklığı (S) | 140 894,520 | 3 | 46 964,840 | 67,013 | 0,000 |
| G*S | 70 783,553 | 18 | 3 932,420 | 5,611 | 0,000 |
| Hata | 176 609,439 | 252 | 700,831 | | |
| Toplam | 1 781 393 850,810 | 280 | | | |

Herbir örnek grubunun piştirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.28'de

verilmiştir. Referans (T0) tuğlaların 700 °C ve 900 °C’de pişirilen örnekleri arasında, % 5 ÖÇK katkılı tuğlaların ise 800 °C ve 900 °C’de pişirilen örnekleri arasında bir farklılık yoktur. Bunun yanında, ÖÇK katkılı (T5, T10 ve T15) ve % 5 ile % 15 HÇK katkılı (TH5 ve TH15) tuğlaların 800 °C, 900 °C ve 1000 °C’de pişirilen örnekleri arasında bir farklılık bulunmamaktadır. HÇK katkılı örneklerde ortalama görünür yoğunluk değerleri 2531 kg/m³; ÖÇK katkılı örneklerde ise 2465 kg/m³ olarak bulunmuştur. Referans örneklerin görünür yoğunluğu 2654 kg/m³,dür.

Çizelge 5.28. Görünür yoğunluk değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 2* | 3 | 2* | 1 |
| T5 | 1 | 3* | 3* | 2 |
| T10 | 1 | 2* | 2* | 2* |
| T15 | 1 | 2* | 2* | 2* |
| TH5 | 1 | 2* | 2* | 2* |
| TH10 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| TH15 | 1 | 2* | 2* | 2* |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre görünür yoğunluk değerlerinin yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.29’da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Görünür yoğunluk değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|-------------------|----------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 2404,853 | 15,556 | | 154,596 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | -18,330 | 1,944 | -0,375 | -9,427 | 0,000 | -0,375 | -0,494 |
| Pişirme sıcaklığı | 15,738 | 3,478 | 0,180 | 4,525 | 0,000 | 0,180 | 0,263 |
| Katkı tipi | 87,238 | 5,557 | 0,625 | 15,699 | 0,000 | 0,625 | 0,687 |

R=0,750, R²=0,563
F_(3,276)=118,60, p= 0,000

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile görünür yoğunluk değerleri arasında negatif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = -0,375$), diğer değişkenler kontrol edildiğinde de iki değişken arasındaki korelasyonun $r = -0,494$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Pişirme sıcaklığı ile görünür yoğunluk değerleri arasında pozitif ve zayıf düzeyde ($r = 0,180$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile görünür yoğunluk değerleri arasında hesaplanan pozitif ve orta düzeyde ikili korelasyonun ($r = 0,625$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde ise yine pozitif ve orta düzeyde ($r = 0,687$) olduğu görülmektedir.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenleri birlikte, örneklerin görünür yoğunluk değerleri ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R=0,750$, $R^2=0,563$, $p=0,000$). Bu üç değişken birlikte, görünür yoğunluk değerlerinin toplam varyansının yaklaşık % 56,3'ünü açıklamaktadır. Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin görünür yoğunluk değerleri üzerinde görece önem sırası; katkı tipi, örnek grubu ve pişirme sıcaklığıdır. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, tüm değişkenlerin görünür yoğunluk değerleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu görülmektedir.

5.3.9. Kapiler su emme katsayısı

Su, yapı malzemelerinin bozulmasına yol açan temel etkidir. Malzemenin gözenekli bünyesine su nüfuz ettiği zaman ortama zararlı maddeleri taşımaktadır. Homojen gözenekli malzeme ıslaklık yüzünden sürekli akışkana maruz kaldığında akışkan likit, kapiler absorpsiyon nedeniyle bünyede önemli bir biçimde artış gösterebilir [Hanzic ve Ilic, 2003]. Beton ve duvar gibi gözenekli yapı malzemelerinde malzemenin durabilitesi ve görünümünü tahmin etmek için sıvı akışının bilinmesi önemlidir [Culligan ve ark., 2005].

Kapiler su emme, agresif ortamlarda sıvılara maruz kalan malzemelerin dirençlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir parametredir [Lockington ve Parlange, 2003].

Piştirme süresince, kil mineraliyle reaksiyona giren kalsiyum silikat formasyonu ve CO₂'in salınımıyla daha fazla porozite açığa çıkmakta; teorikte de bu durum kapileritenin daha yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır [Raimondo ve ark., 2009]. Nitekim piştirme sıcaklığının artması ile birlikte örneklerin kapilerite değerlerinde artışlar görülmüştür (Çizelge 5.30).

Çizelge 5.30. Örneklere ait kapiler su emme katsayıları (g/m².t^{0,5})

| Örnek grubu | Piştirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|-------------------------|-----|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 441 | 247 | 252 | 532 |
| T5 | 474 | 192 | 405 | 911 |
| T10 | 602 | 291 | 604 | 1094 |
| T15 | 629 | 343 | 723 | 1195 |
| TH5 | 615 | 506 | 424 | 773 |
| TH10 | 726 | 577 | 737 | 1154 |
| TH15 | 1366 | 989 | 1621 | 1746 |

Sinterleme olayının henüz başlamadığı sıcaklık olan 700 °C'de pişen örneklerde kapiler su emme katsayısı, sinterlemenin başladığı düşünülen 800 °C'de pişen örneklerden daha yüksek seviyelerdedir. Katsayıdaki düşüşün bünyede oluşan eriyik faz oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte artan piştirme sıcaklığı ve katkı oranı kapiler su emme katsayısını arttırmıştır. Artan piştirme sıcaklığı ile bünyede oluşan reaksiyonlar sonucu mikro çatlakların ve kapalı gözeneklerin miktarında artışlar gerçekleştiği ve bu durumun kapiler su emme katsayısını yükselttiği düşünülmektedir. Bu veriler ışığında artan ÇK katkısının ve piştirme sıcaklığının tuğla örneklerin kapileritesini arttırdığı ve en yüksek kapileriteye TH15 örneklerinin sahip olduğu görülmektedir.

ÖÇK, HÇK'ya göre kil ile daha yüksek oranda adhezyon özelliği gösterdiği ve bu nedenle kapilerite değerlerinin ÖÇK katkılı örneklerde daha düşük seviyelerde gerçekleştiği de düşünülmektedir.

Kapilerite, numunenin durabilite açısından agresif ortamlardaki davranışı hakkında tahmin yapabilme olanağı vermektedir. Gözenekli ve kapileritesi yüksek bir

malzeme agresif ortamlara karşı direnç göstermede yetersiz kalabilir. Bu nedenle yapı malzemelerinin durabilite açısından dayanıklı ve sağlam bir yapıda davranmaları için kapilarite değerlerinin mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir [Lockington ve Parlange, 2003].

Su emmenin sinterleme sonrası amorf fazın miktarını etkileyen kuvarsin miktarı ve yoğunlukla yakın ilişkide olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte en yüksek sinterleme derecesi (su emme en az oranda) hammaddelerde ve katkı içeriklerindeki en yüksek kuvars miktarlarıyla ilişkilendirilebilir. 1050 °C'nin üzerinde, su emme değerleri daha fazla likit faz oluşumları nedeniyle azalır. Bu faz gözeneklere nüfuz ederek onları doldurur ve komşu gözeneklerden ayırır. Likit yüzey gerilimi ve kapilarite gözenekleri birbirlerine yaklaştırır ve porozite düşer; bu durum, bu sıcaklık aralığında su emmenin keskin düşüşünü açıklamaktadır. Serbest CaO'in kademeli artışı, dolomit prosesinde CaCO₃'ün kısmi ayrışmasından ileri gelmektedir. CaCO₃'ün varlığı likit fazın oluşumunu etkiler ve reaksiyonu değiştirir. Pişirme sırasında bu ayrışma daha fazla oranda gözenekli bir yapı oluşmasına eğimli pişmiş numunelerin dış kısmında CO₂ salınımıyla beraber gelişir. Yapının dışında daha fazla CO₂ salınımı nedeniyle toplam porozite kademeli olarak artmaktadır [Baccour ve ark., 2009]. Bu sebeple, pişirme sıcaklığının artmasıyla toplam porozitedeki artışın kapilarite değerlerini yükselttiği düşünülmektedir.

5.3.10. Basınç mukavemeti

Yapısal uygulamalarda tuğlanın basınç mukavemeti malzeme özellikleri açısından çok önemli bir parametredir. Genelde tuğla basınç mukavemetinin artması duvarın dayanımının ve elastik modülünün artması anlamına gelmektedir [İnternet-9, 1992].

Basınç mukavemeti, yapı malzemeleri uygulamalarında mühendislik kalitesinin sağlanması için kullanılan çok önemli bir parametredir [Mahllawy, 2008]. Bu nedenle üretilen örneklerin basınç mukavemet değerlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Örneklerin pişirilmesinin ardından tüm sıcaklıklarda ilgili örnek gruplarının basınç mukavemet değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, genelde pişirme sıcaklığının artması ile birlikte tuğla bünyesinde daha fazla sinterleşme gerçekleştiği ve vitrifikasyonun da artmasıyla birlikte örneklerin basınç mukavemet değerlerinin arttığı düşünülmektedir (Çizelge 5.31).

Çizelge 5.31. Örneklerin basınç mukavemeti değerleri (MPa)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|------|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 6,6 | 11,7 | 17,0 | 17,1 |
| T5 | 3,8 | 8,8 | 9,2 | 9,0 |
| T10 | 3,0 | 7,3 | 6,9 | 7,0 |
| T15 | 2,0 | 4,7 | 5,7 | 6,0 |
| TH5 | 4,3 | 8,3 | 9,8 | 10,9 |
| TH10 | 3,8 | 4,8 | 7,2 | 7,0 |
| TH15 | 1,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 |

Referans örnekleri tüm sıcaklıklarda en yüksek basınç mukavemeti değerlerini verirken en yüksek basınç mukavemeti, 1000 °C'de pişirilen örneklerde 17,1 MPa olarak elde edilmiştir. ÇK katkılı tuğla örneklerinde ise katkı oranının artmasıyla birlikte basınç mukavemet değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu düşüşlerin HÇK katkı bulunan örneklerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında % 15 HÇK katkı bulunan TH15 örnekleri, yeterli ve düzgün bir yapılanma gösterememesi neticesinde bünyede sıkı bir bağlanma yapamadığı ve bu nedenle tüm örnek grupları içerisindeki en düşük basınç mukavemet değerlerine sahip oldukları düşünülmektedir.

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre örneklerin basınç mukavemet değerlerinde (Çizelge 5.31), ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Çizelge 5.32). Başka bir ifadeyle, örneklerin basınç mukavemet değerleri; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur [$F_{(18-140)}=3,984$, $p<0,05$].

Çizelge 5.32. Pişirme sıcaklığı ve örnek grubuna göre basınç mukavemeti değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$)

| Varyansın Kaynağı | Kareler Toplamı | sd | Kareler Ortalaması | F | p |
|------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------|-------|
| Örnek grubu (G) | 1831,423 | 6 | 305,237 | 83,853 | 0,000 |
| Piştirme sıcaklığı (S) | 646,111 | 3 | 215,370 | 59,165 | 0,000 |
| G*S | 261,031 | 18 | 14,502 | 3,984 | 0,000 |
| Hata | 509,622 | 140 | 3,640 | | |
| Toplam | 10 855,510 | 168 | | | |

Çizelge 5.33. Basınç mukavemeti değerlerinin duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

| Örnek grubu | Piştirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 1 | 2 | 3* | 3* |
| T5 | 1 | 2* | 2* | 2* |
| T10 | 1 | 2 | 3* | 3* |
| T15 | 1 | 2 | 2,3 | 3 |
| TH5 | 1 | 2* | 2* | 2* |
| TH10 | 1* | 1* | 2* | 2* |
| TH15 | 1 | 2* | 2* | 2* |

*: $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark yoktur.

Herbir örnek grubunun piştirme sıcaklıklarına göre yapılan duncan çoklu karşılaştırma testine göre oluşan altkümeler (1, 2, 3 ve 4), Çizelge 5.33'de verilmiştir. Referans (T0) tuğlaların 900 °C ve 1000 °C'de piştirilen örnekleri arasında, % 10 ÖÇK katkılı (T10) tuğlaların ise 900 °C ve 1000 °C'de piştirilen örnekleri arasında bir farklılık yoktur. Bunun yanında, % 5 ÖÇK katkılı (T5) ve % 5 ile % 15 HÇK katkılı (TH5 ve TH15) tuğlaların 800 °C, 900 °C ve 1000 °C'de piştirilen örnekleri arasında bir farklılık bulunmamaktadır. % 10 HÇK katkılı tuğlalarda, 700 °C ile 800 °C'de piştirilen ve 900 °C ile 1000 °C'de piştirilen örnekler arasında farklılık yoktur.

Katkı tipine göre bir değerlendirme yapıldığında ise, HÇK katkılı örneklerde ortalama basınç mukavemet değerleri 5,2 MPa; ÖÇK katkılı örneklerde ise 6,1 MPa'dır. Referans örneklerin (T0) basınç mukavemeti ise 13,1 MPa'dır.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerine göre basınç mukavemet değerlerinin yordanmasına ilişkin regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.34'de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Basınç mukavemeti değerlerinin yordanmasına ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

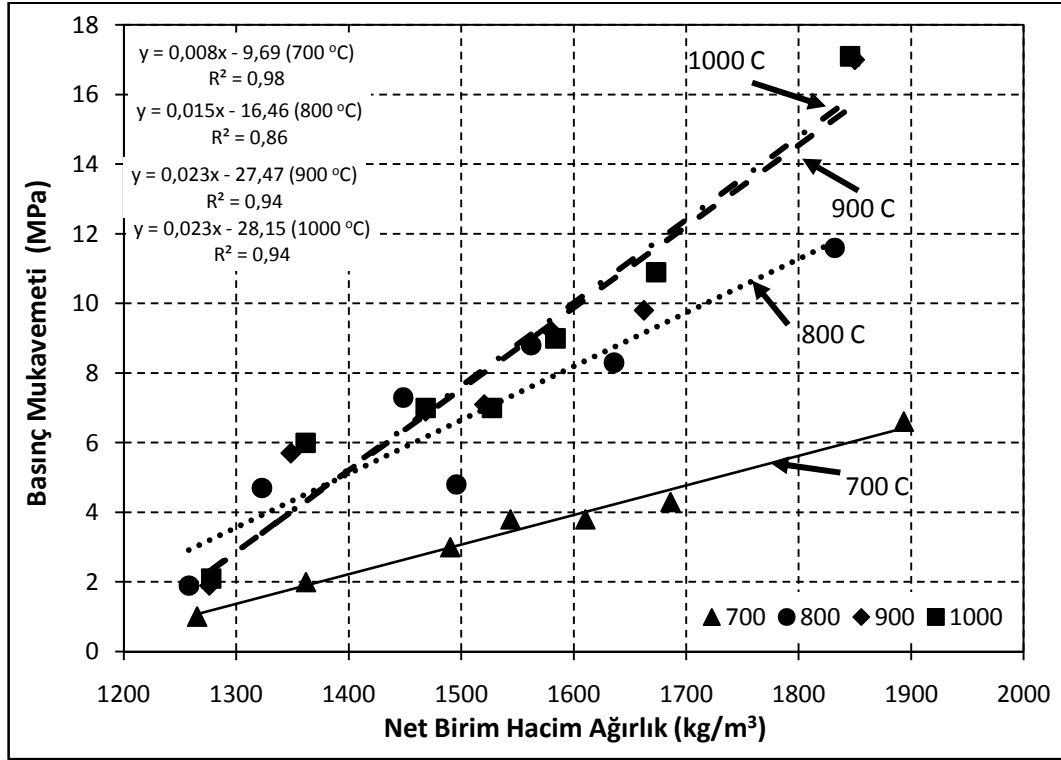
| Değişken | B | Standart Hata | β | T | p | İkili r | Kısmi r |
|-------------------|--------|---------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Sabit | 3,781 | 0,803 | | 4,710 | 0,000 | | |
| Örnek grubu | -1,293 | 0,100 | -0,588 | -12,891 | 0,000 | -0,588 | -0,709 |
| Pişirme sıcaklığı | 1,610 | 0,179 | 0,409 | 8,969 | 0,000 | 0,409 | 0,574 |
| Katkı tipi | 2,390 | 0,287 | 0,380 | 8,337 | 0,000 | 0,380 | 0,546 |

R=0,811, R²=0,658
F_(3,164)=105,371, p= 0,000

Yordayıcı değişkenlerle bağımlı (yordanan, ölçüt) değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde, örnek grubu ile basınç mukavemeti değerleri arasında negatif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu ($r = - 0,588$), diğer değişkenler kontrol edildiğinde de iki değişken arasındaki korelasyonun $r = - 0,709$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Pişirme sıcaklığı ile basınç mukavemeti değerleri arasında pozitif ve orta düzeyde ($r = 0,409$) bir ilişki bulunmaktadır. Katkı tipi ile basınç mukavemeti değerleri arasında hesaplanan pozitif ve orta düzeyde ikili korelasyonun ($r = 0,380$), diğer iki değişken kontrol edildiğinde ise yine pozitif ve orta düzeyde ($r = 0,546$) olduğu görülmektedir.

Örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipi değişkenlerinin tümü, örneklerin basınç mukavemeti değerleri ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir (R=0,881, R²=0,658, p=0,000). Bu üç değişken, basınç dayanımı değerlerinin toplam varyansının yaklaşık % 65,8'ini açıklamaktadır. Standardize edilmiş regresyon katsayısına (β) göre, yordayıcı değişkenlerin basınç mukavemeti değerleri üzerinde görece önem sırası; örnek grubu, pişirme sıcaklığı ve katkı tipidir. Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin t-testi sonuçları incelendiğinde ise, tüm etkenlerin sonuçlar üzerinde etkili oldukları belirlenmiştir.

Basınç mukavemeti değerleri ile net birim hacim ağırlık değerleri arasındaki korelasyonlar, Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Elde edilen korelasyon verilerine göre örneklerde net birim hacim ağırlık değerlerinin artmasıyla birlikte basınç mukavemet değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5.9. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık ile basınç mukavemeti değerleri arasındaki korelasyon

5.3.11. Donma-çözülme

Tuğlanın iyi bir durabiliteye sahip olması yüksek mekanik dayanımı için önemlidir. Donma-çözülme karakteristiklerini geliştirmenin bir yolu plastiklik suyunu, gözenek miktarını ve gözenek çapını azaltarak tuğlanın doluluğunu arttırmaktır [Qing ve ark., 2009].

Üretimi yapılan örneklerin donma-çözülme deneyi gerçekleştirilmiş ve ardından uygun örnekler basınç dayanım testine tabi tutularak sonuçlar Çizelge 5.35'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 700 °C'de pişirilen tüm örnekler ve 800 °C'de

pişirilen T15, TH10 ve TH15 örnekleri deney sırasında parçalanırken diğer örnekler donma-çözülme testini tamamlamıştır.

Çizelge 5.35. Örneklerin donma-çözülme sonrası basınç mukavemet değerleri (MPa)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-----|------|------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | - | 6,6 | 15,0 | 14,9 |
| T5 | - | 6,2 | 11,1 | 11,3 |
| T10 | - | 6,4 | 9,1 | 10,9 |
| T15 | - | - | 4,6 | 5,1 |
| TH5 | - | 5,6 | 7,0 | 9,1 |
| TH10 | - | - | 5,6 | 5,9 |
| TH15 | - | - | 1,7 | 1,9 |

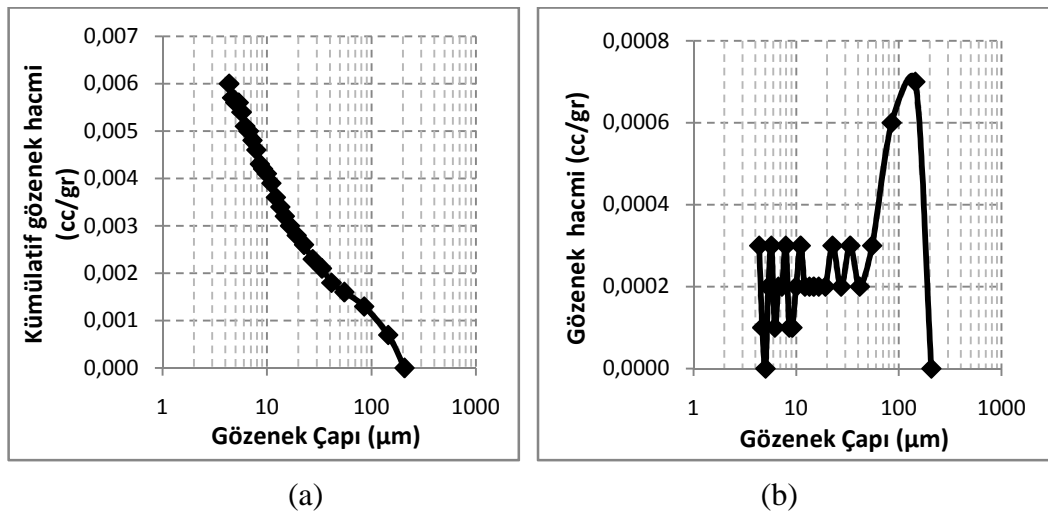
Donma-çözülme deneyi sonrasında yapılan basınç mukavemet testine göre örneklerde katkı oranının artması, mukavemet değerlerini azaltıcı bir etken olmuştur. Bir sonraki bölümde verilen porozimetre sonuçları da dikkate alındığında HÇK katkılı örneklerde bulunan gözenek miktarlarının, öğütülmüş katkı bulunan tuğla örneklerine kıyasla daha fazla olması sebebiyle donma-çözülme döngüsü içerisinde bünyede daha fazla çatlak oluşumları geliştiği ve dolayısıyla basınç mukavemet değerlerinin düşüş gösterdiği düşünülmektedir.

Agresif ortamlara dayanıklılık açısından, örneklerin yüksek sıcaklıklarda (900 ve 1000 °C) pişirilmesiyle tuğla örneklerinin donma-çözülme olayına daha dayanıklı oldukları gözlenmiştir. ÇK katkılı örneklerde ise katkı oranının artması mukavemet üzerinde olumsuz bir etki oluşturmuştur. Genel olarak donma-çözülme deneyi sonunda tüm örneklerde basınç mukavemet kaybı görülmüştür.

5.3.12. Porozimetre

Gözenek çapı ve hacim ilişkileri (700 °C)

Referans örneklerin gözenek çapı dağılımı 207,7 μm – 4,36 μm arasında değişmektedir (Şekil 5.10 (a)). Gözenek çapına göre, gözenek hacimleri Şekil 5.10 (b)'de gösterilmiş olup toplam gözenek hacmi 0,0061 cc/g'dır.



Şekil 5.10 (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (T0-700 °C)

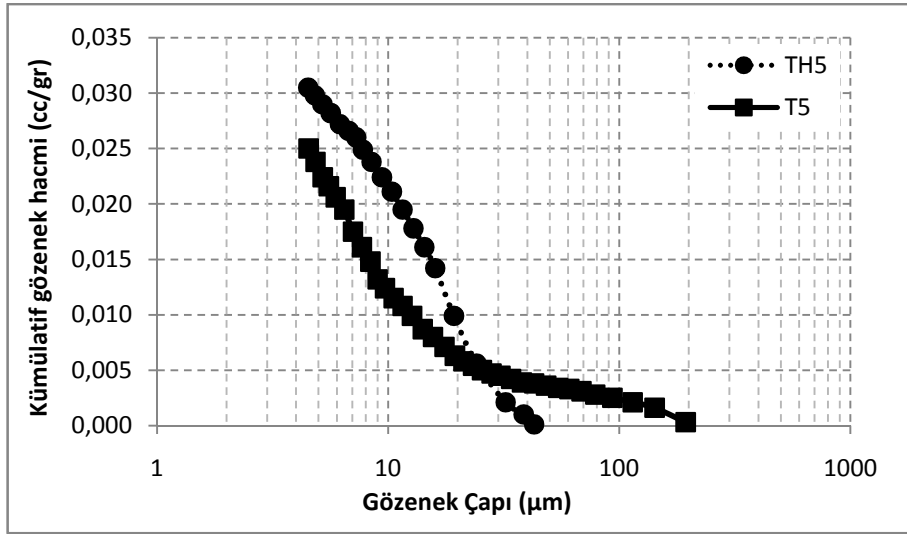
Katkılı örneklerin gözenek dağılımları Çizelge 5.36'da, kümülatif gözenek hacmi ve gözenek hacimlerine ait grafikler ise Şekil 5.11 – Şekil 5.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.36. Örneklerin gözenek çapı dağılımları (700 °C)

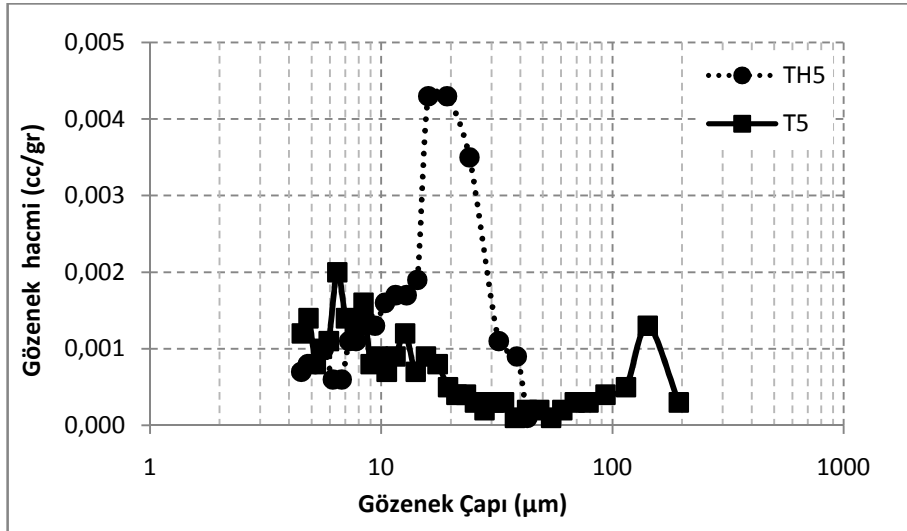
| Örnek Grubu | Gözenek Dağılımı (μm) | Örnek Grubu | Gözenek Dağılımı (μm) |
|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|
| T5 | 195,5 - 4,53 | TH5 | 42,78 - 4,51 |
| T10 | 42,82 - 4,48 | TH10 | 42,84 - 4,52 |
| T15 | 42,70 - 4,51 | TH15 | 225,40 - 4,38 |

Tuğla örneklerine % 5 oranında eklenen ÇK katkısı örneklerin toplam gözenek hacimlerini referans örneklere oranla arttırmıştır. HÇK bulunan örneklerde, ÖÇK bulunan örneklere göre tuğla bünyede daha fazla boşluk oluştuğu gözlenmiştir (Şekil

5.11 (a). Gözenek hacimleri incelendiğinde ise TH5 örnekleri, T5 örneklerine oranla 10 μm 'den daha büyük çaplı gözeneklerde daha fazla gözenek hacmine sahip oldukları görülmüştür (Şekil 5.11 (b)). Bununla birlikte, TH5 örnekleri T5 örneklerine göre daha fazla gözenek hacmine sahip olmasına rağmen, T5 örneklerinde daha büyük çaplı gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir.



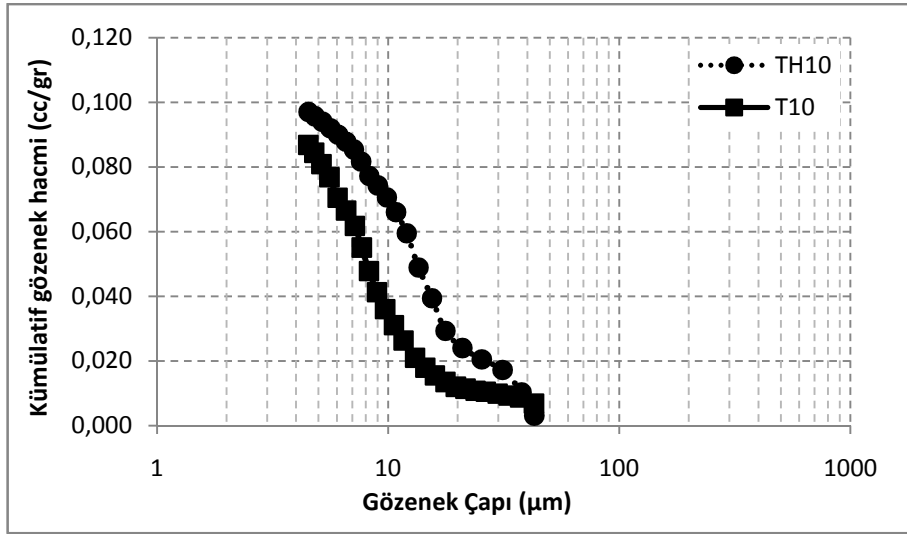
(a)



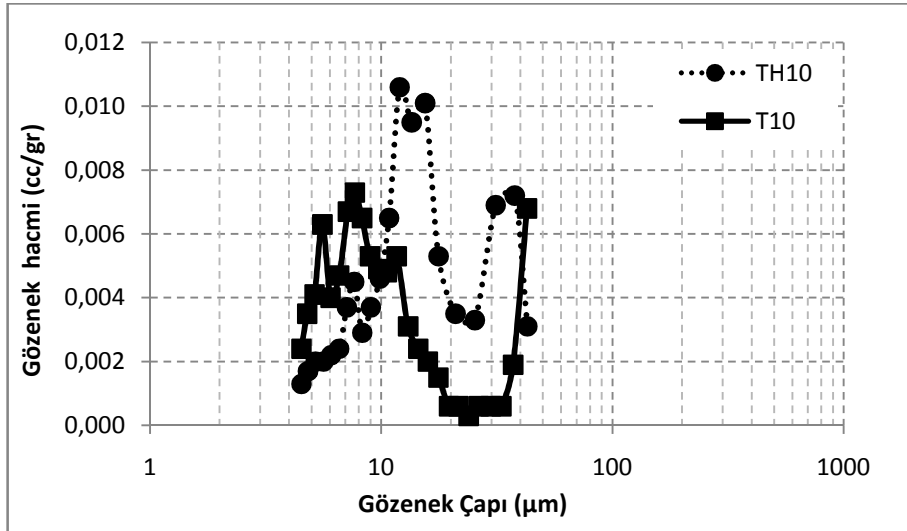
(b)

Şekil 5.11. % 5 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 $^{\circ}\text{C}$)

Tuğla örneklerde ÇK katkısının artmasıyla birlikte bünyede bulunan gözenek hacmi artış göstermektedir. % 10 ÇK katkılı örneklerde HÇK katkılı örnekler, ÖÇK katkılı örneklerle göre daha fazla gözenek hacmine sahiptir (Şekil 5.12 (a)). Genel olarak TH10 örneklerinde bulunan gözeneklerin çapı, T10 örneklerinde bulunan gözeneklerin çaplarından daha büyük oldukları gözlenmiştir (Şekil 5.12 (b)).



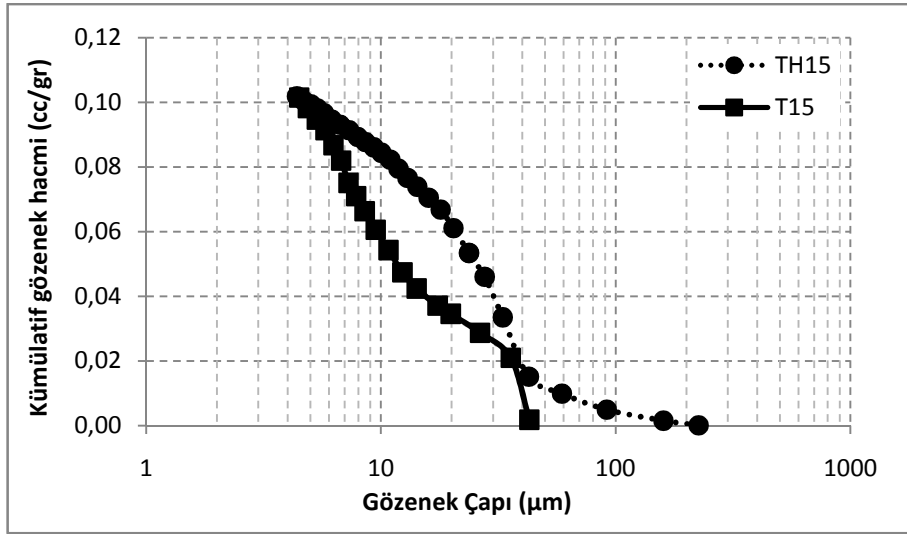
(a)



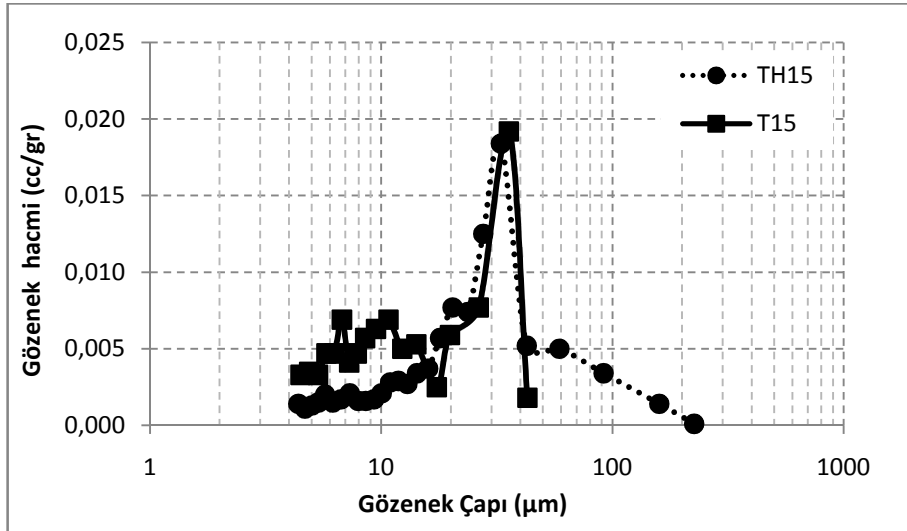
(b)

Şekil 5.12. % 10 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 °C)

Kümülatif gözenek hacimleri incelendiğinde, % 15 ÇK katkılı örneklerde toplam gözenek hacminin birbirine yakın değerler verdiği (Şekil 5.13 (a)), bununla birlikte Şekil 5.13 (b)'de görüldüğü gibi TH15 örneklerinin, T15 örneklerine göre daha büyük çaplı gözeneklere sahip olduğu belirlenmiştir. 700 °C'de pişirilen örnekler içerisinde en büyük gözenek çapına TH15 örneklerinin sahip oldukları görülmüştür.



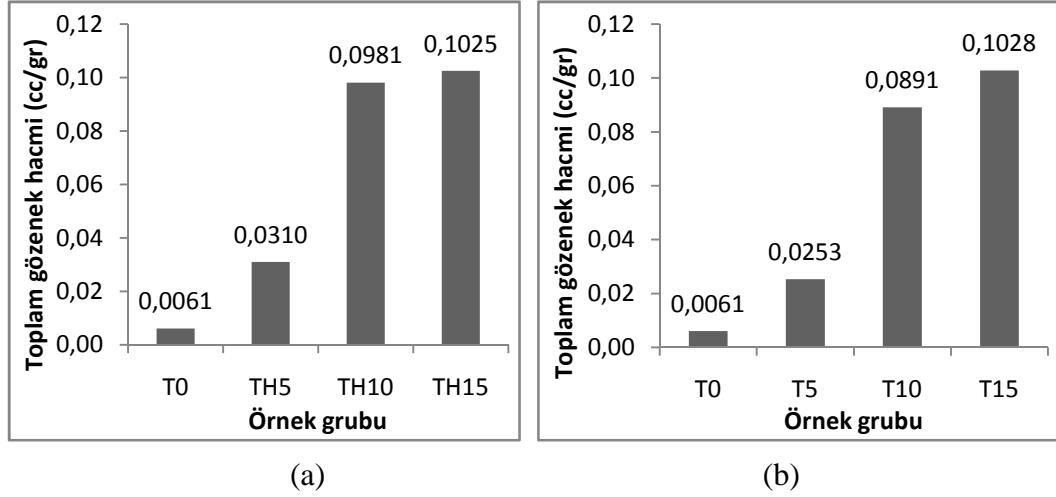
(a)



(b)

Şekil 5.13. % 15 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (700 °C)

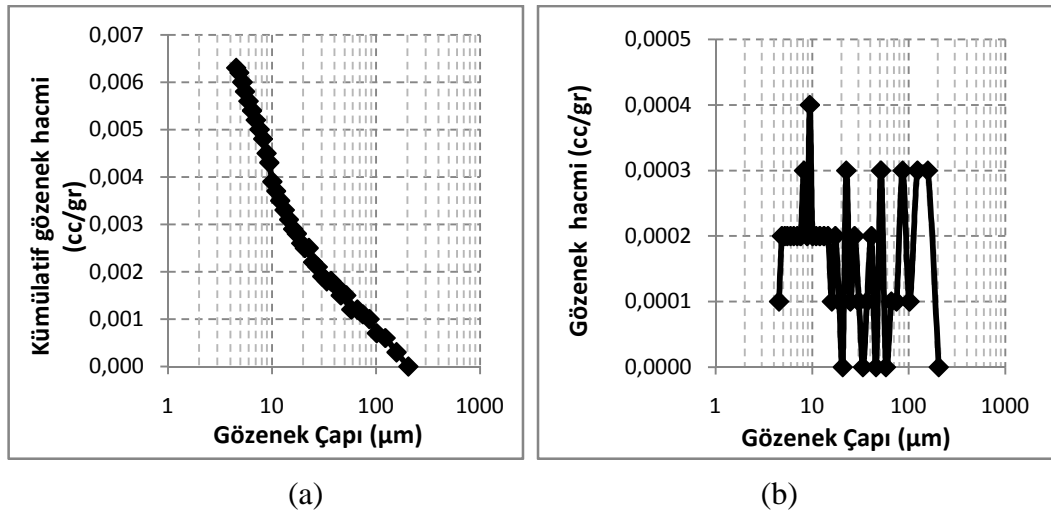
Örneklerin üretiminde kullanılan ÇK katkısı bünyedeki gözenek hacimlerinin dolayısıyla gözenekliliğin artmasına neden olmuştur. Bunun yanında HÇK katkılı örnekler, ÖÇK katkılı örneklerle karşılaştırıldığında bünyelerinde daha fazla gözenek bulduklarını gözlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 (a). HÇK katkılı, (b). ÖÇK katkılı örneklerin toplam gözenek hacmi (700 °C)

Gözenek çapı ve hacim ilişkileri (900 °C)

Referans örneklerin gözenek çapı dağılımı 205,05 μm – 4,28 μm arasında değişmektedir (Şekil 5.15 (a)). Gözenek çapına göre, gözenek hacmi Şekil 5.15 (b)'de gösterilmiş olup toplam gözenek hacmi 0,0065 cc/g'dır.



Şekil 5.15 (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (T0-900 °C).

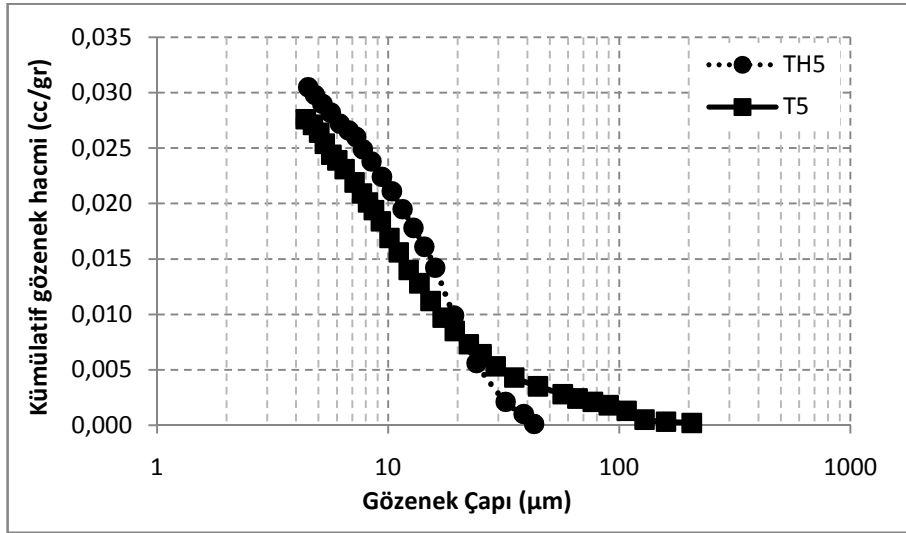
Katkılı örneklerin gözenek dağılımı Çizelge 5.37'de, kümülatif gözenek hacmi ve gözenek hacimlerine ait grafikler ise Şekil 5.16 – Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.37. Örneklerin gözenek çapı dağılımları (900 °C)

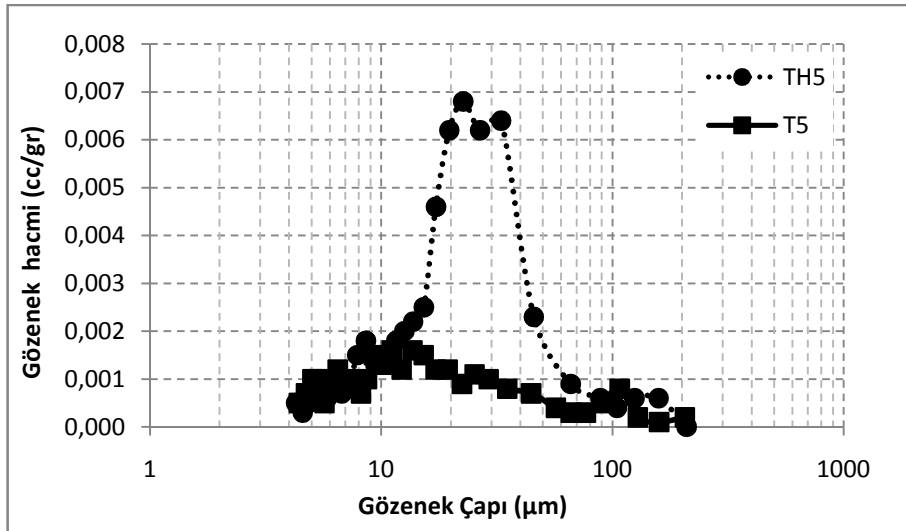
| Örnek Grubu | Gözenek Dağılımı (μm) | Örnek Grubu | Gözenek Dağılımı (μm) |
|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|
| T5 | 205,7 – 4,40 | TH5 | 209,20 – 4,28 |
| T10 | 202,5 – 4,43 | TH10 | 214,50 – 4,44 |
| T15 | 205,9 – 4,44 | TH15 | 210,30 – 4,96 |

Örneklerin artan pişirme sıcaklığına paralel olarak kümülatif gözenek hacmi ve gözenek çapında artışlar görülmüştür. ÇK katkılı örneklerde, 700 °C'de pişirilen örneklerin gözenek çapı genelde 100 μm 'nin altında kalırken 900 °C'de pişirilen örneklerde gözenek çapının 200 μm 'yi geçtiği görülmüştür.

% 5 ÇK katkılı örnek gruplarında, HÇK katkılı TH5 örneklerinin T5 örneklerine oranla daha fazla gözenek hacmine ve daha büyük çaplı gözeneklere sahip oldukları gözlenmiştir (Şekil 5.16).



(a)

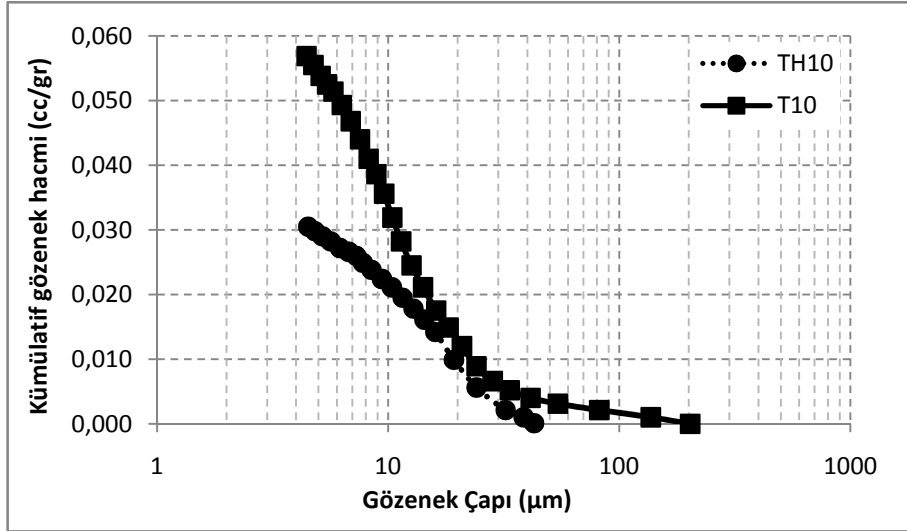


(b)

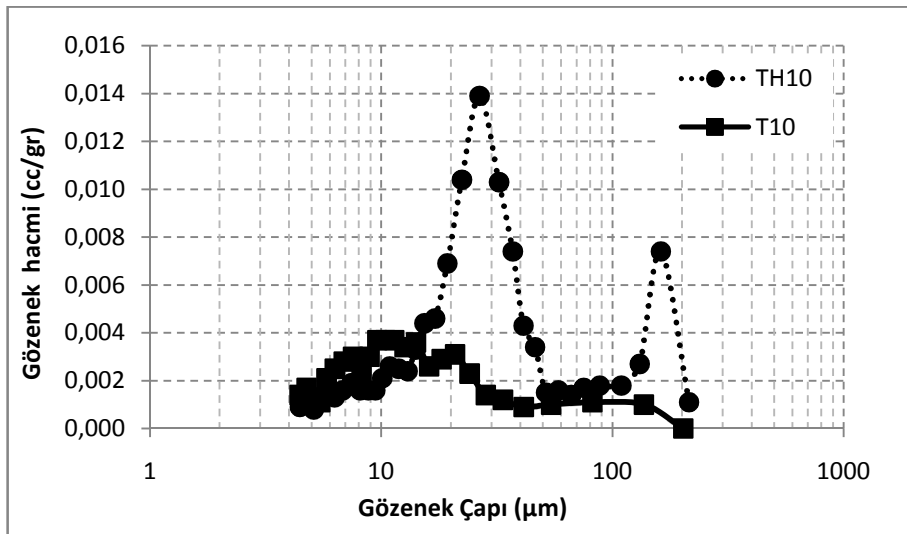
Şekil 5.16. % 5 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C)

HÇK katkısının % 10 oranında yapıldığı örneklerde (TH10), 700 °C'de pişirilen örnekleriyle kıyaslandığında kümülatif gözenek hacmi, artan pişirme sıcaklığı ile birlikte artmıştır (Şekil 5.17 (a)) Bununla birlikte ÖÇK katkısı bulunan T10

örneklerinde gözenek hacimleri pişirme sıcaklığının artması ile birlikte azalma göstermiştir (Şekil 5.17 (b)).



(a)

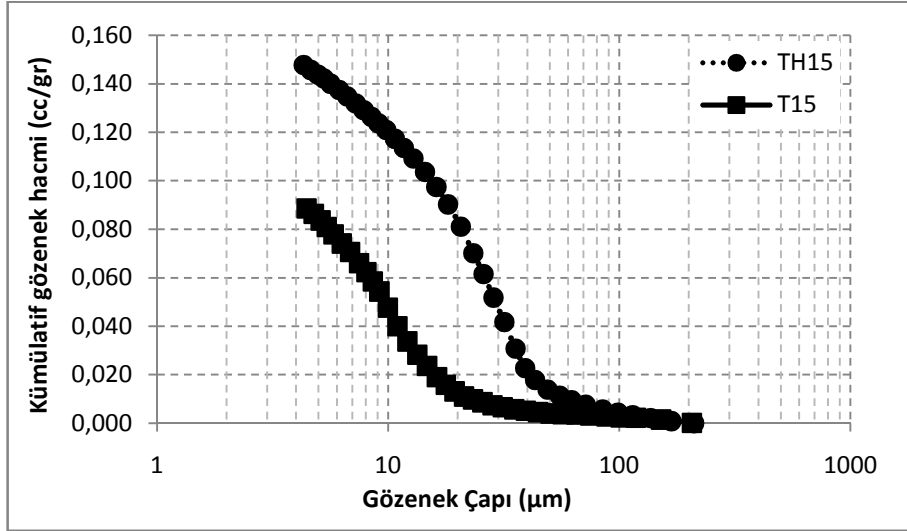


(b)

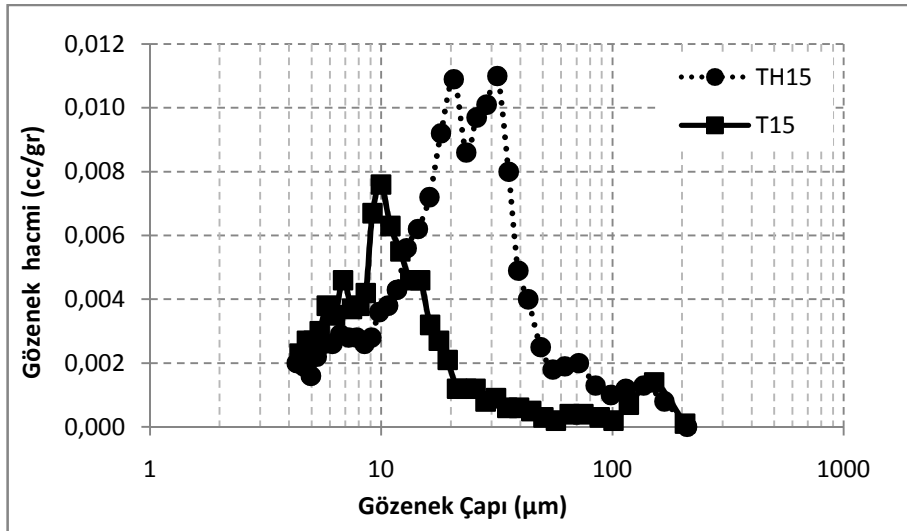
Şekil 5.17. % 10 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C)

% 15 ÇK katkılı örnekler içerisinde HÇK bulunan TH15 örneklerinde pişirme sıcaklığının artması kümülatif gözenek hacmini ve gözenek çapı büyüklüğünü arttırmıştır (Şekil 5.18 (a)). ÖÇK katkısının bulunduğu T15 örneklerinde ise kümülatif gözenek hacmi artan pişirme sıcaklığı ile azalmıştır. Örneklerin düşük

sıcaklıklarda daha küçük gözenek çapı dağılımına sahipken artan pişirme sıcaklığı ile gözenek çapı dağılımının daha geniş bir aralıkta bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 5.18 (b)).



(a)

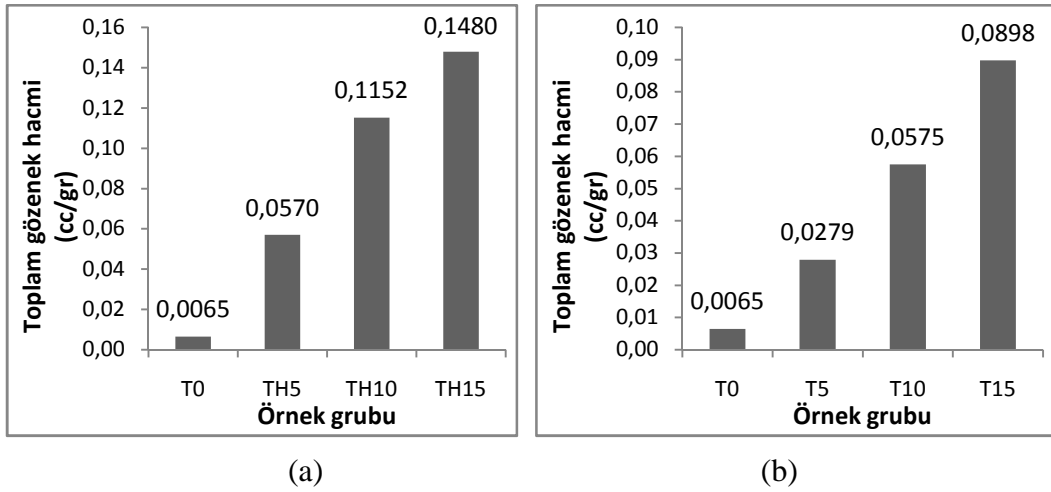


(b)

Şekil 5.18. % 15 ÇK katkılı örneklerde, (a). Kümülatif gözenek hacmi, (b). Gözenek çapı-hacim ilişkisi (900 °C)

Artan pişirme sıcaklığı ile birlikte örneklerin kümülatif gözenek hacminde bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Elde edilen bulgulara göre HÇK katkılı örneklerde artan pişirme sıcaklığı kümülatif gözenek hacimlerinde artış meydana getirmiştir.

ÖÇK katkıli T10 ve T15 örneklerinde ise tam tersi bir durum gerçekleşerek kümülatif gözenek hacimlerinde bir miktar azalmalar meydana gelmiştir. Daha önceki kısımlarda artan pişirme sıcaklığı ve katkı oranıyla birlikte örneklerin bünyelerindeki küçülme değerlerinin arttığı belirtilmişti. Buna istinaden HÇK katkıli örneklerde daha fazla küçülme değerleri elde edilmesinden dolayı küçülen bünyede bulunan açık gözeneklerin kısmen birleşerek daha fazla gözenek bulunduğu izlenimi verdiği düşünülmektedir. Örneklerin kümülatif gözenek hacimleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 (a). HÇK katkıli, (b). ÖÇK katkıli örneklerin toplam gözenek hacmi (900 °C)

5.3.13. Isı iletkenlik katsayısı

Dünyada enerji kazancı ekonomi ve çevre açısından önemli bir konudur. Yapılarda enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 33'ünü oluşturmaktadır ve bunun yarısı duvarlarda kaybolmaktadır. EN 832 nolu standartta bölge ve iklim koşullarına göre duvarların, 0,4 - 0,7 W/mK yada daha düşük ısı transfer katsayısına sahip olan malzemelerden yapılması gerektiği belirtilmektedir [Sütçü ve Akkurt, 2009].

Enerji kazancı gereksiniminin giderek artması ve alternatif yapı malzemelerinde artan rekabetten dolayı kil tuğlaların ısı yalıtım özellikleri son zamanlarda gittikçe önemli bir hal almıştır. Literatürde yer alan çalışmalara göre tuğlanın termal

iletkenliği esasen yoğunluk ile ilişkilidir. Çünkü daha fazla poroziteli malzemenin üretimi termal yalıtım özelliklerinin artması anlamına gelmektedir [Dondi ve ark., 2004]. Isı yalıtımında en önemli değişken malzemenin kuru haldeki görünen özgül ağırlığıdır. Nedeni ise, malzemenin en hafif olanının, en iyi ısı yalıtım karakteristiklerine sahip olmasıdır [Diaz ve ark., 2007].

Tuğlalarda ısı iletkenlik katsayılarının, yoğunluk ve porozite ile ilişkili olduğu da belirtilmiştir [Sütçü ve Akkurt, 2009]. Bu nedenle, tuğla bünyesinde gözenek oranı arttıkaça, ısı iletkenlik katsayısının azalacağı düşünölmektedir. Bünyede gözenek oranının artmasıyla yoğunluğun azalması da beklenmektedir.

Bu bağlamda çalışmada üretilen tüm örneklerin ısı iletkenlik katsayıları, ilgili standartta verilen limitlere uygun olduğu belirlenmiştir. Örneklerin ısı iletim katsayıları incelendiğinde referans (T0) örneklerin pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte iletkenlik değerlerinin arttığı görölmüştür. En yüksek ısı iletkenlik değeri 1000 °C’de pişirilen örneklerde 0,548 W/mK olarak elde edilirken, 800 °C’de pişirilen ürünlerde en düşük değerler elde edilmiştir (Çizelge 5.38).

Çizelge 5.38. Örneklere ait ısı iletkenlik katsayısı (λ) değerleri, (W/mK)

| Örnek grubu | Pişirme sıcaklığı (°C) | | | |
|-------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| T0 | 0,493 | 0,445 | 0,494 | 0,548 |
| T5 | 0,404 | 0,338 | 0,392 | 0,441 |
| T10 | 0,311 | 0,235 | 0,353 | 0,381 |
| T15 | 0,277 | 0,233 | 0,263 | 0,290 |
| TH5 | 0,295 | 0,277 | 0,333 | 0,405 |
| TH10 | 0,243 | 0,223 | 0,254 | 0,267 |
| TH15 | 0,201 | 0,165 | 0,173 | 0,179 |

Sinterlemenin başladığı düşünölen 800 °C’den itibaren, sıcaklığın yükselmesiyle örneklerin porozite değerleri azalmakta, net birim hacim ağırlıkları ise artmaktadır. Dolayısıyla örneklerin ısı iletkenlik değerleri de artış göstermektedir. En iyi yalıtım özelliği gösteren tuğla, % 15 HÇK katkılı TH15 örnek grubuna ait tuğladır. Bu tuğla, 0,165 W/mK ısı iletim katsayısıyla tüm örnek grupları içerisindeki en düşük değere

sahip olan grubu oluşturmaktadır. Isı iletkenlik katsayısının artması numunenin yalıtım özelliğinin kötüleşmesi veya azalması anlamına gelmektedir. ÇK katkılı örneklerde de referans örneklerde olduğu gibi pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte ısı iletim katsayıları artış göstermiştir. HÇK katkılı örneklerin, ÖÇK katkı bulunan örneklere nazaran ısı iletim katsayılarının daha düşük seviyelerde olduğu, buna ilaveten ısı yalıtım özelliklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. ÖÇK'nın daha yoğun bir yapı oluşturması nedeniyle bu sonucun alındığı belirtilmektedir [Mishra ve ark., 1986].

Tuğla örneklerinden elde edilen ısı iletkenlik katsayılarının benzer yapı malzemeleriyle karşılaştırmalarını yapmak amacıyla TS 825'de verilen bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayı değerleri Çizelge 5.39'da verilmiştir.

Çizelge 5.39. Bazı malzemelerin birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayısı değerleri (TS 825, 1998)

| Malzeme veya bileşenin çeşidi | Hacim küt. (kg/m ³) | Isı ilet. (λ);(W/mK) |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Pomza blok | 500 - 800 | 0,20 - 0,39 |
| Gaz beton bloklar | 400 - 800 | 0,20 - 0,29 |
| TS 704, 705 tuğlalar | 1200 - 2000 | 0,50 - 0,96 |
| Yatay delikli tuğlalar | ≤ 1000 | 0,45 |
| Normal beton (donatılı) | 2400 | 2,10 |
| Donatısız beton | 2200 | 1,74 |

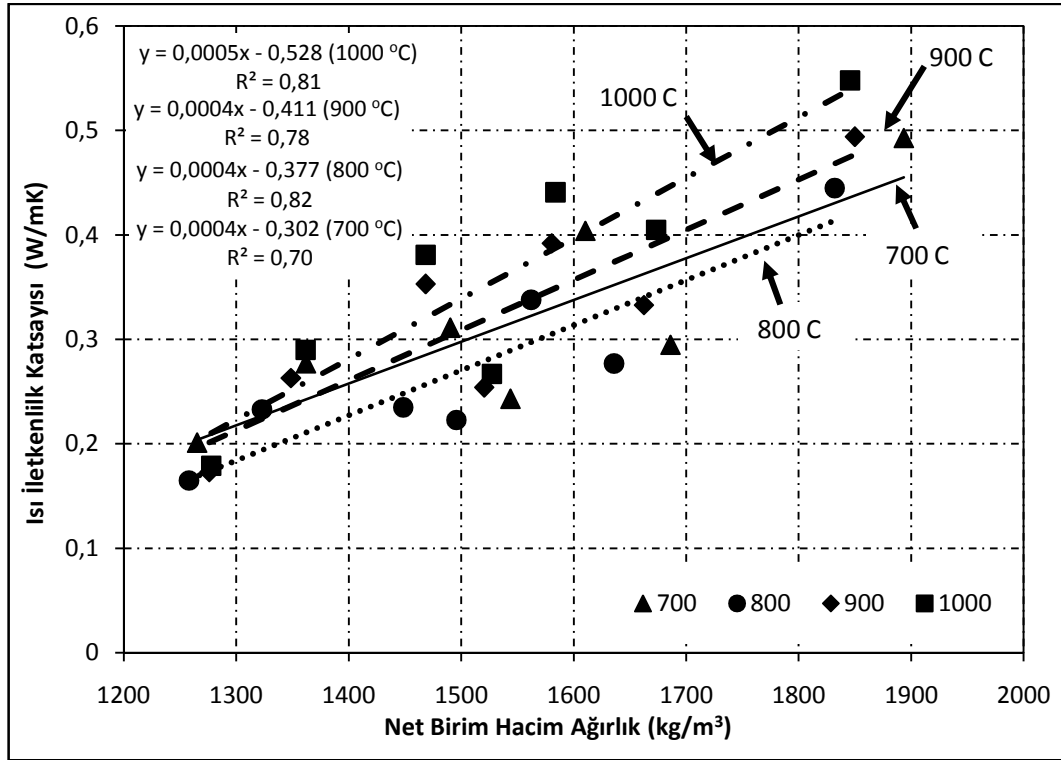
Örneklerden elde edilen ve TS 825'de verilen tuğlaların ısı iletkenlik değerleri kıyaslandığında, ÇK katkılı örneklerin, ısı iletkenlik değerlerini önemli oranda düşürdükleri görülmüştür. TS 825 nolu standartta düşey delikli tuğlalar için ısı iletkenlik değeri 0,5 W/mK olarak belirtilmiştir. Bu değer dikkate alındığında ÇK katkısının ısı iletkenlik değerleri üzerinde ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.39'da verildiği gibi, pomza blok elemanları ve yatay delikli tuğlaların birim hacim ağırlıkları genelde 1000 kg/m³'den daha düşük seviyelerdedir. Bununla birlikte çalışmada üretilen ÇK katkılı tuğla örneklerin birim hacim ağırlıkları 1265 – 1686 kg/m³'tür. Bu değerler pomza blok elemanları ve yatay delikli tuğlaların

değerleriyle karşılaştırıldığında ÇK katkıli tuğlaların daha yoğun oldukları görülmüştür. Daha yoğun bir yapıya rağmen ÇK katkıli tuğlaların ısı iletkenlik değerlerinin bu malzemelerle aynı seviyede olması ise ÇK katkısının ısı iletkenlik özelliklerini ne kadar önemli bir düzeyde etkilediği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Referans tuğlaların 900 °C'de pişirilen örneklerinde, ısı iletkenlik katsayısı 0,494 W/mK'dir. % 15 HÇK katkıli TH15 tuğlaların aynı sıcaklıkta pişirilen örneklerinde ise ısı iletkenlik katsayısı 0,173 W/mK'dir. Başka bir deyişle, TH15 tuğlaları ısı iletkenlik katsayısını referans örneğe göre % 65 oranında düşürmüştür.

Örneklerin net birim hacim ağırlıkları ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Elde edilen grafiklerde, tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayılarıyla net birim hacim ağırlık değerleri arasında doğrusal bir bağıntı olduğu ve literatürde var olan bilgilerle uyumluluk gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 5.20. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki korelasyon

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

ÇK'nın tuğla kiline, ÖÇK ve HÇK olarak hacimsel oranda ikame edilmesiyle üretilen örneklerden elde edilen bulgulara göre;

- ÖÇK katkısı karışımların limit değerlerini arttırıcı bir etki oluşturmuştur. % 15 ÖÇK katkılı karışım, plastik limit değerini referans karışıma göre % 39,5 oranında arttırmıştır.
- ÇK katkılı örneklerin plastiklik suyu değerleri referans örneklere oranla, % 15,2 - % 63,8 arasında değişen oranlarda artış göstermiştir.
- Pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte tüm tuğla örneklerinde toplam doğrusal küçülme ve kızdırma kaybı oranları artış göstermiştir. ÇK katkı oranının artmasıyla, toplam doğrusal küçülme oranları azalmıştır.
- Örneklerde sinterlemenin başladığı düşünülen 800 °C'den sonra artan pişirme sıcaklığı; görünen porozite değerlerini azaltmış, ilk su emme hızı ve kapiler su emme katsayılarını ise arttırmıştır.
- Tuğla bünyesinde % 10'a kadar ÇK katkısı bulunan örneklerde, ÖÇK katkısı HÇK katkılı örneklere göre; su emme oranlarını arttırırken, net birim hacim ağırlıkları düşürmüştür. Bununla birlikte % 15 ÇK katkılı örnekler içerisinde, ÖÇK katkılı örnekler daha düşük su emme oranına ve daha yüksek net birim hacim ağırlığa sahiptir.
- En yüksek basınç mukavemeti, referans örneklerin (T0) 1000 °C'de pişirilen örneklerinde 17,1 MPa olarak elde edilmiştir. ÇK katkısı ise tuğla örneklerin basınç mukavemet değerlerini azaltmıştır.

- Regresyon katsayılarının t-testi sonuçlarına göre; pişirme sıcaklığının su emme oranlarına ve net birim hacim ağırlıklara önemli bir etkisinin olmadığı, ilk su emme hızı değerlerine ise katkının öğütülmüş veya ham halde katılmasıyla bu değerlerin sonuçlarını önemli miktarda etkilemediği belirlenmiştir.
- Porozimetre deney sonuçlarına göre, ÇK katkısının artması örneklerin kümülatif gözenek hacmini arttırmıştır. Genelde HÇK katkılı örnekler, ÖÇK katkılı örneklere göre daha gözenekli bir yapıya sahiptir.
- Pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte tüm örneklerin ısı iletkenlik değerleri artmıştır. En yüksek ısı iletkenlik değeri 1000 °C'de pişirilen referans (T0) örneklerde 0,548 W/mK olarak elde edilmiştir.
- ÇK katkılı tuğla örneklerin birim hacim ağırlıkları 1265 – 1686 kg/m³'tür. Bu değerler TS 825'de belirtilen pomza blok elemanları ve yatay delikli tuğlaların değerleriyle karşılaştırıldığında, ÇK katkılı tuğlaların daha yoğun oldukları görülmüştür. Daha yoğun bir yapıya rağmen ÇK katkılı tuğlaların ısı iletkenlik değerlerinin bu malzemelerle aynı seviyede olması ise ÇK katkısının ısı iletkenlik özelliklerini ne kadar önemli bir düzeyde etkilediği gerçeğini ortaya koymaktadır.
- Referans tuğlaların 900 °C'de pişirilen örneklerinde, ısı iletkenlik katsayısı 0,494 W/mK'dir. % 15 HÇK katkılı TH15 tuğlaların aynı sıcaklıkta pişirilen örneklerinde ise ısı iletkenlik katsayısı 0,173 W/mK'dir. Bu açıdan bakıldığında TH15 tuğlaları, ısı iletkenlik katsayısını referans örneğe göre % 65 oranında düşürmüştür.

6.2. Öneriler

Yapılan bu çalışmaya göre değinilmesi gereken bazı hususlar aşağıda verilmiştir. Buna göre;

- Tuğlada ÇK'nın kullanılmasıyla atık bir ürünün geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliğinin önüne geçilmekle birlikte, tuğla üretiminde kullanılan ve oluşumu uzun yıllar süren verimli toprağın kullanımını azaltılarak yine çevresel bir yarar sağlanacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, hammadde kullanımını azaltmayı amaçlayacak şekilde katkıların kullanılmasına gayret edilmelidir.
- Etkin enerji kullanımının amaçlandığı günümüzde malzemelerin düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları istenmektedir. Tuğla gibi malzemelerde ise bu durum ancak bünyenin gözenekli hale getirilmesi ile gerçekleşebilir. ÇK, tuğlanın birim hacim ağırlığını azaltarak örneklerin ısı iletim katsayılarını düşürmüştür. Bu sebeple, enerji tasarrufu açısından ÇK katkılı tuğlaların önemli oranda yalıtım özelliklerine sahip oldukları ve kullanılabilir oldukları düşünülmektedir.
- Basınç mukavemeti açısından tuğla üretiminde hacimsel olarak HÇK katkısının % 10, ÖÇK katkısının ise % 15 oranına kadar kullanılabileceği, bununla birlikte HÇK katkılı tuğlaların daha iyi ısı iletim özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Diğer özellikler bakımından ise ÇK katkı tipinin sonuçlar üzerinde çok fazla etkili olmadıkları görülmüştür. Bu durumda ÇK'nın öğütülmesi hem zaman alan hemde enerji gerektiren bir işlem olması sebebiyle HÇK'nın tuğla üretiminde kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.
- Sonuç olarak, basınç mukavemet değerleri ve ısı iletim katsayıları göz önüne alındığında; 800 °C ve üzerinde pişirilen ve HÇK katkısının % 15 oranında yapıldığı TH15 örnekleri dışında kalan, ÖÇK (T5, T10 ve T15) ve

HÇK (TH5 ve TH10) katkılı tuğlaların yapılarda ısı yalıtım özelliğine sahip olması istenen bölme duvarlarda kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

Alcantara, A. C. S., Beltrao, M. S. S., Oliveira, H. A., Gimenez, I. F., Barreto, L. S., “Characterization of Ceramic Tiles Prepared From Two Clays From Sergipe – Brazil”, *Applied Clay Science*, 39 (3-4): 160-165 (2008).

ASTM D 4404, “Standard Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry”, *ASTM*, (2004).

Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F., Mhiri, T., “Influence of Firing Temperature on The Ceramic Properties of Triassic Clays from Tunisia”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 2812-2817 (2009).

Balgaranova, J., Petkov, A., Pavlova L., Alexandrova, E., “Utilization of wastes from the coke-chemical production and sewage sludge as additives in the brick-clay”, *Water, Air, Soil Pollution Journal*, 150 (1-4): 103-111 (2003).

Başpınar, M. S., Demir, İ., “Utilization of opium seeds as an organic pore forming agent in heavy clay products”, *Key Engineering Materials*, v.: 264-268, n.:III, Euro Ceramic VIII: 2255-2258 (2004).

Bayat, O., Bayat, B., “Çimento sanayi atıksu arıtma çamurunun tuğla üretiminde kullanımının araştırılması”, *Madencilik*, 37 (1): 27-34 (1998).

Bideci, A., Bideci, Ö. S., “Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Trakya Univ. J. Sci*, 8(2): 69-76 (2008).

Bormans, P., “Ceramics are More than Clay Alone: Raw Materials, Products, Applications”, *Cambridge International Science Publishing*, ISBN: 9781898326779 9781904602316, 104 (2003).

Bui, D. D., Hu, J., Stroeven, P., “Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded portland cement concrete”, *Cement & Concrete Composites*, 27: 357-366 (2005).

Büyüköztürk, Ş., “Veri Analizi El Kitabı”, *Pagem Yayıncılık*, 4. Baskı, (2003).

Carretero, M. I., Dondi, M., Fabbri, B. and Raimondo, M., “The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays”, *Appl. Clay Sci.*, 20: 301–306 (2002).

Castelein, O., Soulestin, B., Bonnet, J. P. and Blanchart, P., “The influence of heating rate on the thermal behaviour and mullite formation from a kaolin raw material”, *Ceram. Int.*, 27: 517–522 (2001).

Ceylantekin, R., “Organik ve İnorganik Gözenek Yapıcı Madde Katkılarının Yapı Malzemelerine Etkisi”, *Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E.*, Y.Lisans Tezi, Kütahya, (2002).

Chandrasekhar, S., Satyanarayana K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P., Gupta, T. N., “Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk- An overview”, *Journal of Materials Science*, 38 (15): 3159-3168 (2003).

Chidiac, S. E., Federico, L. M., “Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick”, *Can. J. Civ. Eng.*, 34: 1458-1466 (2007).

Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., “Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash”, *Construction and Building Materials*, 21: 1356-1361 (2007).

Culligan, P. J., Ivanov, V., Germaine, J. T., “Sorptivity and Liquid Infiltration Into Dry Soil”, *Advanced in Water Resources*, 28: 1010-1020 (2005).

Cultrone, G., Rodriguez, N. C., Sebastian, E., Cazalla, O., Torre, M. J., “Carbonate and Silicate Phase Reactions During Ceramic Firing”, *Eur. J. Mineral*, 13: 621-634 (2001).

Cultrone, G., Sebastian, E., “Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks”, *Construction and Building Materials*, 23: 1178-1184 (2009).

Cultrone, G., Sebastian, E., Elert, K., Torre, M.J., Cazalla, O., Navarro, R. N., “Influence of Mineralogy and Firing Temperature on the Porosity of Bricks”, *Journal of the European Ceramic Society*, 24: 547-564 (2004).

Çolakoğlu, A., “Binalarda ısı yalıtımlı dış sıva yapılabirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, F. B. E.*, Isparta, (2004).

Demir, İ., “Afyon bölgesi tüflerinin tuğla üretiminde kullanılması”, Doktora Tezi, *Gazi Ün. F.B.E.*, Ankara, (2001).

Demir, İ., “An investigation on the production of construction brick with processed waste tea”, *Building and Environment*, 41 (9): 1274-1278 (2006).

Demir, İ., “Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks”, *Waste Management*, 28 (3): 622-627 (2008).

Demir, İ., Başpınar, M. S., Orhan, M., “Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production”, *Building and Environment*, 40: 1533-1537 (2005).

Demir, İ., Başpınar M S., Orhan M., Evcin A., Kumlulaş D., Görhan G., Kahraman, E. ve Şahin M., “Uçucu Külün Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanımının

Araştırılması”, *Tübitak Projesi Sonuç Raporu, Afyonkarahisar*, (2008). (TUBİTAK: Proje no:106M002).

Dengiz, E., “Değirmisaz Kömür Üstü Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E.*, Kütahya, (2009).

Diaz, J. J. C., Nieto, P. J. G., Biempica, C. B., Gero, M. B. P., “Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hallow brick walls design by the finite element method”, *Applied Thermal Engineering*, 27: 1445-1456 (2007).

Dondi, M., Marsigli, M., and Venturi, I., “Microstructure and mechanical properties of clay bricks: comparison between fast firing and traditional firing”, *British Ceramic Journal*, 98 (1): 12-18 (1999).

Dondi, M., Mazzanti, F., Principi, P., Raimondo, M., Zanarini, G., “Thermal Conductivity of Clay Bricks”, *Journal of Materials In Civil Engineering*, January/February: 8-14 (2004).

Elinwa, A. U., “Effect of addition of sawdust ash to clay bricks”, *Civil Engineering and Environmental System*, 23 (4): 263-270 (2006).

Esen, Y., “Poliakrilonitril Lifi Takviyeli Betonların Isıl İletkenliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3: 93-96 (2003).

Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, M., Sugita, S., “Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment”, *Cement and Concrete Research*, 34: 521-526 (2004).

Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K., “Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete”, *Construction and Building Materials*, 22 (8): 1675-1683 (2008).

Gastaldini, A. L. G., Isaia, G. C., Gomes, N. S., Sperb, J. E. K., “Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical activators”, *Cement & Concrete Composites*, 29: 176-180 (2007).

Giaccio, G., Sensale, G. R., Zerbino, R., “Failure mechanism of normal and high-strength concrete with rice-husk ash”, *Cement & Concrete Composites*, 29 (7): 566-574 (2007).

Gülser, C., İç, S., Candemir, F., Demir, Z., “Effects of Rice Husk Application on Mechanical Properties and Cultivation of A Clay Soil with and without Planting”, *International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology*, 217-223, Turkey (2008).

Güner, M. S., Süme, V., “Yapı Malzemesi ve Beton”, *Aktif Yayınevi*, ISBN: 975-6755-21-0, (2000).

Gürsu, S., “Başçatak (Akdağmadeni-Yozgat) Muskovit-Şistlerin Teknolojik Özellikleri ve Endüstriyel Alanda Kullanım İmkanları”, 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 229-237, (2003).

Hanzic, L., Ilic, R., “Relationship Between Liquid Sorptivity and Capillarity in Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33: 1385-1388 (2003).

Hwang, C. L., Chandra, S., “The Use of Rice Husk Ash in Concrete”, Chapter: 4, pp. 184-234, *Waste Material Used in Concrete Manufacturing*, Edited by Satish Chandra, ISBN: 0-8155-1393-3, *Noyes Publications*, U.S.A., (1997).

İşcan, L., “Çeltik Raporu”, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı, Ankara, (2002).

İnternet-1: International Rice Research Institute “About the Almanac”, <http://beta.irri.org>, 29.10.2008 (2008).

İnternet-2: Türkiye İstatistik Kurumu.
http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=45&ust_id=13, 28.10.2008 (2008).

İnternet-3: “Technical Notes 9 - Manufacturing of Brick”, *Technical Notes on Brick Construction*, <http://www.bia.org>, 25.09.2009 (2006).

İnternet-4: “The brick production”,
http://wb2006en.genesto.com/i_The_B_40469.html, 12.03.2008 (2008).

İnternet-5: Duvar Tuğlaları, <http://www.cevikblok.com/duvartipi.htm>, (2007).

İnternet-6: Sirkeçiler Tuğla, <http://www.sirkeçiler.com.tr/images/Image9.gif>, (2007).

İnternet-7: http://www.bloksan.com.tr/images2/normal_pres_tugla.JPG, (2007).

İnternet-8: “Zeminlerde likit limit, plastik limit ölçümü ve plastisite indisinin bulunması”, *Mühendislik Hizmetleri Normları*, 1. baskı, Norm no. EİE-98, Elektrik işleri etüt idaresi genel müdürlüğü, Ankara,
http://www.eie.gov.tr/turkce/yek/hes/jeoloji/jeo_normlar/98_kayazemin.doc, 16.06.2010, (1998).

İnternet-9: “Technical Notes 3A - Brick Masonry Material Properties”, *Technical Notes on Brick Construction*, <http://www.bia.org>, 25.09.2009, (1992).

Jauberthie, R., Rendell, F., Tamba, S., Cisse, I., “Origin of the pozzolanic effect of rice husks”, *Construction and Building Materials*, 14: 419-423 (2000).

Jordan, M. M., Sanfeliu, T., Fuente, C., “Firing transformations of Tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies”, *Applied Clay Science*, 20: 87-95 (2001).

Juliana A. C., Wander, L. V., Boccaccini, A. R., “Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks”, *Ceramics International*, 35: 665-671 (2009).

Karakaya, M. Ç., “Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri”, ISBN: 975-6151-29-3, Ankara, (2006).

Karaman, M. E., Kibici, Y., “Temel Jeoloji Prensipleri”, ISBN: 975-94970-18, (2008).

Karaman, S., “Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu”, *K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 125-130 (2006).

Karaman, S., Gunal, H., Erşahin, S., “Assesment Clay Bricks Compressive Strength using Quantitative Values of Colour Components”, *Construction and Building Materials*, 20: 348-354 (2006).

Kobayashi, Y., Ohira, O., Ohashi, Y. and Kato, E., “Effect of Firing Temperature on Bending Strength of Porcelains for Tableware” *J. Am. Ceram. Soc.*, 75 (7): 1801–1806 (1992).

Köseoğlu, K., “Talaş ve Strafor Katılarak Tuğla Üretimi”, *C. B. Ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2 (8): (2007).

Kumlutaş, D., Tavman, İ. H., “Alüminyum Oksit Tane Katkılı Polietilen Matriksli Kompozitlerin Isı İletim Katsayısı”, *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2): 19-25 (2003).

Lee, V. G., Yeh, T. H., “Sintering Effects on The Development of Mechanical Properties of Fired Clay Ceramics”, *Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 485(1-2): 5-13 (2008).

Leonelli, C., Bondioli, F., Veronesi, P., Romagnoli, M., Manfredini, T., Pellacani, G. C., Cannillo, V., “Enhancing the Mechanical Properties of Porcelain Stoneware Tiles: A Microstructural Approach”, *Journal of the European Ceramic Society*, (21): 785-793 (2001).

Liew, A. G., İdriz, A., Wong, C. H. K., Samad, A. A., Noor, M. J. M. M., Baki, A. M., “Incorporating of sewage sludge in clay brick and its characterization”, *Waste Management and Research*, 22 (4): 226-233 (2004).

Lockington, D. A., Parlange, J. Y., “Anomalous water absorption in porous materials”, *Journal of Physics, Applied Physics*, 36 (6): 760-767 (2003).

Loryuenyong, V., Panyachai, T., Kaewsimork, K., Siritai, C., “Effects of Recycled Glass Substitution on the Physical and Mechanical Properties of Clay Bricks”, *Waste Management*, 29 (10): 2717-2721 (2009).

Lu, G., Max Lu, G. Q. and Xiao, Z. M., “Mechanical Properties of Porous Materials”, *Journal of Porous Materials*, 6: 359–368 (1999).

Mahllawy, M. S., “Characteristics of Acid Resisting Bricks Made From Quarry Residues and Waste Steel Slag”, *Construction and Building Materials*, 22: 1887-1896 (2008).

Mansaray, K. G., Ghaly, A. E., “Physical and Thermochemical Properties of Rice Husk”, *Energy Sources, PartA: Recovery Utilization, and Environmental Effects*, 19: 989-1004 (1997).

Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A., Russo, U., “Influence of Firing Conditions on Ceramic Products: Experimental Study on Clay Rich in Organic Matter”, *Applied Clay Science*, 31, 1-15, (2006).

Marras, S. I., Ihtiaris, I. A., Hatzitrifon, N. K., Sikalidis, K., Aifantis, E. C., “A preliminary Study of Stress-Assisted Fluid Penetration in Ceramic Bricks”, *Journal of The European Ceramic Society*, 20: 489-495 (2000).

Mbumbia, L., Wilmars, A. M., “Behaviour of Low-Temperature Fired Laterite Bricks Under Uniaxial Compressive Loading”, *Construction and Building Materials*, 16: 101-112 (2002).

Mekki, H., Anderson, M., Amar, E., Skerratt, G. R., Benzina, M., “Olive oil waste water as a replacement for fresh water in the manufactured of fired clay bricks”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81 (8): 1419-1425 (2006).

Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. A., Lira, H., Ferreira, H. C., “Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles”, *Journal of the European Ceramic Society*, 25: 1149-1158 (2005).

Milheiro, F. A. C., Freire, M. N., Silva, A. G. P., Holanda, J. N. F., “Densification Behaviour of a Red Firing Brazilian Kaolinitic Clay”, *Ceramics International*, 31: 757-763 (2005).

Miniotaite, R., “Hygric Properties of Building Materials”, *Proceedings 7th symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, (2005).

Mishra, P., Chakraverty, A., Banerjee, H. D., “Studies on Physical and Thermal Properties of Rice Husk Related to its Industrial Application”, *Journal of Materials Science*, 21: 2129-2132 (1986).

Monteiro, S. N., Vieira, C. M. F., Ribeiro, M. M., Silva, F. A. N., “Red ceramic industrial products incorporated with oily wastes”, *Construction and Building Materials*, 21: 2007-2011 (2007).

Monteiro, S. N. and Vieira, C. M. F., “Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil”, *Appl. Clay Sci.*, 27: 229–234 (2004).

Musthafa, A. M., Janaki, K., Velraj, G., “Microscopy, Porosimetry and Chemical Analysis to Estimate the Firing Temperature of Some archaeological Pottery Shreds from India”, *Microchemical Journal*, 95 (2): 311-314 (2010).

Nair, D., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K., Kentgens, A. P. M., “A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes”, *Cement and Concrete Research*, 38 (6): 861-869 (2008).

Nastro, V., Vuono, D., Guzzu, M., Niceforo, G., Bruno, I., Luca, P., “Characterisation of Raw Materials for Production of Ceramics”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 84: 181-184 (2006).

Nehdi, M., Duquette, J., Damatty, A. E., “Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33: 1203-1210 (2003).

Noni, A. D., Hotza, D., Soler, V. C., Vilches, E. S., “Influence of Composition on Mechanical Behaviour of Porcelain Tile. Part I: Microstructural Characterization and Developed Phases After Firing”, *Materials Science and Engineering: A*, 527 (7-8): 1730-1735 (2010).

Okongwu, D. A., “Effects of additives on the burnt properties of clay brick”, *American Ceramic Society Bulletin*, 67 (8): 1409-1417 (1988).

Onaylı, S., “Binalarda Isı Yalıtımı ve Son Teknolojik Gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, F. B. E.*, Isparta, (2002).

Orhun, O., “İnşaat Tuğlası ve Kiremit İmaline Elverişli Toprakların Tanınması”, *Maden ve Teknik Arama Dergisi*, 63: 54-58 (1964).

Oyetola, E. B., Abdullahi, M., “The use of rice husk ash in low-cost sandcrete block production”, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 8: 58-70 (2006).

Öztürk, A. Ç., “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Pozolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi”, *I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi*, (2002).

Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M. V., Mellado, A., Ordonez, L. M., "Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method", *Cement and Concrete Research*, 31: 227-231 (2001).

Peterson, B., "Why Clay Bodies Shrink", (<http://pottery.about.com>, 28.06.2010), (2010).

Pilko, C., "Why Aren't You Firing Faster?", *Ceramic Industry*, (2000).

Poupeleer, A. S., Carmeliet, J., Roels, S., Gemert, D. V., "Validation of the salt diffusion coefficient in porous materials", *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 9 (6): 663-682 (2003).

Qing, Z. F., Jing, Z., Jie, L. H., "Autoclaved Brick From Low-Silicon Tailings", *Construction and Building Materials*, 23: 538-541 (2009).

Raimondo, M., Dondi, M., Gardini, D., Guarini, G., Mazzanti, F., "Predicting the Initial Rate of Water Absorption in Clay Bricks", *Construction and Building Materials*, 23: 2623-2630 (2009).

Ramachandran, V. S., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., Delgado, A. H. "Clay-Based Construction Products", Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials, *Noyes Publication*, New York, 491-530 (2002).

Raut, N. S., Biswas, P., Bhattacharya, T. K., Das, K., "Effect of Bauxite Addition on Densification and Mullitization Behaviour of West Bengal Clay", *Bulletin of Materials Science*, 31 (7): 995-999 (2008).

Ridgway, C., Gane, P. A. C., ABD, A. E. G., Czachor, A., "Water absorption into construction materials: comparison of neutron radiography data with network absorption models", *Transport in Porous Media*, 63: 503-525 (2006).

Ryu, S. E., Kim, T. N., "Pulverization of Rice Husks and The Changes of Husk Densities", *Journal of Materials Science*, 32: 6639-6643 (1997).

Saboya J, F., Xavier, G. C., Alexandre, J., "The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic", *Construction and Building Materials*, 21, 1950-1960, (2007).

Saraswathy, V., Song, H. W., "Corrosion performance of rice husk ash blended concrete", *Construction and Building Materials*, 21, 1779-1784, (2007).

Segadaes, A. M., Carvalho, M. A., Acchar, W., "Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products", *Applied Clay Science*, 30: 42-52, (2005).

Sensale, G. R., "Strenght development of concrete with rice-husk ash", *Cement & Concrete Composites*, 28: 158-160 (2006).

Su, S. L., “Modeling of Coupled Heat and Mass Transfer and Induced Stresses In Drying Ceramics”, Thesis of Doctor of Philosophy, *Kansas State University, Manhattan, Kansas*, 1 (1992).

Sütçü, M., Akkurt, S., “The Use of Recycled Paper Processing Residues in Making Porous Brick With Reduced Thermal Conductivity”, *Ceramics International*, 35: 2625-2631 (2009).

Şahin, Ş. E., “Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E., Kütahya*, 38 (2008).

Şişman, C. B., Kocaman, İ., Gezer, E., “Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (1): 32-40, (2006).

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri-I, DPT: 2615 – ÖİK: 626, (2001).

Thuadajj, N., Nuntiya, A., “Preparation of nanosilica powder from rice husk ash”, (http://www.grad.psu.ac.th/grad_research/apply_file/full3440601108656.pdf), (2008).

Topçu, İ. B., “Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite”, *Building and Environment*, 42: 3540-3546 (2007).

Traorè, K., Kabrè, T. S. and Blanchart, P., “Low temperature sintering of a pottery clay from Burkina Faso”, *Appl. Clay Sci.*, 17: 279–292 (2000).

TS 825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları”, *TSE*, Ankara, (1998).

TS 4562, “Fabrika Tuğlaları Duvarlar İçin- Klinker Tuğla”, *TSE*, Ankara, (1985).

TS 4790, “Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu”, *TSE*, Ankara, (1986).

TS EN 771-1, “Kagir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)”, *TSE*, Ankara, (2005).

TS EN 772-1, “Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini”, *TSE*, Ankara, (2002).

TS EN 772-11, “Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 11: Betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini”, *TSE*, Ankara, (2002).

TS EN 772-4, “Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini”, *TSE*, Ankara, (2000).

Turgut, P., “Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust”, *Building and Environment*, 42: 3801-3807 (2007).

Türköz, M., “Yüksek Plastisiteli Killerin Şişme Potansiyelinin Direkt Deneylemlerle Belirlenmesi ve Karşılaştırmalı Analiz”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, F.B.E.*, Eskişehir, 6-14 (2007).

Ulupınar, Y., “2009 Yılı Isıtma ve Soğutma Gün Derecelerinin Değerlendirilmesi”, *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, (2010).

Uygunoğlu, T., “Afyon ve çevresindeki hafif agregalarla üretilen blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, F. B. E.*, Afyon, (2005).

Uz, V., Işık, İskender, Özdağ, H., Demirbilek, F., Demirbilek, M., “Tuğla Kiremit Üretiminde Vakumlu Şekillendirmenin Kilin Plastiklik ve Kurutma Davranışlarına Etkisinin Ön Araştırması”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12: 105-116 (2006).

Uz, V., Özdağ, H., Hocoğlu, E., “CSH Katkısının Porselen Süspansiyon/Ürün Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16: 105-112 (2008).

Weng, C. H., Lin, D. F., Chiang, P. C., “Utilization of Sludge as Brick Materials”, *Advanced in Environmental Research*, 7: 679-685 (2003).

Yakupoğlu, T., Özdemir, N., “Erozyona Uğramış Topraklarda Organik Atık Uygulamalarının Bazı Mekaniksel Özelliklere Etkisi”, *OMÜ, Zir. Fak. Dergisi*, 21 (2): 173-178 (2006).

Yarıv, S., “The Role of Charcoal on DTA curves of Organo-Clay Complexes: An Overview”, *Applied Clay Science*, 24: 225-236 (2004).

Yılmaz, A. O., Alp, İ., Deveci, H., Çavuşoğlu, İ., Yalçın, F., “Araklı (Trabzon) Bölgesi Kil Yataklarının Tuğla ve Kiremit Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, İstanbul, 509-516 (2005).

EKLER

EK-1. Kızdırma kaybı oranlarının açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.1. 700 °C’de pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 5,3 | 0,08 | 5,2 | 5,4 |
| T5 | 10 | 8,4 | 0,07 | 8,3 | 8,5 |
| T10 | 10 | 10,7 | 0,09 | 10,6 | 10,9 |
| T15 | 10 | 13,5 | 0,12 | 13,3 | 13,7 |
| TH5 | 10 | 8,4 | 0,09 | 8,3 | 8,6 |
| TH10 | 10 | 11,2 | 0,07 | 11,2 | 11,4 |
| TH15 | 10 | 14,1 | 0,15 | 13,9 | 14,3 |

Çizelge E.2. 800 °C’de pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 8,9 | 0,16 | 8,7 | 9,1 |
| T5 | 10 | 11,9 | 0,08 | 11,7 | 12,0 |
| T10 | 10 | 14,1 | 0,04 | 14,0 | 14,1 |
| T15 | 10 | 16,7 | 0,08 | 16,5 | 16,8 |
| TH5 | 10 | 12,4 | 0,11 | 12,3 | 12,6 |
| TH10 | 10 | 15,0 | 0,10 | 14,8 | 15,1 |
| TH15 | 10 | 17,1 | 0,08 | 17,0 | 17,2 |

Çizelge E.3. 900 °C’de pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 10,0 | 0,07 | 9,9 | 10,1 |
| T5 | 10 | 12,7 | 0,04 | 12,6 | 12,7 |
| T10 | 10 | 14,8 | 0,06 | 14,7 | 14,9 |
| T15 | 10 | 17,2 | 0,07 | 17,1 | 17,3 |
| TH5 | 10 | 12,5 | 0,05 | 12,5 | 12,6 |
| TH10 | 10 | 14,9 | 0,09 | 14,7 | 15,0 |
| TH15 | 10 | 17,8 | 0,08 | 17,7 | 17,9 |

Çizelge E.4. 1000 °C’de pişirilen örneklerin kızdırma kaybı oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 10,7 | 0,05 | 10,7 | 10,8 |
| T5 | 10 | 12,7 | 0,08 | 12,6 | 12,8 |
| T10 | 10 | 14,7 | 0,08 | 14,7 | 14,9 |
| T15 | 10 | 17,2 | 0,08 | 17,0 | 17,3 |
| TH5 | 10 | 13,3 | 0,07 | 13,2 | 13,4 |
| TH10 | 10 | 15,6 | 0,07 | 15,6 | 15,7 |
| TH15 | 10 | 17,7 | 0,07 | 17,7 | 17,9 |

EK-2. Görünen porozite değerlerinin açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.5. 700 °C’de pişirilen örneklerin görünen porozite değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 28,5 | 0,23 | 28,1 | 28,7 |
| T5 | 10 | 36,1 | 0,29 | 35,6 | 36,6 |
| T10 | 10 | 38,8 | 0,51 | 37,8 | 39,7 |
| T15 | 10 | 41,6 | 0,49 | 41,1 | 42,4 |
| TH5 | 10 | 34,2 | 0,88 | 32,1 | 35,1 |
| TH10 | 10 | 38,4 | 0,36 | 37,9 | 38,8 |
| TH15 | 10 | 46,5 | 1,00 | 45,4 | 47,9 |

Çizelge E.6. 800 °C’de pişirilen örneklerin görünen porozite değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 31,9 | 0,24 | 31,6 | 32,3 |
| T5 | 10 | 39,0 | 0,42 | 38,3 | 39,4 |
| T10 | 10 | 41,5 | 0,50 | 40,5 | 42,1 |
| T15 | 10 | 44,3 | 0,80 | 42,9 | 45,8 |
| TH5 | 10 | 37,8 | 0,41 | 37,3 | 38,3 |
| TH10 | 10 | 41,2 | 0,54 | 40,4 | 42,0 |
| TH15 | 10 | 48,9 | 0,38 | 48,2 | 49,4 |

Çizelge E.7. 900 °C’de pişirilen örneklerin görünen porozite değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 30,1 | 0,43 | 29,3 | 30,8 |
| T5 | 10 | 38,4 | 0,31 | 37,8 | 38,8 |
| T10 | 10 | 41,0 | 0,30 | 40,6 | 41,4 |
| T15 | 10 | 43,7 | 0,51 | 43,2 | 44,6 |
| TH5 | 10 | 36,6 | 0,50 | 36,1 | 37,1 |
| TH10 | 10 | 40,0 | 0,40 | 39,4 | 40,6 |
| TH15 | 10 | 48,2 | 0,59 | 47,4 | 49,2 |

Çizelge E.8. 1000 °C’de pişirilen örneklerin görünen porozite değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 29,9 | 0,34 | 29,2 | 30,3 |
| T5 | 10 | 37,7 | 0,41 | 37,0 | 38,2 |
| T10 | 10 | 41,1 | 0,30 | 40,7 | 41,6 |
| T15 | 10 | 43,2 | 0,53 | 42,6 | 44,1 |
| TH5 | 10 | 36,8 | 0,44 | 36,1 | 37,4 |
| TH10 | 10 | 40,5 | 0,56 | 39,8 | 41,7 |
| TH15 | 10 | 48,3 | 0,30 | 47,8 | 48,8 |

EK-3. Su emme oranlarının açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.9. 700 °C’de pişirilen örneklerin su emme oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 15,0 | 0,15 | 14,8 | 15,2 |
| T5 | 10 | 22,4 | 0,27 | 21,9 | 22,8 |
| T10 | 10 | 26,1 | 0,49 | 25,1 | 26,6 |
| T15 | 10 | 30,6 | 0,62 | 30,0 | 31,6 |
| TH5 | 10 | 20,3 | 0,45 | 19,7 | 20,8 |
| TH10 | 10 | 24,9 | 0,37 | 24,4 | 25,4 |
| TH15 | 10 | 36,8 | 0,78 | 35,5 | 37,9 |

Çizelge E.10. 800 °C’de pişirilen örneklerin su emme oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 17,4 | 0,17 | 17,2 | 17,7 |
| T5 | 10 | 24,9 | 0,39 | 24,4 | 25,4 |
| T10 | 10 | 28,7 | 0,52 | 27,6 | 29,3 |
| T15 | 10 | 33,5 | 0,78 | 32,1 | 34,9 |
| TH5 | 10 | 23,1 | 0,41 | 22,7 | 23,5 |
| TH10 | 10 | 27,6 | 0,55 | 26,7 | 28,3 |
| TH15 | 10 | 38,9 | 0,60 | 37,9 | 39,8 |

Çizelge E.11. 900 °C’de pişirilen örneklerin su emme oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 16,3 | 0,25 | 15,8 | 16,7 |
| T5 | 10 | 24,3 | 0,19 | 24,0 | 24,6 |
| T10 | 10 | 27,9 | 0,34 | 27,2 | 28,3 |
| T15 | 10 | 32,4 | 0,45 | 31,7 | 33,0 |
| TH5 | 10 | 22,0 | 0,45 | 21,3 | 22,6 |
| TH10 | 10 | 26,3 | 0,41 | 25,7 | 26,8 |
| TH15 | 10 | 37,8 | 0,55 | 36,8 | 38,6 |

Çizelge E.12. 1000 °C’de pişirilen örneklerin su emme oranları

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (%) | Standart sapma | Minimum değer (%) | Maksimum değer (%) |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------|
| T0 | 10 | 16,2 | 0,25 | 15,7 | 16,5 |
| T5 | 10 | 23,8 | 0,34 | 23,3 | 24,2 |
| T10 | 10 | 28,0 | 0,26 | 27,7 | 28,4 |
| T15 | 10 | 31,7 | 0,56 | 31,0 | 32,6 |
| TH5 | 10 | 21,9 | 0,42 | 21,4 | 22,6 |
| TH10 | 10 | 26,6 | 0,56 | 25,7 | 27,5 |
| TH15 | 10 | 37,8 | 0,47 | 37,0 | 38,6 |

EK-4. Net birim hacim ağırlık değerlerinin açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.13. 700 °C’de pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 1894 | 4,9 | 1892 | 1902 |
| T5 | 10 | 1610 | 7,4 | 1603 | 1625 |
| T10 | 10 | 1490 | 9,8 | 1474 | 1506 |
| T15 | 10 | 1362 | 15,8 | 1324 | 1376 |
| TH5 | 10 | 1686 | 36,1 | 1591 | 1717 |
| TH10 | 10 | 1544 | 9,4 | 1530 | 1557 |
| TH15 | 10 | 1265 | 18,2 | 1232 | 1293 |

Çizelge E.14. 800 °C’de pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 1832 | 4,8 | 1826 | 1837 |
| T5 | 10 | 1652 | 8,3 | 1553 | 1576 |
| T10 | 10 | 1448 | 9,3 | 1438 | 1466 |
| T15 | 10 | 1323 | 7,8 | 1310 | 1336 |
| TH5 | 10 | 1636 | 12,2 | 1618 | 1650 |
| TH10 | 10 | 1496 | 10,9 | 1483 | 1513 |
| TH15 | 10 | 1258 | 10,1 | 1241 | 1268 |

Çizelge E.15. 900 °C’de pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 1850 | 4,7 | 1846 | 1860 |
| T5 | 10 | 1580 | 8,5 | 1569 | 1591 |
| T10 | 10 | 1468 | 17,3 | 1444 | 1495 |
| T15 | 10 | 1349 | 11,4 | 1330 | 1366 |
| TH5 | 10 | 1662 | 11,9 | 1645 | 1682 |
| TH10 | 10 | 1520 | 9,3 | 1505 | 1533 |
| TH15 | 10 | 1276 | 22,5 | 1250 | 1308 |

Çizelge E.16. 1000 °C’de pişirilen örneklerin net birim hacim ağırlık değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 1846 | 8,0 | 1835 | 1861 |
| T5 | 10 | 1584 | 7,5 | 1575 | 1595 |
| T10 | 10 | 1468 | 5,6 | 1462 | 1476 |
| T15 | 10 | 1362 | 9,2 | 1349 | 1376 |
| TH5 | 10 | 1673 | 12,8 | 1656 | 1691 |
| TH10 | 10 | 1527 | 12,6 | 1513 | 1548 |
| TH15 | 10 | 1278 | 7,9 | 1267 | 1292 |

EK-5. Görünür yoğunluk değerlerinin açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.17. 700 °C’de pişirilen örneklerin görünür yoğunluk değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 2646 | 9,23 | 2634 | 2666 |
| T5 | 10 | 2521 | 3,94 | 2516 | 2524 |
| T10 | 10 | 2437 | 11,44 | 2419 | 2452 |
| T15 | 10 | 2333 | 25,31 | 2312 | 2355 |
| TH5 | 10 | 2564 | 77,51 | 2344 | 2597 |
| TH10 | 10 | 2505 | 5,02 | 2497 | 2511 |
| TH15 | 10 | 2366 | 64,97 | 2261 | 2428 |

Çizelge E.18. 800 °C’de pişirilen örneklerin görünür yoğunluk değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 2691 | 8,87 | 2681 | 2704 |
| T5 | 10 | 2559 | 8,10 | 2548 | 2570 |
| T10 | 10 | 2477 | 8,05 | 2464 | 2485 |
| T15 | 10 | 2376 | 20,69 | 2342 | 2416 |
| TH5 | 10 | 2631 | 5,65 | 2623 | 2636 |
| TH10 | 10 | 2544 | 9,52 | 2531 | 2557 |
| TH15 | 10 | 2460 | 5,70 | 2453 | 2471 |

Çizelge E.19. 900 °C’de pişirilen örneklerin görünür yoğunluk değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 2646 | 16,85 | 2627 | 2680 |
| T5 | 10 | 2566 | 22,67 | 2533 | 2596 |
| T10 | 10 | 2488 | 34,14 | 2439 | 2550 |
| T15 | 10 | 2397 | 30,10 | 2340 | 2442 |
| TH5 | 10 | 2622 | 6,15 | 2612 | 2631 |
| TH10 | 10 | 2534 | 6,13 | 2528 | 2547 |
| TH15 | 10 | 2464 | 63,83 | 2382 | 2564 |

Çizelge E.20. 1000 °C’de pişirilen örneklerin görünür yoğunluk değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ³) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ³) | Maksimum değer (kg/m ³) |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| T0 | 10 | 2632 | 11,80 | 2618 | 2651 |
| T5 | 10 | 2539 | 9,77 | 2528 | 2552 |
| T10 | 10 | 2492 | 8,74 | 2479 | 2502 |
| T15 | 10 | 2398 | 10,87 | 2382 | 2417 |
| TH5 | 10 | 2645 | 8,83 | 2627 | 2656 |
| TH10 | 10 | 2568 | 11,6 | 2555 | 2595 |
| TH15 | 10 | 2472 | 6,37 | 2463 | 2482 |

EK-6. İlk su emme hızı değerlerinin açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.21. 700 °C’de pişirilen örneklerin ilk su emme hızı değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ² .dak.) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ² .dak.) | Maksimum değer (kg/m ² .dak.) |
|-------------|---------------|------------------------------------|----------------|---|--|
| T0 | 6 | 0,48 | 0,12 | 0,35 | 0,64 |
| T5 | 6 | 0,65 | 0,42 | 0,59 | 0,72 |
| T10 | 6 | 0,89 | 0,17 | 0,68 | 1,18 |
| T15 | 6 | 1,33 | 0,44 | 0,92 | 2,03 |
| TH5 | 6 | 1,26 | 0,40 | 0,81 | 1,80 |
| TH10 | 6 | 1,47 | 0,23 | 1,19 | 1,83 |
| TH15 | 6 | 2,76 | 0,21 | 2,48 | 3,01 |

Çizelge E.22. 800 °C’de pişirilen örneklerin ilk su emme hızı değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ² .dak.) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ² .dak.) | Maksimum değer (kg/m ² .dak.) |
|-------------|---------------|------------------------------------|----------------|---|--|
| T0 | 6 | 0,29 | 0,77 | 0,22 | 0,41 |
| T5 | 6 | 0,35 | 0,31 | 0,31 | 0,41 |
| T10 | 6 | 0,56 | 0,10 | 0,41 | 0,69 |
| T15 | 6 | 0,80 | 0,22 | 0,65 | 1,11 |
| TH5 | 6 | 0,63 | 0,67 | 0,53 | 0,72 |
| TH10 | 6 | 1,01 | 0,20 | 0,81 | 1,31 |
| TH15 | 6 | 2,34 | 0,26 | 1,92 | 2,72 |

Çizelge E.23. 900 °C’de pişirilen örneklerin ilk su emme hızı değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ² .dak.) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ² .dak.) | Maksimum değer (kg/m ² .dak.) |
|-------------|---------------|------------------------------------|----------------|---|--|
| T0 | 6 | 0,29 | 0,58 | 0,25 | 0,38 |
| T5 | 6 | 0,61 | 0,19 | 0,38 | 0,88 |
| T10 | 6 | 0,97 | 0,21 | 0,69 | 1,19 |
| T15 | 6 | 1,60 | 0,47 | 1,69 | 2,31 |
| TH5 | 6 | 0,77 | 0,20 | 0,57 | 1,08 |
| TH10 | 6 | 1,39 | 0,13 | 1,21 | 1,59 |
| TH15 | 6 | 3,30 | 0,58 | 2,68 | 4,27 |

Çizelge E.24. 1000 °C’de pişirilen örneklerin ilk su emme hızı değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (kg/m ² .dak.) | Standart sapma | Minimum değer (kg/m ² .dak.) | Maksimum değer (kg/m ² .dak.) |
|-------------|---------------|------------------------------------|----------------|---|--|
| T0 | 6 | 0,68 | 0,71 | 0,60 | 0,76 |
| T5 | 6 | 1,41 | 0,17 | 1,24 | 1,62 |
| T10 | 6 | 1,76 | 0,31 | 1,28 | 2,24 |
| T15 | 6 | 2,14 | 0,18 | 1,92 | 2,41 |
| TH5 | 6 | 1,31 | 0,15 | 1,11 | 1,52 |
| TH10 | 6 | 2,06 | 0,12 | 1,91 | 2,22 |
| TH15 | 6 | 3,96 | 0,36 | 3,69 | 4,50 |

EK-7. Basınç mukavemet değerlerinin açıklayıcı istatistikleri

Çizelge E.25. 700 °C’de pişirilen örneklerin basınç mukavemet değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (MPa) | Standart sapma | Minimum değer (MPa) | Maksimum değer (MPa) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|
| T0 | 6 | 6,6 | 1,12 | 5,6 | 8,6 |
| T5 | 6 | 3,8 | 1,00 | 2,8 | 5,1 |
| T10 | 6 | 3,0 | 0,52 | 2,2 | 3,6 |
| T15 | 6 | 2,0 | 0,75 | 1,2 | 2,8 |
| TH5 | 6 | 4,3 | 0,64 | 3,3 | 5,2 |
| TH10 | 6 | 3,8 | 0,83 | 3,0 | 5,1 |
| TH15 | 6 | 1,0 | 0,30 | 0,6 | 1,2 |

Çizelge E.26. 800 °C’de pişirilen örneklerin basınç mukavemet değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (MPa) | Standart sapma | Minimum değer (MPa) | Maksimum değer (MPa) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|
| T0 | 6 | 11,7 | 3,65 | 9,6 | 18,8 |
| T5 | 6 | 8,8 | 1,24 | 7,2 | 10,9 |
| T10 | 6 | 7,3 | 0,77 | 6,4 | 8,2 |
| T15 | 6 | 4,7 | 0,94 | 3,5 | 5,6 |
| TH5 | 6 | 8,3 | 1,55 | 5,9 | 9,9 |
| TH10 | 6 | 4,8 | 1,16 | 3,3 | 5,8 |
| TH15 | 6 | 1,9 | 0,64 | 1,2 | 2,9 |

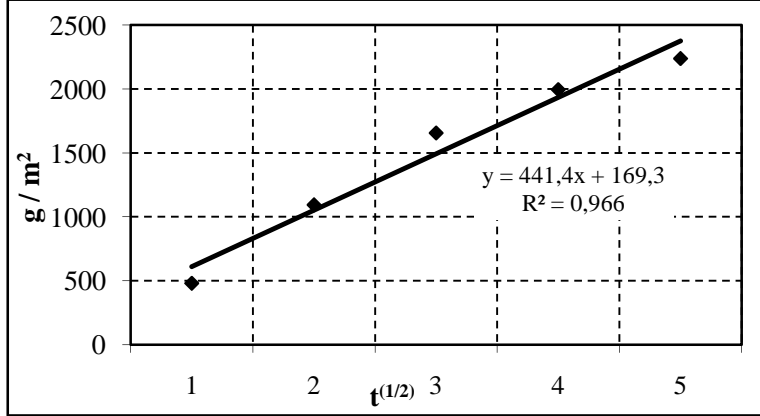
Çizelge E.27. 900 °C’de pişirilen örneklerin basınç mukavemet değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (MPa) | Standart sapma | Minimum değer (MPa) | Maksimum değer (MPa) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|
| T0 | 6 | 17,0 | 2,93 | 13,5 | 21,9 |
| T5 | 6 | 9,2 | 1,85 | 7,2 | 11,7 |
| T10 | 6 | 6,9 | 1,68 | 4,6 | 8,0 |
| T15 | 6 | 5,7 | 1,24 | 4,1 | 7,3 |
| TH5 | 6 | 9,8 | 2,45 | 6,3 | 13,7 |
| TH10 | 6 | 7,2 | 1,64 | 4,3 | 8,9 |
| TH15 | 6 | 1,9 | 0,52 | 1,2 | 2,7 |

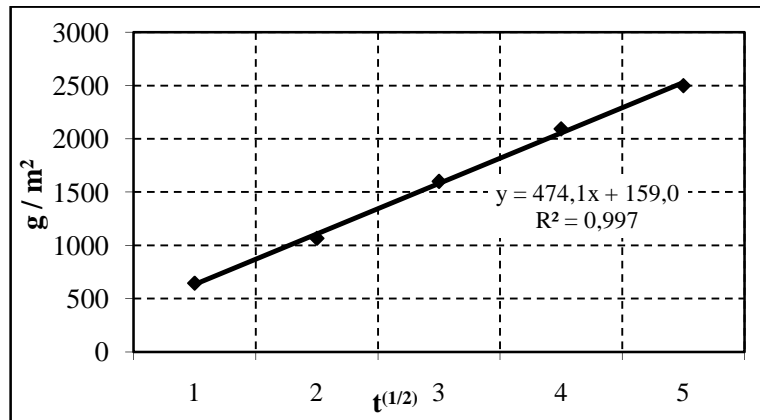
Çizelge E.28. 1000 °C’de pişirilen örneklerin basınç mukavemet değerleri

| Örnek grubu | Numune sayısı | Ortalama (MPa) | Standart sapma | Minimum değer (MPa) | Maksimum değer (MPa) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|
| T0 | 6 | 17,1 | 5,56 | 9,2 | 25,8 |
| T5 | 6 | 9,0 | 1,16 | 8,0 | 10,7 |
| T10 | 6 | 7,0 | 0,70 | 5,8 | 7,8 |
| T15 | 6 | 6,0 | 1,16 | 5,1 | 8,2 |
| TH5 | 6 | 10,9 | 3,79 | 4,6 | 14,7 |
| TH10 | 6 | 7,0 | 1,76 | 4,8 | 9,3 |
| TH15 | 6 | 1,8 | 0,40 | 1,3 | 2,5 |

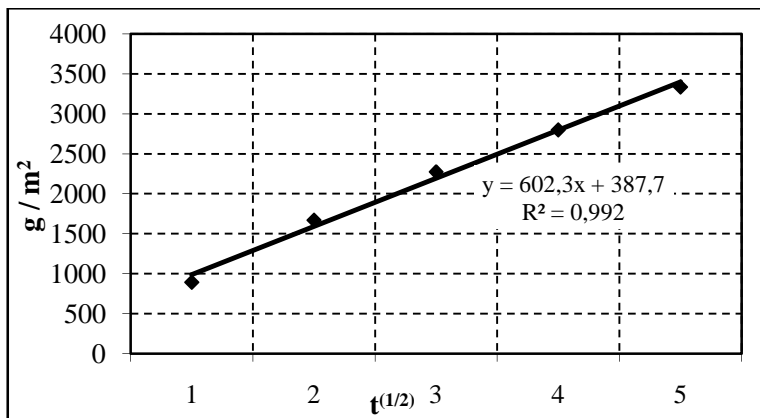
EK-8. Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.1. 700 °C’de pişirilen T0 örneğine ait kapiler su emme grafiği

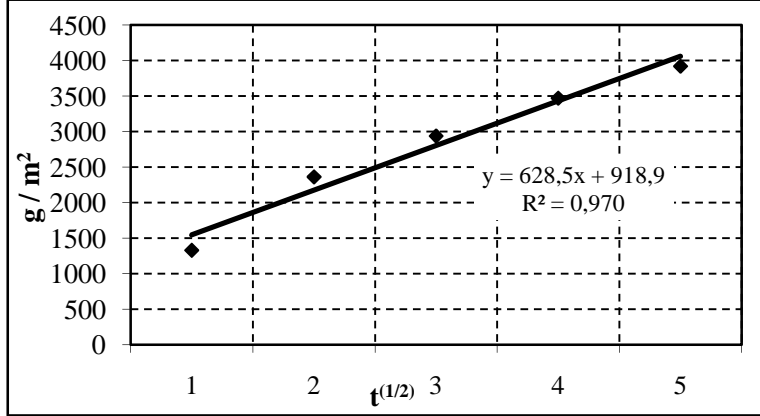


Şekil E.2. 700 °C’de pişirilen T5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

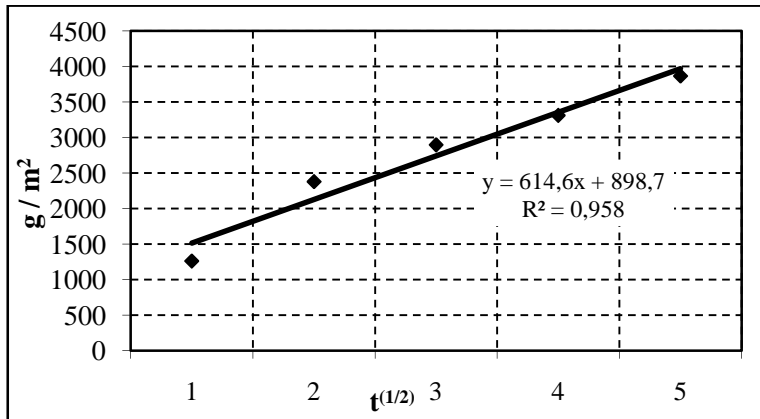


Şekil E.3. 700 °C’de pişirilen T10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

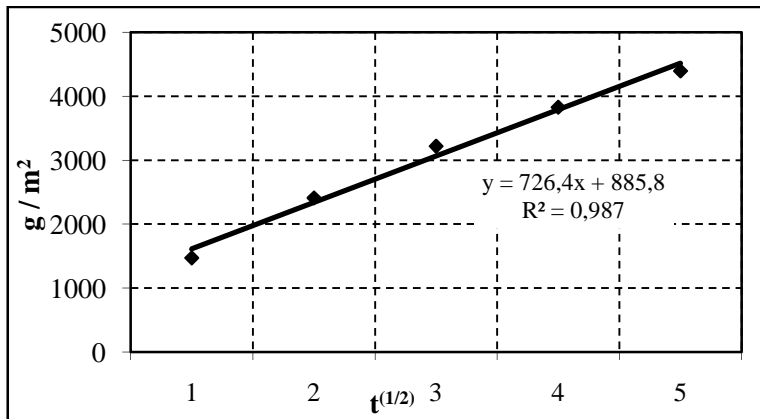
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.4. 700 °C’de pişirilen T15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

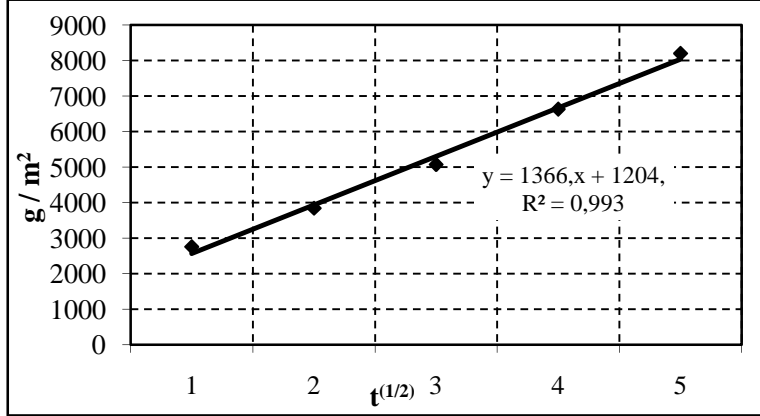


Şekil E.5. 700 °C’de pişirilen TH5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

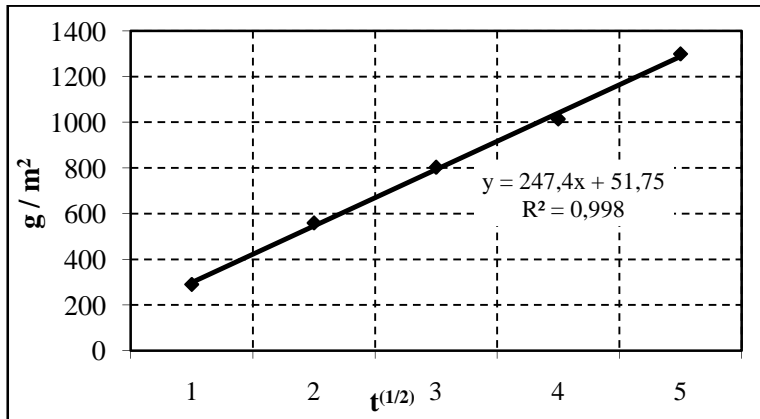


Şekil E.6. 700 °C’de pişirilen TH10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

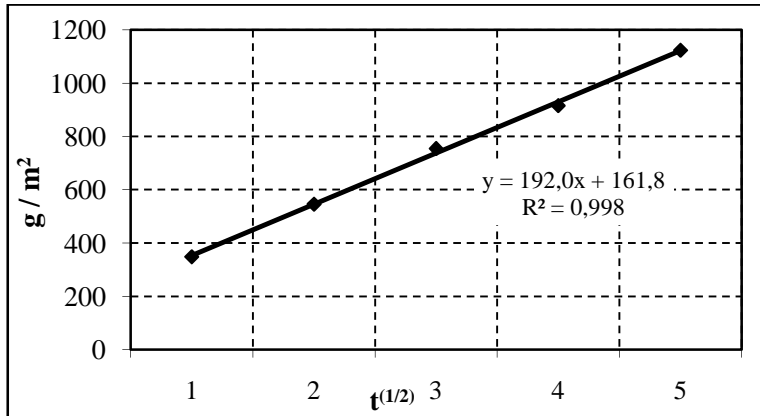
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.7. 700 °C’de pişirilen TH15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

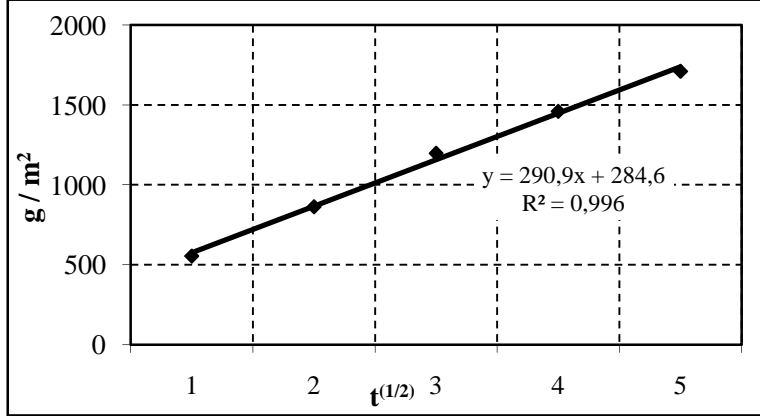


Şekil E.8. 800 °C’de pişirilen T0 örneğine ait kapiler su emme grafiği

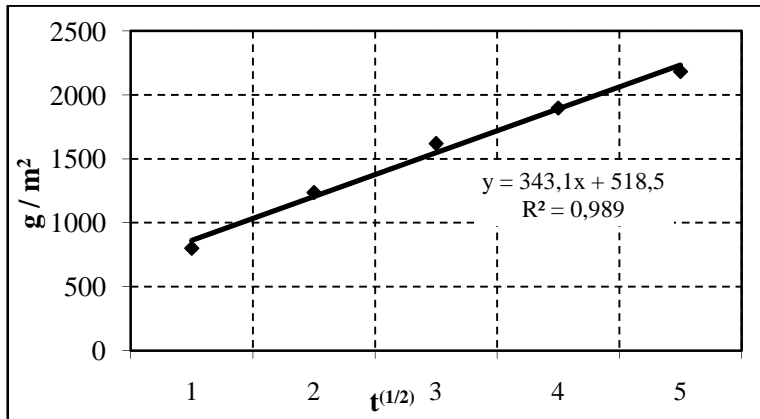


Şekil E.9. 800 °C’de pişirilen T5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

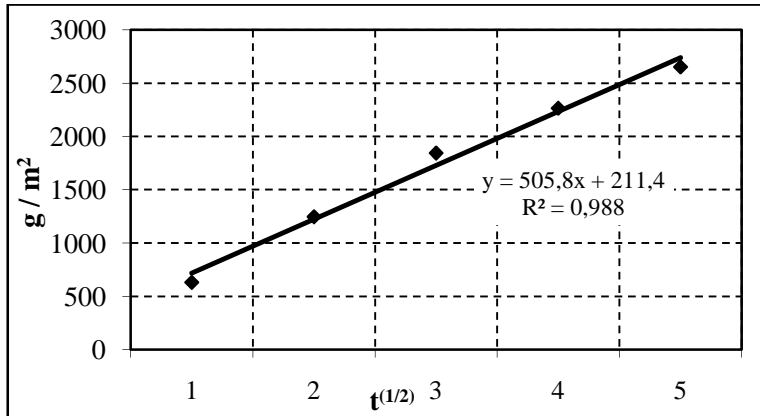
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.10. 800 °C’de pişirilen T10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

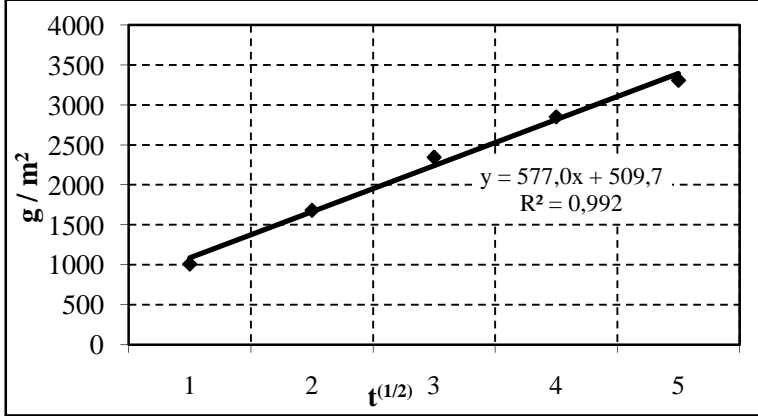


Şekil E.11. 800 °C’de pişirilen T15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

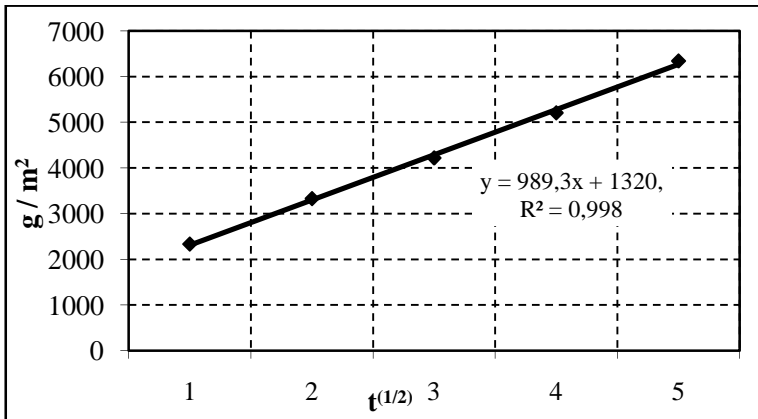


Şekil E.12. 800 °C’de pişirilen TH5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

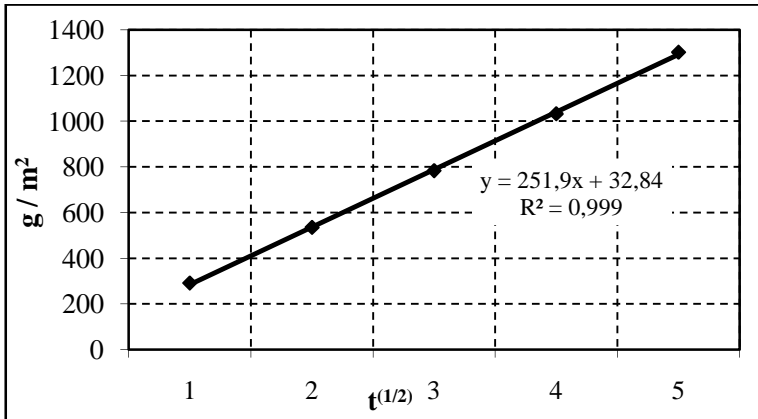
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.13. 800 °C’de pişirilen TH10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

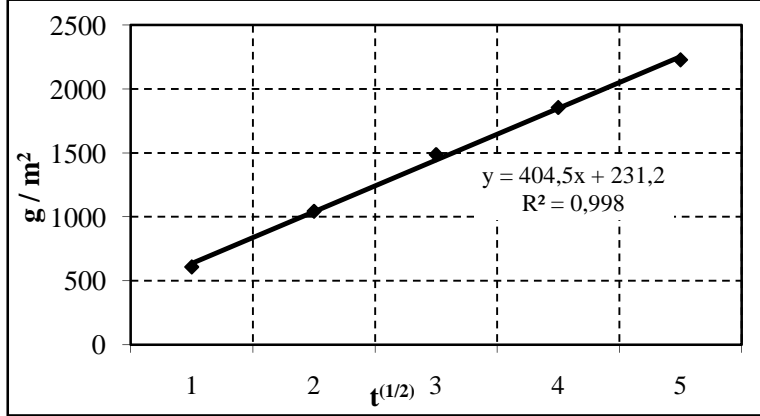


Şekil E.14. 800 °C’de pişirilen TH15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

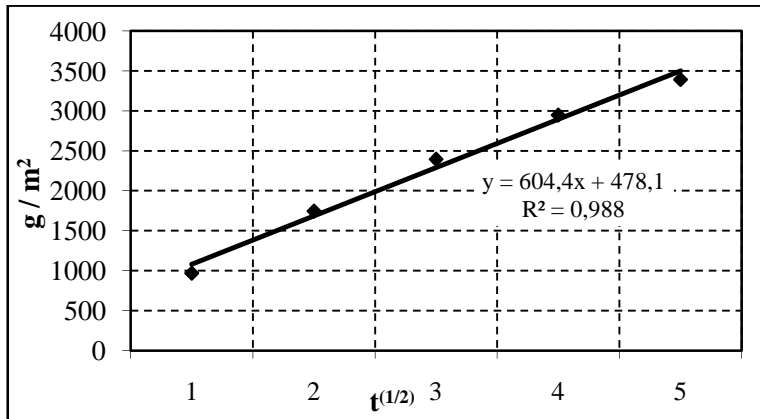


Şekil E.15. 900 °C’de pişirilen T0 örneğine ait kapiler su emme grafiği

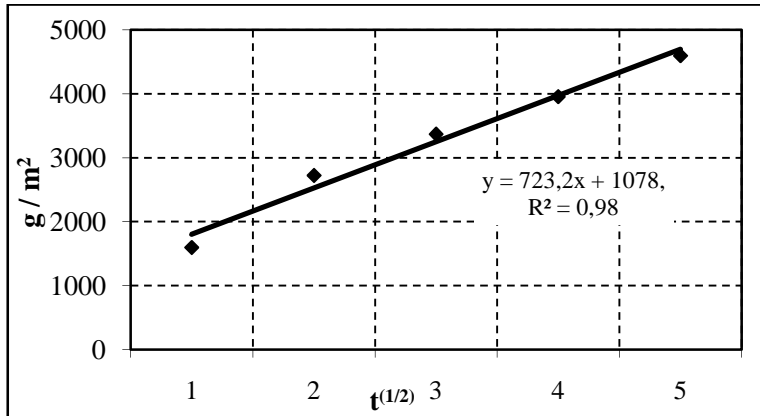
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.16. 900 °C’de pişirilen T5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

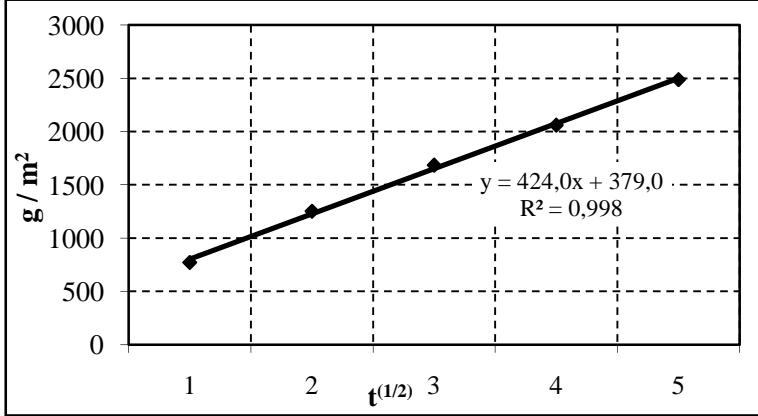


Şekil E.17. 900 °C’de pişirilen T10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

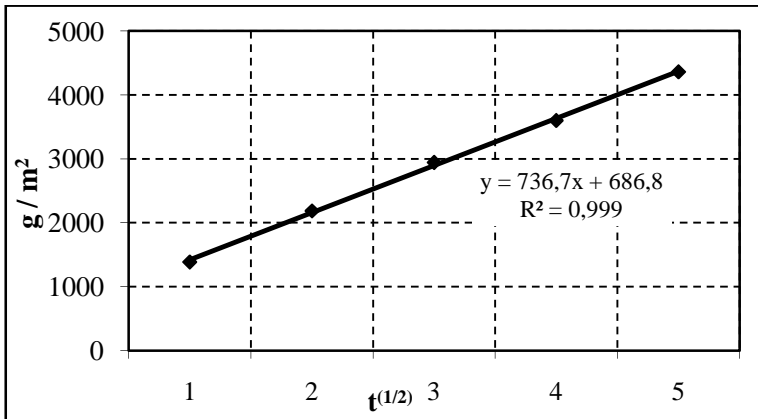


Şekil E.18. 900 °C’de pişirilen T15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

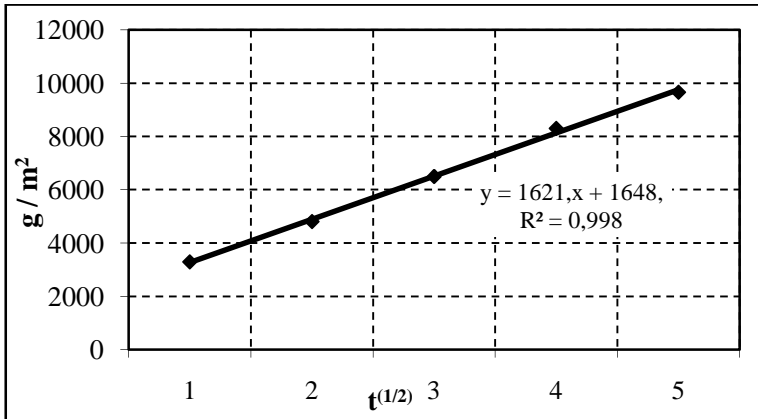
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.19. 900 °C’de pişirilen TH5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

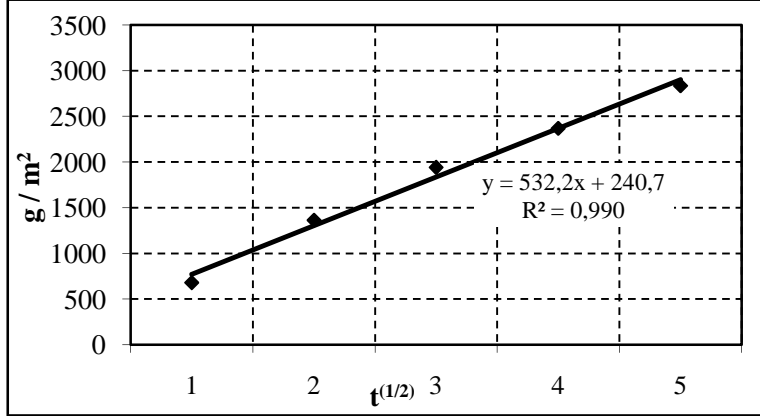


Şekil E.20. 900 °C’de pişirilen TH10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

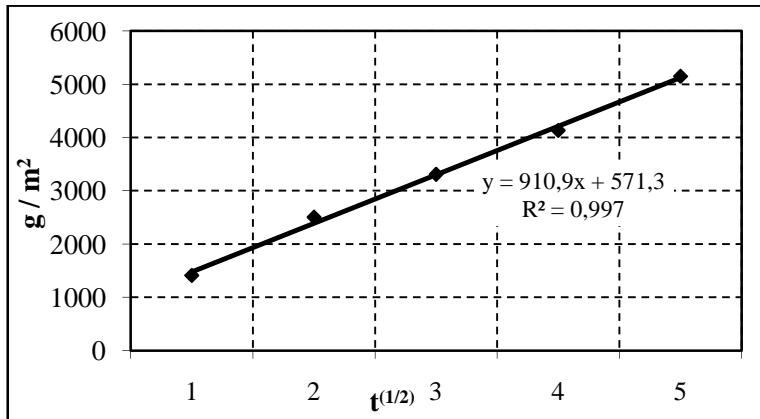


Şekil E.21. 900 °C’de pişirilen TH15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

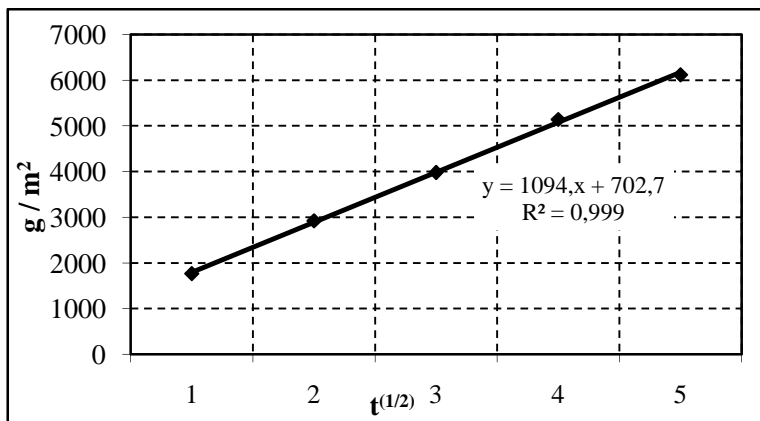
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.22. 1000 °C’de pişirilen T0 örneğine ait kapiler su emme grafiği

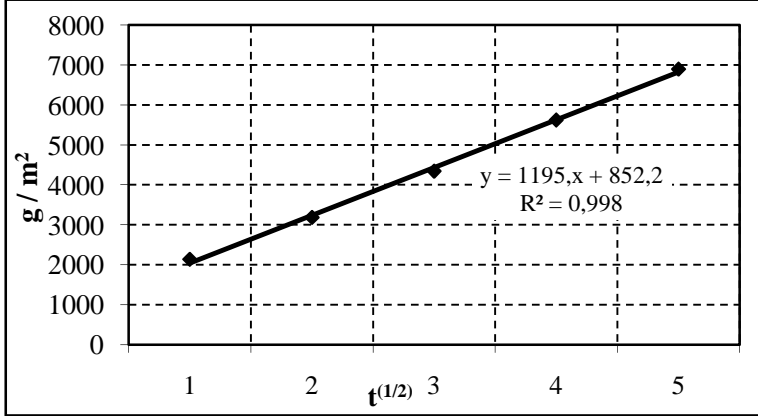


Şekil E.23. 1000 °C’de pişirilen T5 örneğine ait kapiler su emme grafiği

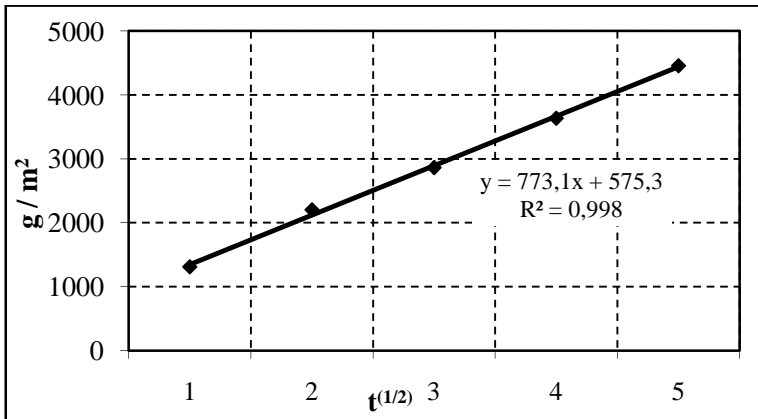


Şekil E.24. 1000 °C’de pişirilen T10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

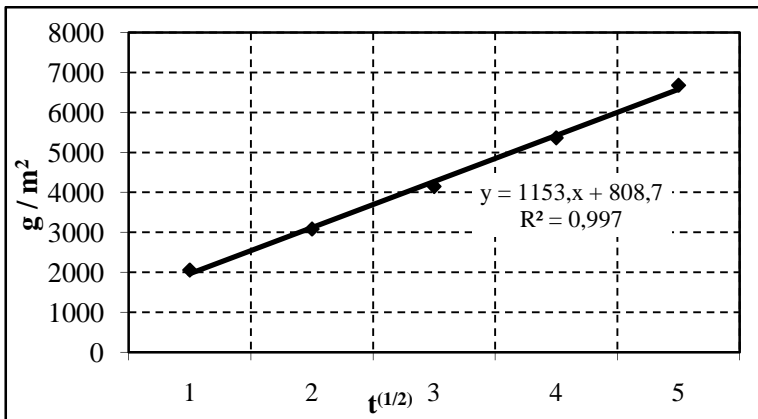
EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.25. 1000 °C’de pişirilen T15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

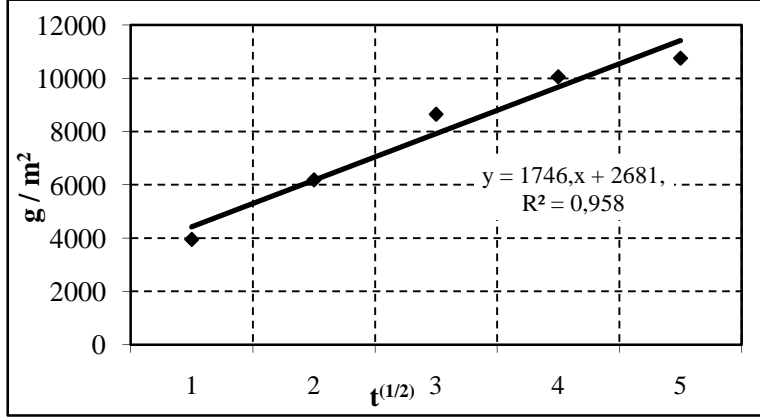


Şekil E.26. 1000 °C’de pişirilen TH5 örneğine ait kapiler su emme grafiği



Şekil E.27. 1000 °C’de pişirilen TH10 örneğine ait kapiler su emme grafiği

EK-8. (Devam) Kapiler su emme katsayısının belirlenmesine ait grafikler



Şekil E.28. 1000 °C’de pişirilen TH15 örneğine ait kapiler su emme grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖRHAN, Gökhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.08.1981 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (272) 215 27 88
Faks : -
e-mail : ggorhan@hotmail.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|---------------|---|------------------|
| Yüksek lisans | Afyon Kocatepe Üniversitesi /Yapı Eğt. A.B.D. | 2006 |
| Lisans | Afyon Kocatepe Üniversitesi/ Yapı Eğt. Böl. | 2003 |
| Lise | Ankara Yapı Meslek Lisesi | 1998 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-----|-----|-------|
|-----|-----|-------|

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Hobiler

Futbol, Motor sporları, Bilgisayar teknolojileri