



**HAM ÇELTİK KAVUZU KATKILI HAFİF TUĞLALARIN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Can DEMİREL

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Can DEMİREL

28/08/2023

HAM ÇELTİK KAVUZU KATKILI HAFİF TUĞLALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Can DEMİREL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2023

ÖZET

İnşaat sektöründe en çok kullanılan duvar malzemesinin tuğla olduğu bilinmektedir. Çeltik kavuzu bilindiği gibi pirincin kapçığı olan tarımsal organik atıktır. Bu tarımsal atığın herhangi bir ekonomik değeri yoktur. Bu çalışmada, tuğla üretiminde tarımsal atık olan ham çeltik kavuzu (HÇK) kullanılarak tuğlanın ısı yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi ve doğal bir malzeme olan tuğlanın sektörde tercih edilebilirliğinin artırılması için sürdürülebilir tuğla üretimi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tuğla kiline hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5, %15 oranlarında ham çeltik kavuzu ikame edilerek gerçek boyutta fabrika ortamında 13,5'luk (190×135×190 mm) hafif tuğla örnekleri üretilmiştir. Pişirme işleminde tuğla içerisindeki çeltik kavuzu yanmış ve tuğla bünyesinde boşluklar oluşturmuştur. Tuğla örneklerine plastiklik suyu, kuruma küçülmesi, kızdırma kaybı, porozite, yoğunluk, su emme, basınç mukavemeti, donma-çözülme, hot-box ısı geçirgenlik deneyleri ve tuğla örneklerinin boyutsal ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çeltik kavuzu katkı oranı arttıkça tuğla örneklerinin su emme oranı ve porozite değerleri artmıştır. Katkı oranı arttıkça net birim ağırlıklar azalmıştır. Net birim ağırlık değerleri %1,52 - %8,53 oranları arasında azalma göstermiştir. Yanan çeltik kavuzlarının oluşturduğu boşluklardan dolayı tuğla örneklerinin basınç dayanımlarında %9,86-30,99 oranları arasında azalma meydana gelmiş ve tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayılarında %6,65 ile %36,70 oranları arasında düşüş meydana gelmiştir. Çeltik kavuzu katkılı tuğla örneklerinin ısı yalıtım özelliği literatüre bakıldığında bims blok elemanların yalıtım özelliğinin önüne geçmektedir.

Bilim Kodu : 91127
Anahtar Kelimeler : Kil, tuğla, ham çeltik kavuzu, ısı iletkenlik katsayısı
Sayfa Adedi : 80
Danışman : Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

A STUDY ON THE ENGINEERING PROPERTIES OF RAW RICE HUSK ENFORCED LIGHTWEIGHT BRICKS

(Ph.D. Thesis)

Can DEMİREL

GAZİ ÜNİVERSİTY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Ağustos 2023

ABSTRACT

It is known that brick is one of the most used wall materials in the construction industry. Rice husk, as it is known, is an agricultural organic waste as the rice cap. This agricultural waste has no economic value. In this study, sustainable brick production is aimed to improve the thermal insulation properties of brick by using raw rice husk (RRH), which is an agricultural waste, in brick production and to increase the preferability of brick, which is a natural material, in the sector. Within this framework, at a rate of 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15% volume trically raw rice husk was substituted into the brick clay, and 13.5 sized light weight specimens were produced to real size within a factory environment. In the baking process the rice husk within the bricks was baked and holes formed within the bricks. The dimensional measurements of the bricks were taken and the following tests were carried out on the specimens: Plasticity fluid, drying shrinkage, ignition loss, porosity, consistency, water absorption, compressive strength, freeze-thaw resistance hot-box thermal permeability. The experiment results revealed that an increase in the content of rice husk resulted in a rise of water absorption and porosity values. As the content rate increased, the net mass weight values witnessed a decrease from 1.52% - 8.53%. Due to the holes that formed in the bake drice husk, the compressive strength of the brick specimens witnessed a reduction at a rate of 9.86% - 30.99%, and the thermometric conductivity also visibly decreased. There was a decrease between 6.65% and 36.70% in the thermal conductivity coefficients of the brick samples. When we look at the literature, the thermal insulation properties of rice husk added brick samples exceed the insulation properties of pumice block elements.

Science Code : 91127
Key Words : Clay, brick, raw rice husk, thermal conductivity coefficient
Page Number : 80
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada konu, deneysel alışmalar, sonuların değerlendirilmesi gibi birok aşamada katkılarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Salih YAZICIOğLU, Prof. Dr. İlhami DEMİR, Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŐ ve Doç. Dr. Özer SEVİM'e ayrıca her konuda yardımcı olan etin ÇELİK'e, deney aşamalarında yardımlarını gördüğüm tekniker Osman Aydın'a, mesai arkadaşlarım Doç. Dr. Ahmet ALTAY, Dr. Öğr. Üyesi Erkan TAŐDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Murat ASLANYÜREK'e, Yıldız Kiremit Tuğla ve Asmolen Sanayi A.Ő. sahibi Fatih KILIÇ'a, arkadaşım Volkan BarıŐ GÖKÇE'ye ve her zaman yanımda olarak bana destek olan aileme, eşime, bu süreçte zaman zaman ihmal ettiğim kızım Asya'ya ve oğlum Alptuğ'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Killer ve Özellikleri.....	3
2.2. Tuğla	4
2.2.1. Tuğla üretiminde kullanılan killerde aranan özellikler	5
2.2.2. Tuğlanın tarihçesi.....	6
2.2.3. Tuğla üretimi.....	6
2.2.4. Tuğla çeşitleri.....	9
2.3. Çeltik Kavuzu.....	9
2.4. Literatür Taraması	12
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1. Materyal	21
3.2. Örneklerin Hazırlanması	26
3.3. Metot	34
3.3.1. Mineralojik, kimyasal ve termal analizler.....	34

	Sayfa
3.3.2. Plastiklik suyu, kuruma küçülmesi ve toplam doğrusal küçülme deneyi .	34
3.3.3. Kızdırma kaybı.....	35
3.3.4. Porozite, yoğunluk ve su emme değerlerinin belirlenmesi.....	36
3.3.5. Boyutların tayini	37
3.3.6. Basınç mukavemeti deneyi	38
3.3.7. Donma-çözülme deneyi	38
3.3.8. Isıl geçirgenlik deneyi (hot-box metodu).....	40
3.3.9. Bilgisayarlı tomografi	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Üretilen Tuğlaların Özellikleri.....	43
4.1.1. SEM ve EDX analizi.....	43
4.1.2. Plastiklik suyu.....	45
4.1.3. Kuru ve toplam doğrusal küçülme.....	46
4.1.4. Kızdırma kaybı.....	48
4.1.5. Görünen porozite.....	49
4.1.6. Su emme.....	50
4.1.7. Net birim hacim ağırlık.....	52
4.1.8. Görünür yoğunluk.....	53
4.1.9. Tuğlanın Boyut Analizi.....	54
4.1.10. Basınç mukavemeti.....	56
4.1.11. Tuğla duvarın donma-çözülme direnci	58
4.1.12. Tuğla duvarın ısı geçirgenliği	60
4.1.13. Bilgisayarlı tomografi	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1. Sonuçlar.....	67
5.2. Öneriler	69

Sayfa

KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yaygın olan kil mineral çeşitlerinin kimyasal oluşumu	4
Çizelge 2.2. Türkiye'de çeltik ekim alanı, üretimi	11
Çizelge 3.1. Kil ve çeltik kavuzu malzemelerine ait kimyasal analiz değerleri	21
Çizelge 3.2. Üretimde kullanılan karışım tasarımı	26
Çizelge 4.1. Tuğla örneklerine ait plastiklik suyu değerleri	46
Çizelge 4.2. Tuğla örneklerine ait kuruma küçülme değerleri.....	47
Çizelge 4.3. Tuğla örneklerine ait toplam doğrusal kuruma küçülme değerleri.....	48
Çizelge 4.4. Tuğla örneklerine ait kızdırma kaybı oranları	48
Çizelge 4.5. Tuğla örneklerine ait görünen porozite değerleri	50
Çizelge 4.6. Tuğla örneklerine ait su emme oranları	51
Çizelge 4.7. Tuğla örneklerine ait net birim hacim ağırlık değerleri.....	52
Çizelge 4.8. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri.....	53
Çizelge 4.9. Tuğla örneklerinin uzunluk, genişlik, yükseklik ölçüleri	55
Çizelge 4.10. Tuğla örneklerinin düzlemsel paralellikten sapma ölçüleri.....	55
Çizelge 4.11. Tuğla örneklerinin köşegen ve düzlemden sapma ölçüleri.....	55
Çizelge 4.12. Tuğlaların dar yüzey üzerine (13,5) yapılan basınç mukavemeti (MPa)..	56
Çizelge 4.13. Tuğlaların geniş yüzey üzerine (19,5) yapılan basınç mukavemeti (MPa)	57
Çizelge 4.14. Tuğla örneklerinin λ değerleri	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ham kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı	23
Şekil 3.2. Pişmiş kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı	24
Şekil 3.3. Kil malzemesine ait DTA/TG grafiği	25
Şekil 3.4. Tuğla örneklerinin uzunluk, genişlik ve yükseklik ölçme kısımları.....	37
Şekil 3.5. Döşeme yüzlerinin düzlemsel paralelliğinin ölçülmesi.....	38
Şekil 3.6. Test cihazının şematik olarak görünüşü	39
Şekil 3.7. Bilgisayarlı tomografinin çalışma sistemi	42
Şekil 4.1. Tuğla örneklerinin plastiklik suyu-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi	46
Şekil 4.2. Tuğla örneklerinin kuruma küçülme değerleri -çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	47
Şekil 4.3. Tuğla örneklerinin toplam doğrusal kuruma küçülme değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	48
Şekil 4.4. Tuğla örneklerinin kızdırma kaybı değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	49
Şekil 4.5. Tuğla örneklerinin görünen porozite değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	50
Şekil 4.6. Tuğla örneklerinin su emme oranı-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi	52
Şekil 4.7. Tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	53
Şekil 4.8. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi	54
Şekil 4.9. Tuğlaların dar yüzey üzerine (13,5) yapılan basınç mukavemeti-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	57
Şekil 4.10. Tuğlaların geniş yüzey üzerine (19,5) yapılan basınç mukavemeti-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	58
Şekil 4.11. Tuğla örneklerinin λ değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi.....	61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Çeltik kavuzu katkılı tuğla üretim süreçleri	8
Resim 2.2. Tuğla örnekleri	9
Resim 2.3. Çeltik kavuzu	10
Resim 3.1. (a) Üretimde kullanılan kil, (b) Çuvallarda preslenmiş çeltik kavuzu	22
Resim 3.2. Üretimde kullanılan dinlendirilmiş kil	27
Resim 3.3. Yere serilmiş dinlendirilmiş kilin üzerine çeltik kavuzunun dökülmesi	27
Resim 3.4. Kil ve çeltik kavuzunun yükleyici kepçe ile karıştırılması.....	28
Resim 3.5. Karıştırılmış kil ve çeltik kavuzunun beşigerdeki görüntüsü	28
Resim 3.6. Yıldız karma makinesine aktarılan malzeme.....	29
Resim 3.7. Daha büyük çaplı yıldız karma makinesine aktarılan malzeme	29
Resim 3.8. Valse aktarılan ve çıkan malzeme	30
Resim 3.9. (a) Vakum pres makinesi ile kalıptan çıkması, (b) Tuğlaların tel sistemi ile kesimi.....	30
Resim 3.10. Şekillendirilen ve ranzalara dizilen yaş tuğlalar	31
Resim 3.11. Kurutma odalarına girmeye hazırlanan tuğlalar	31
Resim 3.12. Üretilen tuğlaların kurutmadan çıkışları.....	32
Resim 3.13. Fırında pişmiş tuğlalar	33
Resim 3.14. Paketlenmiş tuğlalar	33
Resim 3.15. (a) Yaş tuğlaların tartılması, (b) Yaş tuğlaların kumpasla işaretlenmesi ...	34
Resim 3.16. (a) Kuru tuğlaların tartılması, (b) Kuru tuğlaların kumpasla ölçülmesi	35
Resim 3.17. (a) Tuğlaların su içinde tartılması, (b) Tuğlaların su tankında bekletilmesi, (c) Kuru tuğlaların tartılması.....	36
Resim 3.18. (a) Dar yüzey üzerine başlıklama, (b)Geniş yüzey üzerine başlıklama	38
Resim 3.19. Donma çözülme deneyi için panele yerleştirilmiş su püskürtülen tuğlalar..	39
Resim 3.20. Hot-Box ısı geçirgenlik deney düzeneğinin şematik olarak gösterilmesi...	40
Resim 3.21. Hot-Box ısı geçirgenlik deney seti görünümü.....	41

Resim	Sayfa
Resim 3.22. (a) Sıcak hazne ve sensörler, (b) Soğuk hazne ve sensörler	41
Resim 3.23. BT ve bilgisayarda görüntüleme ünitesi	42
Resim 4.1. Referans tuğlanın SEM görüntüleri	43
Resim 4.2. Referans tuğlanın EDX analizi	44
Resim 4.3. Katkılı tuğlanın SEM görüntüleri	44
Resim 4.4. Katkılı tuğlanın EDX analizi	45
Resim 4.5. %0 ve %2,5 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri.....	59
Resim 4.6. %5 ve %7,5 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri.....	59
Resim 4.7. %10 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri.....	59
Resim 4.8. %12,5 ve %15 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri...	60
Resim 4.9. Tuğlanın bilgisayarlı tomografi görüntüsü	62
Resim 4.10. Katkısız pişmiş tuğlanın BT görüntüsü	63
Resim 4.11. Çeltik kavuzu katkıli pişmemiş tuğlanın BT görüntüsü	64
Resim 4.12. Çeltik kavuzu katkıli pişmiş tuğlanın BT görüntüsü	65

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Türkiye’ de çeltik ekiminde en çok paya sahip iller	11
Harita 3.1. Uzunköprü- Keşan-Yıldız Tuğla Fabrikasını gösteren yer bul haritası.....	21

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

g	Gram
kg	Kilogram
m²	Metrekare
m³	Metreküp
MPa	Megapaskal
λ	Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK

Kısaltmalar

Açıklamalar

ÇK	Çeltik kavuzu
DTA	Diferansiyel termal analiz
HÇK	Ham çeltik kavuzu
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TG	Termogravimetrik analiz
TUKLAB	Tuğla-Kiremit araştırma ve uygulama laboratuvarı
XRD	X-ray Diffraction

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de son yıllarda inşaat sektörü hızla gelişmeye göstermektedir. Hızla gelişen inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin (duvar, beton bileşenleri ve seramik gibi) üretimi sebebiyle doğal kaynaklarımız tükenmektedir. Doğal kaynakların azalmasının yanında bu yapı malzemelerinin üretimini yapan endüstriler çevre kirliliğine neden olmakta ve sağlığımızı olumsuz yönde etkilemektedir. Endüstriyel atıkların yapı malzemelerinde kullanılması ile, tükenir kaynak kullanımında azalması, enerji tasarrufu sağlanacak ve bunun yanında çevre kirliliği önlenmiş olacaktır. İnşaat sektöründeki sürdürülebilir gelişmeler ile birlikte atık malzemelerin kullanımıyla üretilen yapı malzemeleri dayanım, yalıtım yönünden geliştirilmekte ve üretim aşamasında ekonomiklik sağlanmaktadır [1].

İnşaat sektöründe en fazla kullanılan malzemelerin başında kil esaslı malzeme yani tuğla gelmektedir. Kil esaslı malzemeler sanayileşme ile birlikte sürekli gelişmektedir. Kil esaslı bir malzeme olan tuğlanın kolay temin edilebilmesi ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı yapı sektöründe çok tercih edilmektedir. Tuğla üretiminde atıkların kullanılmasıyla birlikte birim hacim ağırlığının hafiflemesi ve ısı yalıtım değerinin artması gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde yıllık 600 bin ton çeltik üretilmekte ve çeltiğin %20’si oranında organik tarım atığı çeltik kavuzu ortaya çıkmaktadır. Tuğla üretiminde organik tarım atığı olan çeltik kavuzunun kullanılmasıyla atıkları ortadan kaldırma ve çevre kirliliği gibi problemlerde ortadan kalkmış olacaktır [2].

Günümüzde sürdürülebilirlik açısından en önemli konu kullanılan hammadde ve enerjiden tasarruf sağlamaktır. Hammadde ve enerjiden tasarruf sağlarken üretilen yapı malzemesinin de hafiflik, ısı yalıtım, dayanım gibi özelliklerinin de yüksek olması istenmektedir. Sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirilirken binanın işletim gereksinimlerinin (ısı, mekanik dayanım, izolasyon, vb.) yanında, üretilen malzemelerin üretimleri esnasında doğabilecek etkiler (kullanılan ham madde miktarı, sera gazı salınımları, enerji tüketimi, vb.) göz önüne alınmalıdır [2, 3].

Bu tez çalışmasında Edirne’nin Uzunköprü ilçesinden temin edilen çeltik kavuzu, tuğla hammaddesine hacimce %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5, %15 oranlarında ikame edilerek normal tuğlaya göre hafif ve aynı zamanda ısı iletkenlik katsayısı düşük tuğla üretimi

amaçlanmıştır. Bu çalışmada organik bir tarım atığı olan çeltik kavuzu tuğla üretiminde kullanılarak sürdürülebilir tuğla üretimi gerçekleştirilecektir. Çeltik kavuzu kullanımının hammadde kullanımını azaltacak ve pişirme işlemi sırasında yanmasından dolayı tuğla içerisinde boşluklar oluşturarak üretilen tuğlalarda hafiflik, ısı yalıtım özelliğini artıracığından inşaat sektörü açısından önemli bir çalışma olacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Killer ve Özellikleri

Kil, toprağın ana maddesidir. Kaolin veya kaolinit adı verilen inorganik maddeden oluşur. Saf halde kilin rengi beyazdır fakat saf olarak doğada bulunmaz. İçerisindeki magnezyum ve demir varlığından dolayı esmer, kırmızı renkte ya da sarı renktedir. Kilin tanelerinin çok ince olması ve su ile birleştiğinde plastik kıvam haline gelmesi önemli özellikleridir [4,5].

Killer, açık havada kuruduktan sonra sertleşir ve su eklenmesiyle tekrar yumuşak hale gelirler fakat ısıtıldıklarında 80-160 °C arasında absorpsiyon sularını, 400-600 °C arasında bünye sularını terk ederler. Bu tespit Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve termogravimetri (TG) ile incelenebilir. Killerin ısıtıldıklarında asidik özellikleri ortadan kalkar ayrıca sertlikleri de artarak bir büzülme ve bünyesinde gözeneklerin oluştuğu gözlenir. Büzülme nedeniyle suyun buharlaşıp bıraktığı boşluklar azalsa da tamamen yok olmaz. Artan sertliklerden dolayı büzülme olayı çatlakların meydana gelmesine neden olur [6].

Kil, feldispat, kalsit, dolomit ve kuvars tortul kayalarda bulunan en yaygın minerallerdir. Tortul kayalardan granit gibi magmatik ana kayacın parçalanması ve kimyasal bozuşma kil minerallerini oluşturur. Feldispat mineralince zengin olan volkanik kayaların suların etkisiyle aşınarak taşınması ve havzalarda birikmesi ile kil yatakları oluşmaktadır [7].

Killer kayaların kimyasal ayrışması ile oluşmuş çok ince taneli zeminlerdir. Killer, alüminyum (ve/veya demir, magnezyum vb.) silikatlarıdır. Kil taneleri yassı (plaka, yaprak) biçimli olup, çok küçüktürler (0,002 mm' den küçük). Kil taneleri ince plaka, iğne vb. biçimde olup, davranışlarında kütle kuvvetleri yerine yüzey kuvvetleri egemendir. Böyle davranan cisimlere kolloit denir. Bir kil mineralinin yapısında başlıca iki yapı taşı vardır. Bunlardan biri 4 oksijen (veya hidroksil) ve 1 alüminyum atomundan oluşan silis dört (üçgen) yüzlüdür (silis veya silikon tetrahedron). Silis dört üçgen yüzlüleri yan yana dizilerek, silis plakasını oluşturur. İkinci yapı taşı, 6 hidroksil ve 1 alüminyum (veya magnezyum) atomu ile meydana gelen alümina sekiz(üçgen) yüzlüdür (alümina oktahedron). Alümina sekiz(üçgen) yüzlüler yan yana dizilerek, alümina plakasını

oluşturur. Yaklaşık 15'den fazla kil minerali mevcut olup, bunlardan kaolin, illit ve montmorillonit en yaygın olanlarıdır [8].

Kaolin; 1 silika ve 1 alümina plakasını oluşturduğu yapı taşının kuvvetli hidrojen bağları ile bağlanması ile meydana gelir. Hidrojen bağları kuvvetli olduğu için, bu killer su ile temasta çok az şişerler. Montmorillonit, iki silis ve bir alümina plakasının oluşturduğu yapı taşının, zayıf su bağları ile bağlanması ile oluşur. Bu yapı taşları arasına su kolayca girerek, montmorillonitin fazla şişmesine neden olur. İllit montmorillonit yapı taşlarının, potasyum iyon bağları ile bağlanmasından oluşur. İllit şişme açısından, kaolin ve montmorillonit arasında yer alır. Killerin mineral türü, X ışını kırınımı, diferansiyel ısı analizleri vb. ile belirlenebilir. Kil taneleri, elektron mikroskobu ile incelenebilir [8].

Kil mineralleri, genellikle kafes kristal yapı oluşturan atom birleşimlerine sahiptir. Kristal kafes, içerisindeki atomların ya da iyonların düzgün şekilde üç boyutlu tekrarlanmasıyla oluşmaktadır. Killerin önemli özelliklerinden birisi, kristal boyutlarının çok küçük olmasıdır. X-ışını kırınımı yöntemi ve elektron mikroskobu, bu kristal yapıları tanımlamakta kullanılır. X-ışını kırınımı, kil minerallerinin atomik yapısının tekrarlanan çok sayıda kristal levhadan oluştuğunu göstermiştir. Kil mineralleri, karmaşık yapıda kristaller şeklinde olduğundan kristallerin düzenlenmesine göre çeşitlendirilirler. Kristal düzeni göz önünde bulundurularak oluşturulan gruplar, birbirlerine çok yakın özellikler gösterir ve genellikle bu grup isimleriyle tanımlanır. Buna gruplandırmaya göre bazı kil mineralleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [9].

Çizelge 2.1. Yaygın olan kil mineral çeşitlerinin kimyasal oluşumu

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	$Al_2(OH)_2Si_2O_5$

2.2. Tuğla

Tuğla, killi toprak ve suyun karıştırılıp hamur şekline getirilerek şekillendirildikten ve yavaş kurutulmasının ardından özel fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900- 1300°C)

pişirilmesi ile elde edilen ve duvarlarda çok yaygın olarak kullanılan oldukça eski bir yapı malzemesidir [5,10-14].

Tuğlanın tanımını bildirmek amacıyla Türk Standartları Enstitüsü TS EN 771-1+A1 (2015) standardını yayınlamıştır. Standarda göre tuğla, “Kilden toz katkı malzemesi yada kum eklenerek veya eklenmeden seramik bağ için gerekli sıcaklıklarda pişirilmesiyle üretilen kagir birim” olarak tanımlanmaktadır.

Tuğlaların günümüzde en fazla kullanılan duvar malzemesi olmasının sebepleri; ekonomik ve kullanım ömrünün fazla olması, hammadde temininin kolay olması, birim ağırlığının betona göre azlığından dolayı bina ölü yükünü azaltması ve yapıda kullanım kolaylığı olarak sıralanabilir. Üretilen tuğlaların sürdürülebilirlik açısından en önemli özelliği tekrar hammaddesine dönüşebilen doğal yapı malzemesi olmasıdır [10,15].

2.2.1. Tuğla üretiminde kullanılan killerde aranan özellikler

Killerin işlenebilmesi için en önemli özelliklerden biri plastikliktir. Su ile yoğrulan kil plastiklik özelliği kazanmaktadır. Yoğrulan kilin şekillendirildikten sonra bünyesindeki su uzaklaşır ve üretilen malzemenin şeklinin korunması plastiklik özelliğiyle gerçekleşmektedir. Farklı bir sıvı ile plastiklik özelliği göstermemektedir.

Kil ile suyun yoğrulmasından sonra üretilen malzemenin kuruma ve pişirme aşamalarında hacmi değişir. Yani hacminde kayıplar olur. Plastiklik özelliği bu aşamada kilin rötre yapması olayında oldukça etkilidir. Kilden üretilen ürün kurutulduktan sonra şeklini koruyabilmelidir. Pişirilmeden önce taşırken oluşabilecek sarsıntılarda dağılmamalıdır. Plastisite yükseldikçe ve malzemenin ince tane yüzdesi arttıkça dayanıklılık artar. Pişirilme sırasında killer 600°C-900°C sıcaklıklarda kimyasal özelliklerini değiştirmeli, gözenekliliği azalmalı ve sağlam bir yapıda olmalıdır. Pişirilen tuğlalar belli bir su emme ve basınç dayanımı özelliğine sahip olmalıdır [16].

Bünyesinde fazla miktarda kum bulduran killerin plastiklik özellikleri düşük olduğundan kalıplama aşamasında dağılmalar meydana gelir. Tuğlaların dayanımının ve sertliklerinin düşük olmasına neden olur. Pişmiş malzemelere kırmızı rengini veren demir oksit (Fe_2O_3) killerin bünyesine dağılmışlardır. Tuğla üretiminde demir bileşiklerinin malzemenin su

emme yüzdesine büyük etkisi vardır. Kilin bünyesinde barındırdığı fazla demir ürünün pişirilmesi sırasında şişmeye neden olabilmektedir [16].

Killerin bünyesinde bulunan organik maddeler renklerinin gri, mavi, siyah ve yeşil olmasını sağlamaktadır. Ürünün pişirilmesi sırasında bünyedeki organik maddeler gaz halinde bünyeden uzaklaşırlar. Genel olarak killerde suda çözünür tuzlar (sülfat ve klorür esaslı tuzlar) bulunmaktadır. Bu tuzlar zaman içerisinde tuğla yüzeyinde çiçeklenme ve dökülme gibi hasarlara sebep olur. Bünyedeki tuzların oranı %1,5 ve altı olması tuğlaların kalitesi açısından önemlidir [16].

2.2.2. Tuğlanın tarihçesi

Tarihte ilk üretilen tuğla, elle şekil verilerek günümüzde üretilen tuğla boyutlarına benzer olarak killi tabletler şeklinde üretilmiştir. İlk uygarlıklardan günümüze kadar gelen tuğla sürekli gelişerek üretimine devam etmektedir. M.Ö. 4. Yüzyılda insanların daha yüksek yapılara ihtiyaç duymasıyla birlikte pişmiş tuğla kullanılmaya başlanmıştır. Doğal olmasının yanında ucuzluğu ile tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılan kil, yerine farklı bir hammaddenin kullanılmasının önüne geçmiştir [17]. Tuğla üretimi açısından simgesel bir değeri olan Babil Kulesi'nin yapımında pişmiş tuğlanın ilk kullanımı gerçekleşmiş ve 85 000 000 tuğla kullanılmıştır [11].

Bizanslılar ve Selçukluların Anadolu'ya getirdiği tuğlalara, Osmanlılar zamanında Fatih Sultan Mehmet döneminde standart getirilmiş ve bu standart dışındaki ölçülerde üretilen tuğlaların kullanılması ve satışı engellenmiştir. Türkiye'de seri tuğla üretimi "Sümerbank Filyos Ateş Tuğlası Sanayi Müessesesi" fabrikasında 1948 yılında yapılmıştır. 1950'lerden sonra kentleşmenin hızla artmasıyla tuğlaya ihtiyaç artmış ve seri tuğla üretimleri için fabrikalar kurulması için girişimler başlatılmıştır. 1955 yılından sonra 30 ilde 78 tuğla ve kiremit fabrikası üretime başlamış ve 50,496 192 tane tuğla üretimi yapılmıştır. Fabrikalarda 8,136 işçinin çalıştığı kayıtlara geçmiştir [18].

2.2.3. Tuğla üretimi

Tuğlanın hammaddesi kildir. Killeri meydana getiren kil minerallerinin bileşimi esas olarak sulu alüminyum silikatlardır. Burada SiO₂ ve Al₂O₃ tabakalar meydana getirmek

üzere çeşitli şekillerde birleşirler ve çeşitli kil minerallerini meydana gelirken tane boyutları 0,002 mm dir. Tuğla üretim aşamaları ilk olarak hammaddenin çıkarılarak depolanmasıyla başlar. Hammaddenin hazırlanması, hammaddenin şekillendirilmesi, şekil verilen tuğlaların kurutulması, pişirilmesi ve pişirilen tuğlaların soğutulduktan sonra paletlere dizilerek depolanmasıyla üretim aşamaları son bulur. Çeltik kavuzu katkılı tuğlaların üretim süreçleri Resim 2.1' de gösterilmiştir.

Tuğla üretimi hammaddenin hazırlanması, şekillendirilmesi, kurutulması ve pişirilmesi aşamalarından meydana gelmektedir. İlk aşama olan hammaddenin hazırlanması, üretimde kullanılacak killerin boyut ve bileşim açısından uygun hale gelmesi için gerekli hazırlıkları içeren aşamadır. Hammaddeden iri taşların ve çöplerin ayıklanmasından sonra istenilen inceliğe kadar öğütülmesi, işlenebilirlik özelliğinin artması, malzemenin homojen olması, kohezyon ve plastiklik özellikleri için önemlidir. Öğütme işleminin tamamlanmasının ardından harmanlama (kireç tebeşir, kum, gibi) ve su eklenerek istenilen kıvam elde edilinceye kadar yoğurma işlemi yapılır. Daha sonra hammadde dinlendirilerek, çamurun direnç kazanması sağlanmış olur. Hammaddenin hazırlanması aşamalarından en önemli aşama kalitesini etkilediğinden dinlendirme aşamasıdır [19].



Resim 2.1. Çeltik kavuzu katkılı tuğla üretim süreçleri

Şekillendirilmiş tuğlalar pişirilmeden önce pişirme esnasındaki çatlamayı engellemek ve bir miktar mukavemet kazanması için kurutulması gerekmektedir. Tuğlaların kurutulması doğal olarak atmosferik şartlarda olabileceği gibi, nemin kontrol altında tutulduğu özel tasarlanmış kurutma odalarında da yapılabilir [20].

Kurutma işleminin ardından pişirme işlemi fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Pişirme sırasında kilin kimyasal değişimleri tuğlaların sağlamlığını ve mekanik özelliklerini artırmaktadır.

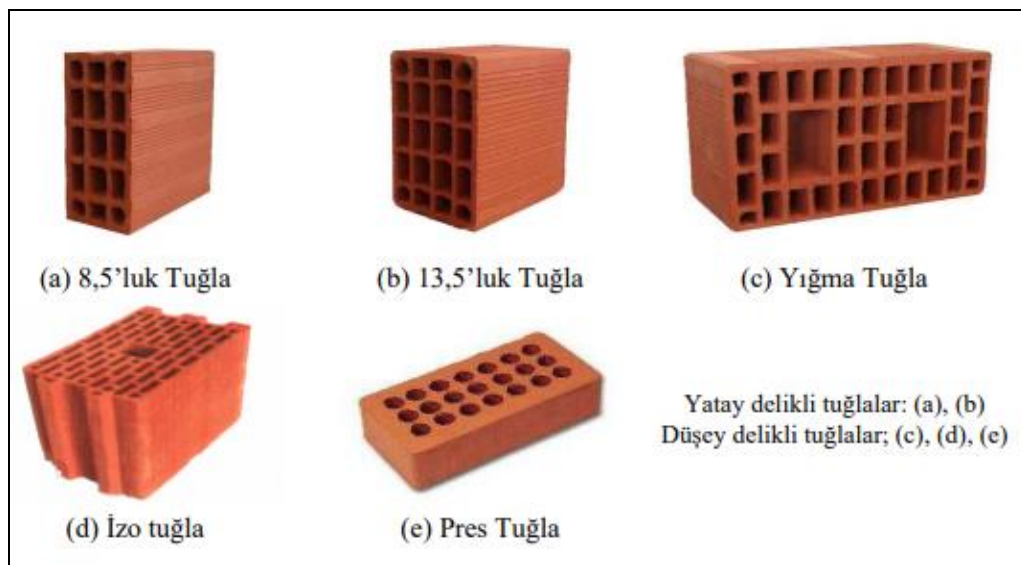
Tuğla üretiminin son aşaması pişirme işlemidir. Kiler pişirme sırasında kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300 °C’ de organik maddeler yanar, molekül suyu 550 °C’ de bileşimden ayrılır. 550-900 °C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin oluşur. Bu oluşan malzeme sert, şeklini koruyan, mukavemet kazanan ve rengini almış olan tuğladır. Pişirme sıcaklığı arttıkça su emme azalmakta ve birim ağırlığı artmaktadır. Ancak çok fazla yüksek sıcaklıkta pişirme tuğlaların camlaşmasına ve uygulama sırasında harca

yapışmasının azalmasına sebep olur. Genellikle pişirme sıcaklığı 900-980 °C arasında olmalıdır [21].

2.2.4. Tuğla çeşitleri

TS EN 771-1 (2015) standardına göre pişirilmiş tuğlalar LD ve HD olmak üzere gruplandırılmıştır. Birim hacim kütlesi 1000 kg/m^3 ve daha az olan ve açık hava şartlarına maruz kalmayan tuğlalar LD kâgir birim olarak isimlendirilmiştir. Birim hacim kütlesi 1000 kg/m^3 ' ten fazla olan ve açık hava şartlarına maruz kalan tuğlalar HD kâgir birim olarak isimlendirilmiştir.

TS EN 771-1'e (2015) göre, tuğlalar oturduğu yüzeye dik doğrultuda tuğlanın bir yüzünden diğer yüzüne tamamen uzanan tasarlanarak oluşturulmuş boşluklar bulunuyorsa, düşey delikli tuğla; tuğlanın bir yüzünden diğer yüzüne tamamen uzanan tasarlanarak oluşturulmuş boşluklar bulunuyorsa yatay delikli tuğla olarak isimlendirilir (Resim 2.2).



Resim 2.2. Tuğla örnekleri

2.3. Çeltik Kavuzu

Çeltik kavuzu (ÇK), çeltiğin öğütme işlemi sürecinde çeltik tanelerinin kapçıklarından ayrılması sonucu ortaya çıkan organik bir atık üründür (Resim 2.3). Bu organik atık ürün pirinç üreten ülkelerde ortaya çıkar ve içeriğinde % 20 oranında hidrat amorf silis, % 40 selüloz, % 30 lignin grubu bulunmaktadır [10,22-25].



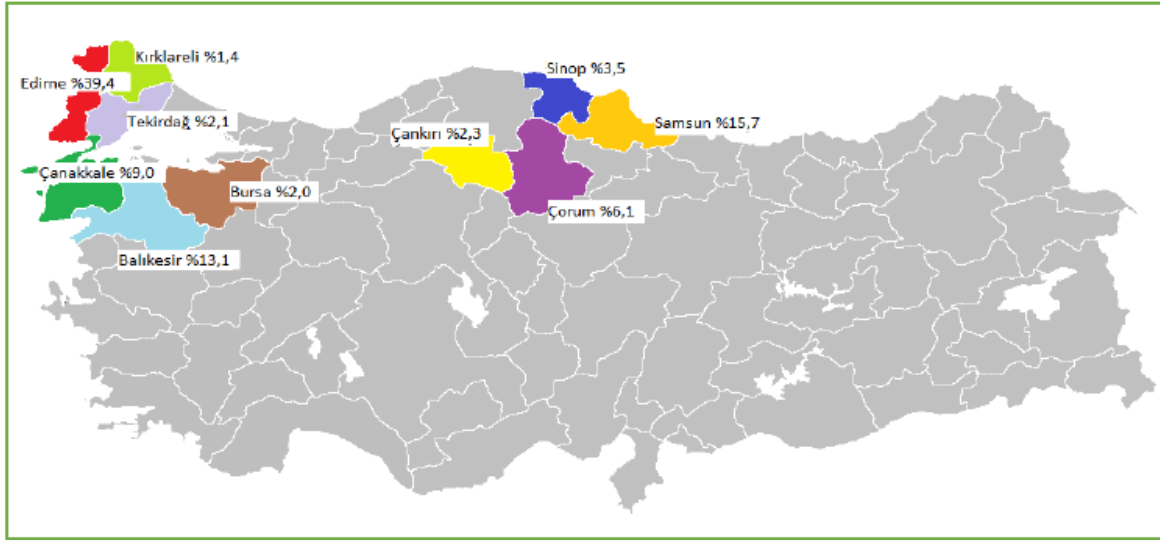
Resim 2.3. Çeltik kavuzu

Çeltik Kavuzunun su emme değeri %5-16 arasındadır. Çeltik kavuzunun su emme kabiliyeti ısı değerlerini etkilemektedir. Kavuzun ısıtma değeri içindeki nem oranı ile ters orantılıdır. İçindeki nem oranı arttığında ısıtma değeri azalmaktadır. İçerisindeki nem oranı fazla olduğunda buharlaşma için gerekli olan enerji büyüyecek ve ısı değerinden faydalanılmasını planladığımız kavuzdan ortaya çıkan ısı enerjisi azalacaktır. Çeltik kavuzları hafiftirler ve boyutlarında değişiklikler gösterirler. Boyutlarındaki farklılıklardan dolayı yakma işlemlerinde ısı bakımından istenilen verim alınamamaktadır. Isıtma değeri 31,55 MJ/kg olan kömür ile karşılaştırıldığında, 14,72-18,31 MJ/kg ısıtma değerine sahip olan çeltik kavuzunun ısı veriminin önemi ortaya çıkmaktadır [10,26].

Küresel anlamda 2020/21 sezonu çeltik tarımı, çeltik ekiliş alanlarında bir önceki sezona göre %1,0 artış gerçekleşmiştir. Bu durumun küresel pirinç arzı üzerinde olumlu etki yaptığı tahmin edilmektedir. Olumlu hava koşullarının da etkisiyle üretim önceki sezona göre %1,2 artış göstermiştir. Üretimde Çin yaklaşık 212 milyon tonla ilk sırada yer alırken, Çin'i yaklaşık 182 milyon tonla Hindistan izlemiştir. Türkiye'deki çeltik üretim alanları Harita 2.1 ve yıllık çeltik verimi Çizelge 2.2'de verilmiştir [27].

Çizelge 2.2. Türkiye'de çeltik ekim alanı, üretimi

Yıllar	Ekim Alanı (1000 ha)	Verim kg/da	Üretim ton	Çeltik Kavuzu Yaklaşık ton
2015/16	116	794	552000	110400
2016/17	116	793	552000	110400
2017/18	110	821	540000	108000
2018/19	120	782	564000	112800
2019/20	126	791	600000	120000
2020/21	125	782	588000	117600
2021/22	129	772	600000	120000



Harita 2.1. Türkiye’ de çeltik ekiminde en çok paya sahip iller

Çeltik kavuzunun en fazla ekildiği iller Harita 2.1’de gösterilmiştir. Çizelge 2.2 incelendiğinde her yıl 552000 ton ile 600000 ton arasında çeltik üretimi yapılmaktadır. Yaklaşık olarak organik tarım atığı olan çeltik kavuzunun 110400 ile 120000 ton açığa çıktığı tahmin edilmektedir.

Çeltik kavuzunun yüzeyi sert ve pürüzlü yapıda olduğundan yok edilmesi doğal yollarla oldukça zordur. Hacmi büyük olmasına karşın birim hacim ağırlığı düşük bir malzemedir. Üretilen çeltiğin ağırlıkça yaklaşık olarak %20’si kavuzdur [28].

2.4. Literatür Taraması

Günümüzde atık maddelerin ekonomiye kazandırılması konusunda, tuğla üretiminde kullanılmaları yaygınlaşan uygulama haline gelmektedir. Faria vd. (2012) araştırmalarında, tuğla üretiminde şeker kamışı küllerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Şeker kamışı küllerinin kullanımının, hammadde korunumu ve katı atıkların yönetimi açısından olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Hamer vd. (2002) çalışmasında, Bremen limanının temizlenmesi sonucu tabanından çıkartılan çamurun tuğla yapımında kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu çalışmada, %50 oranında kullanılan liman tabanı çökeltisi, diğer kullanılan killere ve öğütülmüş olan tuğla atıklarıyla karıştırılmış, presleme sonrasında 1050 °C'de pişirilmiştir. Araştırmada fiziksel ve mekanik testler sonucunda gereklilikleri sağladığı görülmüştür. Eliche-Quesada vd. (2012) çalışmalarında, tuğla üretiminde biyodizel üretim atıklarının kullanılabilirliğini incelemiştir. Araştırma sonucunda, biyodizel üretimi atıklarıyla üretilen tuğlalarda gözenekliliğin arttığı ve ısı iletkenliklerinin düştüğü belirlenmiştir [29-31].

Esmeray ve diğerleri (2019) yaptıkları çalışmada, tuğla üretiminde kanalizasyon çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kanalizasyon çamuru %5, %10, %15 oranlarında tuğla kiline eklenmiş 900°C ve 1050°C de pişirilmiştir. Kanalizasyon çamurunun üretilen tuğlaların dayanım değerleri üzerinde olumsuz bir etki yaptığı ancak sıcaklık artışının dayanımı olumlu etkilediği görülmüştür [32].

Levent (2012) tarafından yapılan çalışmada kırmızı çamurun katkı olarak tuğla kiline ilave edilerek tuğla özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tuğla kiline ağırlıkça %0 (kontrol serisi), %5 ve %10 oranında kırmızı çamur ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Tuğla numuneleri pişirilirken 3 farklı sıcaklık (800°C, 900°C, 1000°C) kullanılmıştır. Pişirilmiş numuneler üzerinde uygulanan mekanik ve fiziksel deneylerin sonucu olarak % 10 katkılı ve 1000 °C' de pişirilmiş numunelerin basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. Pişirilmiş kırmızı çamur katkılı tuğla numunelerinin renklerine bakıldığında referans numunelere göre daha kırmızı olduğu görülmüştür [33].

Emrulloğlu ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada tuğla üretiminde Kırka boraks atığı ile Afyon Reis mermer atığının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmalarında farklı karışımlar hazırlamışlar ve farklı sıcaklıklarda sinterlemişlerdir. Boraks atıklarının

bağlayıcı özellikleri, sıvı faz oluşturmaları ve soğuyunca katılaşmaları sebebiyle 600-700 °C'lerde sıvı fazın sinterleşmeyi sağladığını saptamışlardır. Karışımlarda mermer atığı oranı arttıkça; pişme küçülmesi, gözenek miktarı, kızdırma kaybı, basma dayanımı, su emme ve yoğunluk değerlerinin de arttığı görülmüştür [34].

Bor atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliğini inceleyen Aydın diğerleri (2004) çalışmalarında, Emet Kolemanit İşletmesi bor atıklarını kullanmışlardır. Araştırma sonucunda yapılan karışımlarla üretilen tuğlaların TSE standartlarına uygun olduğu görülmüştür [35].

Elbeyli ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada, tuğla üretiminde boraks atığının kullanılabilirliğini incelemiştir. Araştırma da karışımlardan bünyesinde %18 nem bulunan %10 oranında kullanılan boraks atığının 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta pişirilmesi ile kaliteli tuğlanın üretildiği belirlenmiştir [36].

Gencel ve diğerleri (2013) yaptıkları çalışmada, zeolit, ferrokrom cürufu ve kombinasyonlarının üretilen tuğlaların fiziksel, mekanik, ısı iletkenliği özelliklerine etkisini araştırılmışlardır. Tuğla kiline ilave edilen katkılarla üretilen yarı kuru karışımlar 20 MPa ile sıkıştırılarak 900 °C'ye 2 saat süre ile 5°C/dk şeklinde ateşlenmiştir. Cürüflü tuğla numunelerinin yoğunluğunun arttığı gözlenirken, zeolitli tuğla numunelerinin hacminin azaldığı görülmüştür. Referans tuğlanın dayanımı 27,9 MPa olup, tuğla kiline %10, %20 ve %30 oranlarında cüruf ilave edilmesiyle üretilen tuğla numunelerinin basınç dayanımı 27,5-32 MPa değerleri arasında olup, %10, %20 ve %30 zeolit ilave edilmesiyle elde edilen tuğlalar ise 14,3-2,23 MPa arasında basınç dayanımı göstermiştir. Tuğla kiline cüruf ve zeolit kombinasyonu ile elde edilen tuğlaların basınç dayanımlarının 17,4 ile 27,7 MPa değerleri arasında olduğu görülmüştür [37].

Sabah (2005) yürüttüğü projede, Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi' nin atığının tuğla üretiminde kullanılabilirliği araştırmıştır. Yapılan çalışmada tuğla kili olarak Afyon yöresi Çobanlar kili kullanılmış ve %2,5, %5, %7,5, %10, %15, %50 oranlarında kömür atığı ilave edilerek 850°C, 950°C ve 1050°C sıcaklıklarda pişirilmişlerdir. Üretilen tuğlalara çeşitli kalite testleri ve performans testleri uygulanmıştır. Araştırma sonucunda %50 kömür atığı ile üretilen tuğlalarda şekil bozuklukları olduğu görülmüştür. %2,5 kömür atığı ile üretilip 950 °C' de pişirilen, tuğlalarda basınç dayanımları ve gözenekliliğin yüksek

olduğu, bu sebepten dolayı hafif yapı elemanı olarak yapılarda kullanılabilceği görölmüştür [38].

Tuğla üretiminde atık maddelerin kullanımı ile ilgili çalışmaların sayısının son dönemlerde yüksek oranda arttığı görölmektedir. Günümüzde yapı malzemelerinin üretimlerinde amaç maliyeti ucuz, çevreye zararı az olan, beklenen test değerlerini sağlayan, ürünlerin üretimi olmuştur. Liman, nehir, baraj tabanında birikmiş olan killerin tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılması ile ilgili yapılan araştırmalar bu çıkarımı doğrulamaktadır [30,39-41].

Atıkların tuğla üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili önemli çalışmalardan biri de Chiang ve diğerleri (2008) tarafından yapılmıştır. Çalışmada tuğla üretiminde Tayvan'daki Shi-Men barajının tabanındaki çökelti çamurun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çökelti çamuruna %5-20 oranında kil karıştırılmış ve preslenen karışımlar 1000-1150 °C' de pişirilmiştir. Araştırma sonucunda kullanılan killerin yerine tuğla üretiminde çökelti çamurunun kullanılabilceği görölmüştür. 2015 yılında Velasco ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tuğla üretiminde üzüm bağı atıklarının külleri kullanılmıştır. Üzüm bağı atıklarının külleri ile üretilen tuğlalarda ısı iletkenliklerin %62 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır. Üretilen tuğlaların yeterli dayanıma sahip oldukları da belirtilmiştir. Samara ve diğerleri (2009) çalışmalarında Fransa'da nehir yatağından çıkartılan çökeltilerin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmış ve çalışmada kil ile çökelti karıştırılmış 1000 °C'de pişirilerek tuğla üretilmiştir. Üretilen tuğlalar standartların üzerinde sonuçlar vermiş ve böylelikle atık çökeltinin tuğlada kullanılarak değerlendirilmesi aynı zamanda ekonomik olarak da kazanca dönüştürölmesi yönünde olumlu bir sonuç alınmıştır [40-42].

Bilgin ve diğerleri (2012) çalışmalarında, mermer tozunun tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Üretilen tuğlalarda mermer tozunun tuğlaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde olumlu etkilerinin olduğu bulunmuştur. Yıldız (2008) çalışmasında, İç Anadolu bölgesinde bulunan dört farklı tuğla fabrikasının atığının, tuğla üretiminde tekrar değerlendirilmesini araştırmıştır. 1050 °C sıcaklıkta %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında ikame edilerek tuğla üretilebileceği, fiziksel ve mekanik özellikler yönünden olumlu sonuçlar göröldüğü tespit edilmiştir. Bilgin ve diğerleri (2017) çalışmalarında, Niğe Bor Şeker Fabrikasında %20'ye varan oranlarda yanmamış karbon içeren taban külünün tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Tuğla üretiminde taban külünün kullanılabilceği ve taban külünün değerlendirilmesi konusunda alternatif

olduğu belirlenmiştir. Demir ve diğerleri (2014) çalışmalarında, tuğla üretiminde katkı olarak tuğla kiline ilave edilen kırmızı çamurun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Tuğla kiline ilave edilen kırmızı çamurun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve kırmızı çamur katkısının tuğlanın basınç dayanımını artırdığı belirlenmiştir. Kırmızı çamur katkısı kullanılan tuğlaların kırmızısız bir renk aldığı görülmüştür. Demir ve arkadaşı (2018) araştırmalarında tuğla üretiminde bor atıklarını değerlendirilmesini araştırmıştır. Üretilen numunelerin 900 °C de pişirilmesiyle hafif ve gözenekli yapı malzemesi üretilebileceği belirlenmiştir. Kavas ve arkadaşı (2018) çalışmalarında, Etibor Kırka Boraks İşletmesine ait konsantratör atıklarının tuğla üretiminde (pres tuğla) ergitici eleman olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Üretilen preslenmiş tuğla numunelerinde kullanılan bor atıklarının tuğlaların pişme sıcaklığını önemli ölçüde düşürdüğü ve bununla birlikte su emme miktarlarını azalttığı belirlenmiştir [43-48].

Zal (2010), tarafından yapılan araştırmada, Trakya Bölgesinde üretim yapan tuğla fabrikalarından alınan tuğla örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırılmış ve hammaddelere zeolit, uçucu kül ve tras ikame ederek tuğla üretilmiştir. Katkılı tuğlalarda alınan değerlerin standartlardaki değerler ile uyummadığı gözlemlenmiştir [6].

Abbas ve diğerleri (2017) tarafından yapılan araştırmada, tuğla kiline uçucu kül ilave edilerek tuğla üretilmiştir. Çalışmada tuğla kiline %0, %25 uçucu kül ilave edilmiştir. Araştırma sonucunda uçucu kül oranı arttıkça referans tuğlaya göre basınç dayanımının düştüğü görülmüştür [49].

Ulusoy (2008) tarafından yapılan araştırmada, tuğla hammaddesine %5, 10 ve 20 oranlarında atık uçucu tekstil külü ve bazaltik pomza ikame edilerek, 700, 900, 1050 °C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Katkılı tuğlaların mekanik özelliklerinin, katkısız tuğla örneklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [50].

Yüksek ve arkadaşı (2017) çalışmalarında, hafif yapı tuğlası üretiminde Kangal Termik santrali atığı uçucu kül ile alçı ve kirecin farklı oranlarda karışımlarını araştırılmışlardır. %70 alçı, %10 uçucu kül ve %20 oranında kullanılan karışımın diğer oranlardaki karışımlara göre daha optimal değerlere sahip olduğu görülmüştür. Kızgut ve diğerleri (2001) çalışmalarında, Çatalağzı termik santralinin atığı uçucu külün tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan araştırmaya göre %30-40 oranında tuğla kili ve

uçucu kül karışımı kullanımıyla uygun özellikte tuğla üretilebileceği ve tuğla üretiminde meydana gelen ve kireç kusmasından meydana gelen beyazlaşmanın ortadan kalktığı belirlenmiştir [51,52].

İnceyol (2019), tarafından yapılan araştırmada, tuğla üretiminde tuğla kiline cam katkısı ikame edilerek tuğla üretilmiştir. Katkılı tuğlaların referans tuğlalara göre basınç dayanımlarının yüksek çıktığı ve katkı oranının artmasıyla basınç dayanımlarının da arttığı görülmüştür [53].

Görhan (2011), tarafından yapılan araştırmada, tuğla üretiminde tuğla kiline çeltik kavuzu katkısı ikame edilerek yüksek yalıtım özelliklerine sahip tuğlalar üretilmiştir. Tuğla kiline çeltik kavuzu, hacimsel olarak; %5, %10 ve %15 oranlarında, öğütülmüş ve ham halde olmak üzere eklenmiştir. Çalışmada kullanılan tuğla kili ve çeltik kavuzu Çorum yöresinden temin edilmiştir. Üretilen numuneler farklı sıcaklıklarda (700, 800, 900 ve 1000oC) pişirilerek fiziksel ve mekanik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre kullanılan çeltik kavuzu katkısı, üretilen tuğlaların kızdırma kaybı ve su emme oranını, görünür porozite değerlerini arttırmıştır. Katkı oranlarının artmasıyla tuğla örneklerinde birim hacim ağırlığı ve basınç mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla tuğla örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı artmış, katkı oranının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısında azalma meydana gelmiştir. Basınç dayanımı açısından bakıldığında, hacimsel olarak %10 ham çeltik kavuzu katkısının ve %15 öğütülmüş çeltik kavuzu katkısının maksimum kullanılacak değerler olduğu belirlenmiştir. Isı iletkenlik özelliği açısından ham çeltik kavuzu katkılı tuğla örneklerinin başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir [10].

Tuğlaların bünyesinde porozitenin oluşturulmasıyla yalıtım kapasitesi artırılabilir. Porozite oluşturmada katkı maddelerinin başı organik katkılardır. Gözenek oluşturmak için kullanılan katkı maddeleri organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan organik olan malzemelere örnek kömür, testere talaşı, çeltik kavuzu, kağıt atığı gibi malzemeler, inorganik malzemelere örnek ise perlit, diyatomit, vermikülit, kalsit ve pomza verilebilir [54].

Liew ve diğerleri (2004), tuğla üretiminde kanalizasyon çamurunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmada, tuğla kiline ağırlıkça, %10'dan %40'a kadar kanalizasyon

çamuru katkısı ikame edilmiştir. Üretilen katkılı tuğlaların yüzeylerinde, normal tuğlalara göre bozukluklar meydana geldiği görülmüştür. %40' a kadar çamur ikame edilen örneklerin fiziksel ve kimyasal özellik bakımından standartları karşıladığı fakat %30 a kadar kanalizasyon kili kullanımı tavsiye edilmektedir. Sebebi ise hafif dokunulduğunda bile kırılabilmeleri gösterilmiştir. Katkılı tuğlaların yüzey bozukluklarından dolayı ön planda olmayan yerlerde kullanılabilceği belirtilmiştir [55].

Demir (2006), çalışmasında atık çayların tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Organik yapıda olmasından dolayı işlenmiş çay atıklarının tuğla bünyesi içinde gözenek oluşturmaları ve bağlayıcılık özellikleri araştırılmıştır. İşlenmiş çay atıkları tuğla kili içerisine %0, 2, 5 ve 10 olarak ikame edilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda, İşlenmiş çay atığı katkılı tuğlaların pişmiş ve pişmemiş örneklerinde basınç dayanımları bakımından olumlu artışlar olduğu ve bünyelerinde çatlak veya kırılmalar olmadığı gözlenmiştir. Sonuç olarak atık malzemenin tuğla üretiminde kullanılabilceği belirlenmiştir [56].

Elinwa (2006), çalışmasında yakılmış talaş tozu küllerini tuğla üretiminde kullanmış ve katkılı tuğlaları; 200, 600 ve 1200°C'de pişirmiş ve sırasıyla 1, 4 ve 8 gün boyunca örneklere kür işlemi uygulamıştır. Kireçtaşının kirece dönüşmesini kür ederek görmek istemiştir. Üretilen katkılı tuğlalarda katkı miktarı arttıkça basınç mukavemetlerinde azalma görülmüş ve maksimum basınç mukavemeti 600°C'de pişirilen %10 atık ikameli, 1 gün kür edilen tuğla örneklerinden elde edilmiştir. Atık miktarının artmasıyla tuğlaların su emme değerleri de artmış fakat standartlarda kalmıştır. Yakılmış talaş tozu küllerini tuğla üretiminde kullanılması ile tuğlaların büzülme etkilerinin azaldığı da belirlenmiştir [57].

Menezes ve diğerleri (2005), tuğla üretiminde granit artıklarının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda granit atıklarının seramik hammaddeleri ile aynı özellikleri gösterdiği için üretilen tuğlalarda farklı bir özellik gözlenmediği elde edilmiştir [58].

Oyetola ve diğerleri (2006), çalışmalarında %0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 10 oranında tuğla kiline çeltik kavuzu ikame etmiş 3-4 saat süresince 1005°C'de pişirilmiştir. Araştırma sonucunda tuğlaların basınç mukavemetinin azaldığı ve katkı malzemesinin artırılmasıyla daha hafif olduğu sonucuna varılmıştır [59].

Kumarasamy ve diğeri (2021) araştırmalarında, tuğla üretiminde uçucu külün optimum kullanım oranının tespitini amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda uçucu kül kullanımının tuğla özelliklerine olumlu etkisinin görüldüğünü ve optimum kullanım oranının %20 olduğu sonucuna varmışlardır [60].

Abbas Al Amara (2022) yapmış olduğu tez çalışmasında, bor atığı ve uçucu kül kullanarak geopolimer tuğla üretmiştir. Çalışmada da dayanımlı ve yalıtım özelliği yüksek geopolimer tuğla üretmeyi amaçlamıştır. Bor atığı oranları (%10, %20, %30, %40, %50 ve %60) değiştirilerek kullanılmış ve %10 oranında uçucu kül sabit tutularak üretim yapılmıştır. Üretilen geopolimer tuğla örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, porozite, su emme, ısı iletkenlik katsayısı deneyi, eğilme de çekme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Üretilen tuğla örneklerine yapılan deneylere göre su emme, birim hacim ağırlık, porozite ve ısı iletkenlik katsayısında azalma meydana gelmiştir. Bor atığı katkısı %50 oranına kadar kullanıldığında basınç dayanımında artma, daha fazla oranda kullanımında basınç dayanımında azalma meydana getirmiştir. Eğilmede çekme deneyinde ise tam tersi olarak bor atığı katkısı %50 oranına kadar kullanıldığında azalma, %60 oranda kullanımında azalma meydana getirmiştir. Uçucu kül ve bor atığının kullanımının tuğla üretiminde olumlu sonuçlar verdiği ve çevre sağlığı bakımından da olumlu olacağı tespit edilmiştir [61].

Berkgil (2019) tez çalışmasında, kırılmış cam elyaf ile polipropilen lif kullanılarak ağırlıkça % 0 (katkısız), % 0,5, % 1 ve % 1,5 oranlarında killi toprağa ikame edilerek tuğla üretimi gerçekleştirmiştir. Üretilen katkılı tuğla örneklerine kızdırma kaybı, birim hacim ağırlık, basınç ve eğilme dayanımları testleri yapılmıştır. Katkı oranının artmasıyla pişirilmiş örneklerde basınç ve eğilme dayanımları artmış, pişirilmemiş örneklerde ise basınç ve eğilme dayanımları azalmıştır. Pişirilmemiş numunelerde katkı oranının artmasıyla hacim ve birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür [62].

Aykut (2017) tez çalışmasında, tuğla üretiminde traverten ve Bayburt taşı atıkları ile sodyum hidroksiti geopoimerizasyon yöntemiyle kullanmış ve yüksek dayanımlı tuğla üretimini amaçlamıştır. Hamur haline getirilen numuneler küre bırakılarak sonrasında 20, 40, 80 °C sıcaklıklarda pişirilerek sertleştirilmiştir. Sertleşen örnekler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, priz başlama ve bitişi, birim hacim ağırlık, aşınma dayanımı, su emme

gibi deneyler yapılmıştır. Alınan değerler referans ile karşılaştırıldığında daha ekonomik, yüksek dayanımlı, çevre dostu malzeme olduğu sonucuna varılmıştır [63].

Ertaş (2017) tez çalışmasında, kil ile bor atığı, atık kül, alünit, kalsine manyeziti farklı oranlarda karıştırarak laboratuvarında presleme yöntemiyle tuğla örnekleri üretmiştir. 6 adımda sıcaklık artırılarak 900 °C’ de tuğla örnekleri pişirilmiştir. Üretilen tuğla örneklerine fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre kızdırma kaybı, porozite, dayanım gibi özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir [64].

Zawrah ve diğerleri (2016) araştırmalarında, geopolimer tuğla üretimi için yüksek fırın cürufu ve kil kullanarak üretim yapmışlardır. Tuğla üretiminde yüksek fırın cürufu %20, %40, %60 ve %80 oranlarında kullanılmıştır. Geopolimer üretimde kür sürelerinin etkisini de araştırmışlardır. Sonuç olarak üretilen tuğlalarda geri dönüşüm sürecinin başarılı olduğu sonucu kanıtlanmıştır [65].

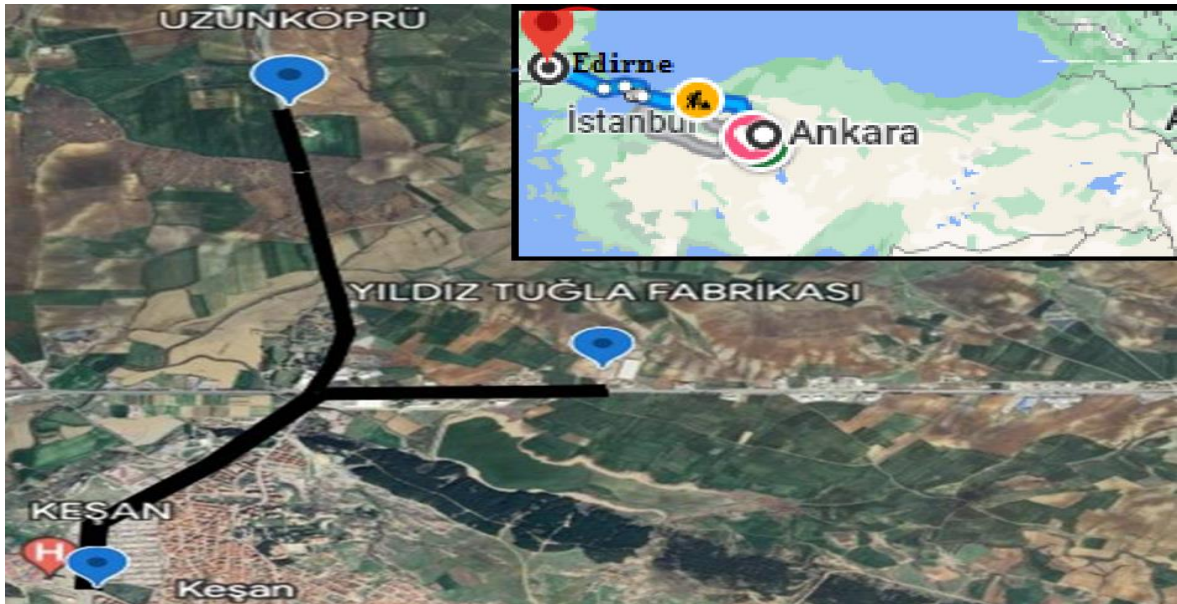
Amin ve diğerleri (2017) yapmış oldukları araştırmada, seramik karo malzeme imalatı sürecinde çıkan atık ince toz malzemeyi tuğla üretim sürecinde kullanmışlardır. Çalışmalarında %1 sodyum hidroksit seviyesinde kostik soda ve %6-%10 arasında sönmüş kireç kullanmışlardır. Atık malzemelerin kullanımında ekonomik açıdan önemli bir azalma görülmüştür [66].

Bu çalışmada, tuğlanın üretiminde atık malzeme olarak organik tarım atığı ham çeltik kavuzu kullanılmıştır. Literatürde genellikle tuğla üretimine ikame edilen katkılarla basınç dayanımını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada özellikle basınç dayanımının yanında ısı iletkenlik katsayısında da olumlu sonuçlar alınabileceği amaçlanmıştır. Tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde özellikle hafiflik ve ısı iletkenlik katsayısında olumlu sonuçlar alınacağı öngörülmektedir. Pişirme işlemi sırasında tuğla hammaddesi içerisindeki çeltik kavuzu yanacak, tuğla içerisinde birbirinden bağımsız boşluklar oluşacak, tuğlada hafiflik ve ısı iletkenlik katsayısının yanında tuğlanın diğer mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılacaktır. Bu sayede ekonomik üretime imkan sağlanacaktır. Çalışmada hem organik tarım atığı olan çeltik kavuzu değerlendirilmiş, hem de sürdürülebilir tuğla üretimi gerçekleştirilmiş olacaktır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Tez çalışmasında kullanılan malzemeler Edirne ilinden temin edilen kil ve çeltik kavuzudur. Kil, Edirne ilinin Keşan ilçesinde Yıldız Tuğla üretim fabrikasında üretimde kullanılan kildir ve yoğunluğu $2,61 \text{ g/cm}^3$ ' dir. Çeltik kavuzu, Edirne ilinin Uzunköprü ilçesinden çuvallara preslenmiş şekilde temin edilmiştir ve yoğunluğu $1,42 \text{ g/cm}^3$ dir. Kil ve çeltik kavuzunun kimsayal analizleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir. Üretimde kullanılan malzemeler Resim 4.1. de ve üretim yapılan Yıldız Tuğla Fabrikasının yer bul haritası Harita 3.1' de gösterilmiştir.



Harita 3.1. Uzunköprü- Keşan-Yıldız Tuğla Fabrikasını gösteren yer bul haritası

Çizelge 3.1. Kil ve çeltik kavuzu malzemelerine ait kimyasal analiz değerleri

Malzeme	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	K.Kaybı
Kil	59,03	10,72	8,04	6,02	3,27	0,07	1,84	1,36	0,06	0,2	9,39
Ç.K.	94,52	0,89	0,71	1,92	0,19	0,1	1,32	0,45	0,02	0,27	0

Kilin kimyasal yapısına bakıldığında CaO miktarı %6'dan fazla ise, bu kil kalkerli kil olarak isimlendirilmektedir. Eğer ki; kilin kimyasal analizinde MgO, K₂O, Fe₂O₃, CaO, TiO₂ konsantrasyonu % 9'dan fazlaysa, düşük refrakterli; % 9'dan az ise kil yüksek refrakterli olarak isimlendirilmektedir [67]. Bu çalışma göz önüne alındığında

çalışmamızda tuğla üretiminde kullanılan kil, düşük refrakter özellikli kalkerli kil olarak kabul edilmiştir



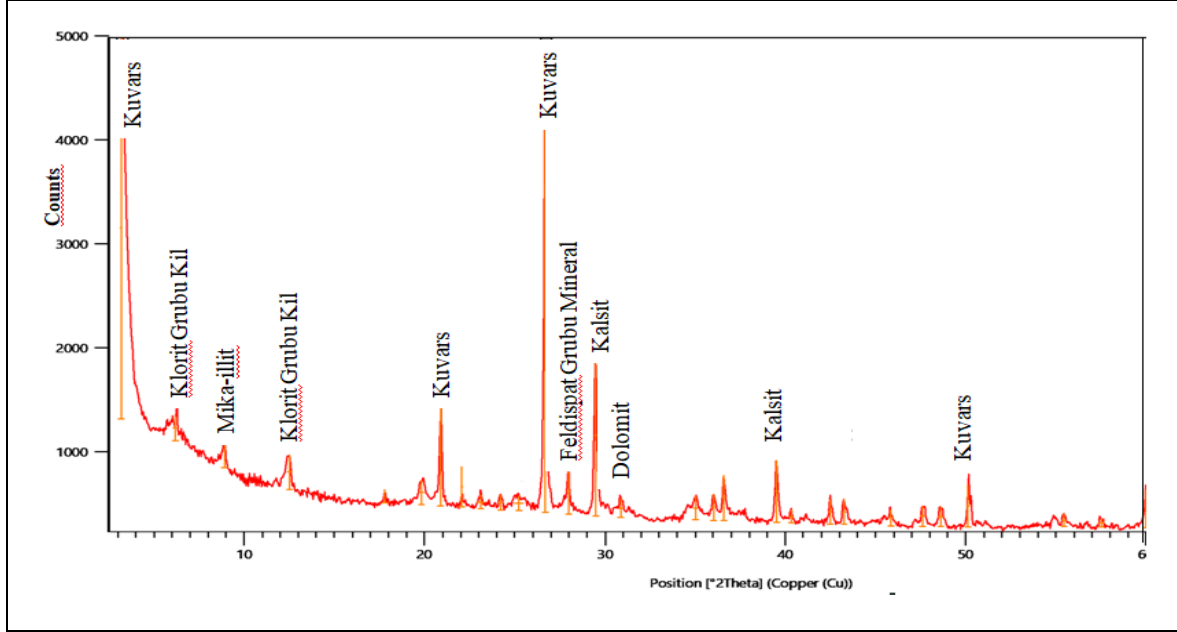
Resim 3.1. (a) Üretimde kullanılan kil, (b) Çuvallarda preslenmiş çeltik kavuzu

Tuğla üretiminde kullanılan kilin kimyasal yapısında bulunan önemli minerallerden biride demir oksittir. Üretilen tuğlanın renginin kırmızı olmasını sağlar ve miktarının %5' den fazla olması gerekir. Fe_2O_3 ve hidratların oranının % 8-10 arasında olması gerekir aksi halde pişirme sırasında çatlaklar ve kopmalar yapabilir [68]. Diğer taraftan MnO % 5'den az bulunması gerekir aksi halde tuğla pişirildiğinde rengi kahverengi ve tuğlanın su ile temasında çatlaklar oluşmaktadır [69].

Kalsiyum karbonat $900\text{ }^{\circ}C$ ' de kirece dönüşür ve bu şekilde devam ettiğinde soğutma esnasında havanın nemini ve karbondioksitini çekerek hacmi artar, malzemenin yapısında patlamaya neden olur. $900\text{ }^{\circ}C$ ' de gerçekleşen CO_2 çıkışı malzemenin mukavemetini düşürür ve malzemenin su emmesini artırmaktadır [70]. Bu sıcaklıkta malzeme yapısında illit, kuvars ve kalsit bulunması anortit kristalini oluşturur [10,71].

Üretimde kullanılan (ham/orijinal) kilin XRD çekiminde minorolojik çekim sonucunda elde edilen mineraller kuvars, kalsit, mika-illit, klorit grubu kil minerali feldispat grubu mineral dolomit minerallerinin olduğu görülmüştür (Şekil 3.1). Kil pişirildiğinde yani pişmiş kil (pişmiş tuğla) da ise pişme sonucunda amorf (camsı) yapı ve mineral yapıda değişimler meydana gelmiştir. Değişim sonucu klorit grubu kil mineralleri kaybolmuştur.

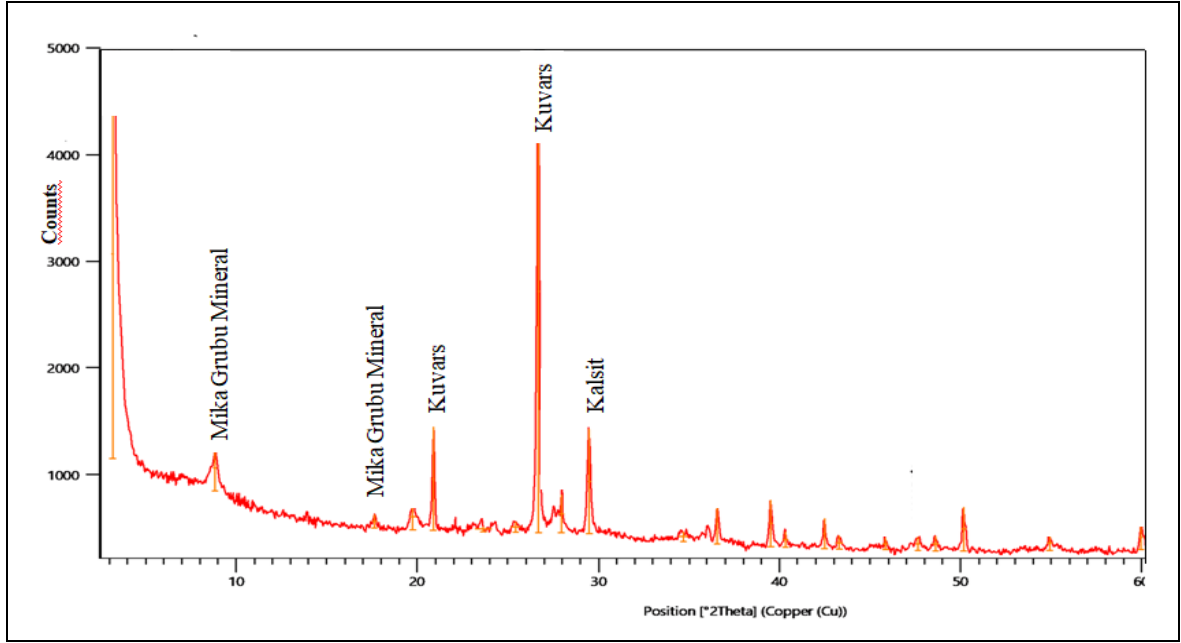
Amorf(camsı) yapıdaki artış yanında kuvars, mika-illit, feldispat grubu mineraller ve kalsit mineralleri görülmüştür (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Ham kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı

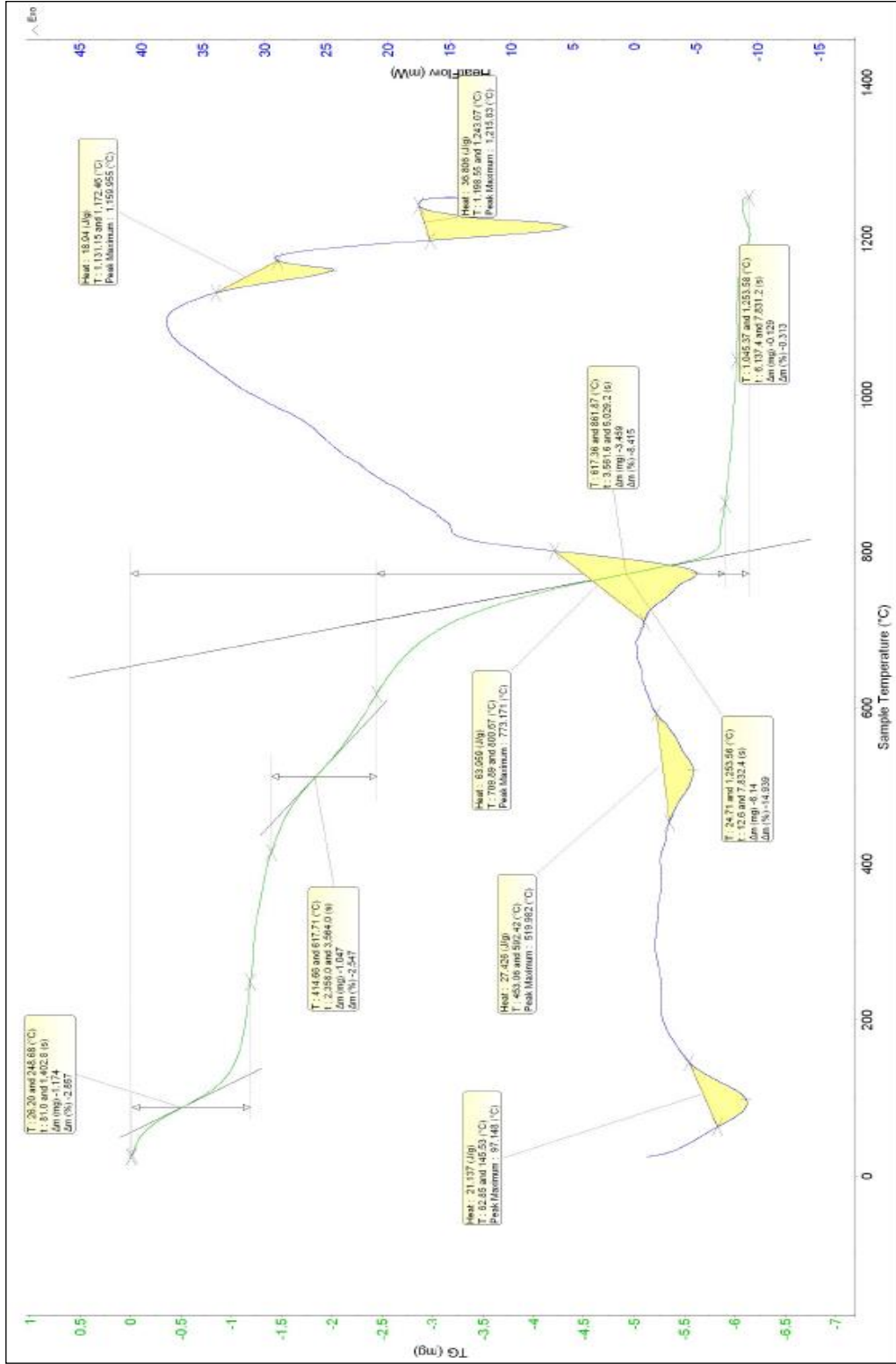
DTA genellikle kilerin termal reaksiyonlarını incelemek için kullanılan bir tekniktir. DTA pik sıcaklıkları analiz yapılan mineralin kendisine özgüdür. Eğriler kilerin tanımlanması için kullanılırlar [72].

TG yöntemiyle kontrollü bir şekilde ısıtılan ya da soğutulan örneklerin ağırlıklarındaki değişimler ölçülür ve eğri şeklinde grafiği alınır. Bu grafikte malzemenin birleşimi ve termal duyarlılığı ölçülmektedir [73].



Şekil 3.2. Pişmiş kil malzemesine ait X-ışınları difraktogramı

Şekil 3.3' te görüldüğü gibi 97,148°C' de ortaya çıkan DTA piki adsorbe suyun buharlaşması nedeniyledir. Bu da % 2,857 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Su uzaklaşırken ortamdan enerji çeker ve endotermik pik görülür.



Şekil 3.3. Kil malzemesine ait DTA/TG grafiği

Yaklaşık 453,06 – 592,42°C arasında kristal bağlı su yapıdan uzaklaşmış ve 519,982 °C endotermik pik oluşmuştur. % 2,857 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Burada meydana gelen endotermik pikin nedeni ise kristal bağlı suyun atılmasıdır.

709,89°C – 800,67°C sıcaklık aralıklarında ise kil mineralinde bulunan kalsit mineralinin dekompozisyonu sonucunda 773,171 °C’ de ekzotermik pikin oluştuğu düşünülmektedir. % 8,415 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Kil içerisindeki organik maddeler tamamen azalmaktadır.

Malzeme ısıtılmaya devam edildiğinde ise yaklaşık olarak 1050 °C’nin üzerinde mullite dönüşmektedir. 1159,955 °C’ de ekzotermik pikin oluştuğu ve % 0,313 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Daha sonraki sıcaklıklarda kalsinasyon tamamlandığından malzemenin ağırlığı sabit kalmaktadır.

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Fabrika ortamında üretilen tuğlalar, dinlenmiş kil ile çeltik kavuzunun hacimce %0, %2.5, %5, %7,5, %10, %12,5, %15 oranlarında karıştırılarak, su ile hamur haline getirildikten sonra, şekillendirilerek kurutulması, sonrasında özel fırınlarda pişirilmesi ve paketlenmesi ile elde edilmiştir. Üretimde kullanılan malzeme oranları Çizelge 3.2’ de verilmiştir. Aşağıda üretilen çeltik kavuzu katkılı hafif tuğlaların üretim aşamaları gösterilmektedir. Ön denemeler sonucunda hacimce maksimum %15 çeltik kavuzu kullanımı ile düzgün geometrik şekil sağlanmıştır.

Çizelge 3.2. Üretimde kullanılan karışım tasarımı

ÇK Katkılı Oranı (Kavuz hacimce % oranı)	Kil (%)	Ham Çeltik Kavuzu (%)
0	100	0
2,5	97,5	2,5
5	95	5
7,5	92,5	7,5
10	90	10
12,5	87,5	12,5
15	85	15



Resim 3.2. Üretimde kullanılan dinlendirilmiş kil

Bir birim olarak hesaplanan ve uygulamada 10 birim olarak uyguladığımız Resim 3.2’ de görülen dinlendirilmiş kil, yüklenici kepçe ile beşigerin ön kısmına serildi ve hesaplanan miktarda çeltik kavuzu serilmiş kilin üzerine döküldü (Resim 3.3).



Resim 3.3. Yere serilmiş dinlendirilmiş kilin üzerine çeltik kavuzunun dökülmesi



Resim 3.4. Kil ve eltik kavuzunun yükleyici kepçe ile karıştırılması



Resim 3.5. Karıştırılmış kil ve eltik kavuzunun beşigerdeki görüntüsü

Yükleyici kepçe ile tuğla üretiminde kullanılacak kil ve eltik kavuzu karıştırıldı (Resim 3.4). Karıştırılan malzemeler üretim sahasına aktarılması için beşigere dolduruldu (Resim 3.5). Beşiger, sonsuz bant sistemi ile malzemenin fabrikanın üretim sahasında istenilen alana nakledilmesinde kullanılır.



Resim 3.6. Yıldız karma makinesine aktarılan malzeme

Beşigerden üretim sahasına gelen belirli oranlarda karıştırdığımız malzeme bant yardımıyla yıldız karma makinesine aktarıldı. Yıldız karma makinesi elekler üzerine yıldız tipinde bıçakları ile baskı yaparak malzemeyi ezip elekten geçiren bıçakların sabit eleklerin dönüşüyle malzemenin işlenmesini sağlayan bir makinedir (Resim 3.6).



Resim 3.7. Daha büyük çaplı yıldız karma makinesine aktarılan malzeme

Diğer yıldız karma makinesine aktarılan karışım burada tekrar su ile yoğrularak eleklerden ezilerek geçirildi (Resim 3.7). Plastik kıvama getirilen malzeme diğer bir aşama olan vals makinesine bantlarla iletildi (Resim 3.8). Vals iki yatay ve bir paralel ekseninde farklı devirlerde dönerek aşınmaya dayanıklı silindirik toplardan oluşmaktadır. Malzemenin homojenliğini artırdığından hazırlık aşamasında valsler önem arz etmektedir.



Resim 3.8. Valse aktarılan ve çıkan malzeme



Resim 3.9. (a) Vakum pres makinesi ile kalıptan çıkması, (b) Tuğlaların tel sistemi ile kesimi

Hazırlanmış hammadde vakum pres (extruder) makinesine gönderilerek havası vakum yöntemiyle emilmiş ve plastik hale gelen hammadde helezonlar yardımıyla vakum presin ağzındaki kalıp vasıtası ile iki boyutlu hale gelmiştir (Resim 3.9 (a)). Daha sonra ince tel

sistemi ile kesilerek 3 boyutlu hale gelmiş ve sonsuz bant yöntemiyle şekli düzgün olan tuğlalar ranzalara dizilmek üzere uzaklaşmıştır (Resim 3.9 (b)).



Resim 3.10. Şekillendirilen ve ranzalara dizilen yaş tuğlalar



Resim 3.11. Kurutma odalarına girmeye hazırlanan tuğlalar

Şekillendirilmiş tuğlalar ranzalara dizildi ve kurutma odalarında sıraya alındı (Resim 3.11).



Resim 3.12. Üretilen tuğlaların kurutmadan çıkışları

Resim 3.12’ de görülen kurutmadan çıkarılan tuğlalar pişirmek üzere fırınlara dizildi. Fırının üstünde bulunan deliklerden kömür püskürtülmekte, bu işlem delikler boyunca devam etmektedir. Sıcaklığı 900-980 °C arasında değişen fırınlarda pişirme işlemi gerçekleşti (Resim 3.13).



Resim 3.13. Fırında pişmiş tuğlalar

Fırınlarda pişirilen tuğlalar paletlere yerleştirilerek endüstriyel streç film ile sarılarak Resim 3.14’ de görüldüğü gibi paketlenmiştir. Forklift ile taşıyıp kamyonlara yerleştirildi ve Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği TUKLAB’a götürüldü.



Resim 3.14. Paketlenmiş tuğlalar

3.3. Metot

3.3.1. Mineralojik, kimyasal ve termal analizler

Üretimde kullanılan kildeki kristal fazların belirlenmesi amacı ile Ankara Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında XRD analizi gerçekleştirilmiştir.

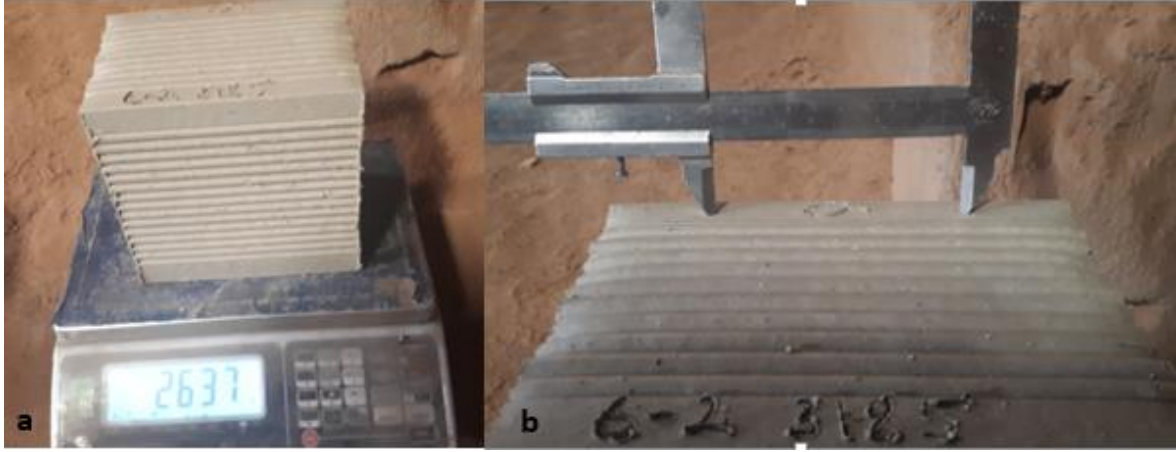
Üretimde kullanılan kilin hangi sıcaklıklarda ve ne oranda termal reaksiyon meydana geldiğini, termal hassasiyetlerinin tespit edilmesi amacıyla Ankara Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında 25 °C – 1250 °C sıcaklık aralığında DTA/TG cihazında DTA/TG analizi gerçekleştirilmiştir.

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

Şekillendirilen tuğlalar banttan ranzalara dizildikten sonra yaş ağırlıkları tartılmıştır. Boy değişimleri ise kumpas 10 cm açılarak tuğla üzerine işaretlenmiştir. Kurutma işlemine tabi tutulan tuğla örnekleri kurutma sonrası tekrar tartılmış ve kumpas ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir tuğla örneğine ait plastiklik suyu, kuruma küçülmesi ve örneklerin fırında pişirildikten sonra tartılmasıyla toplam doğrusal küçülme değerleri TS 4790 [74]'a göre belirlenmiştir. Deneylerde her örnek grubundan 10 örnek üzerinde işlem yapılmış ve ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Resim 3.15. (a) Yaş tuğlaların tartılması, (b) Yaş tuğlaların kumpasla işaretlenmesi



Resim 3.16. (a) Kuru tuğlaların tartılması, (b) Kuru tuğlaların kumpasla ölçülmesi

$$\text{Plastiklik suyu (\%)} = \frac{W_y - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

W_y : Numunenin yaş ağırlığı (gr),

W_k : Numunenin kuru ağırlığı (g)'dir.

$$\text{Kuruma küçülmesi (\%)} = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Toplam doğrusal kuruma küçülmesi (\%)} = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

L_p : Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm),

L_d : Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm),

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

3.3.3. Kızdırma kaybı

Tuğla örnekleri pişirildiklerinde bünyelerinde ağırlık kaybı meydana gelmekte ve bu da kızdırma kaybı olarak tanımlanmaktadır. Kızdırma kaybı için tuğla örneklerinin kurutma

sonrası ve pişirme sonrası ağırlıkları tartılmış ve Eş. 3.4 kullanılarak kızdırma kaybı oranları belirlenmiştir.

$$\text{Kızdırma kaybı (\%)} = \left(1 - \left(\frac{W_p}{W_k}\right)\right) \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

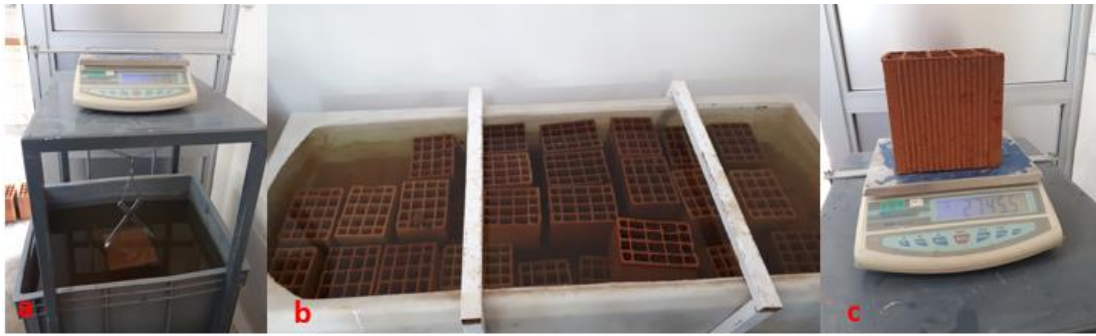
W_p : Numunenin pişmiş ağırlığı (g),

W_k : Numunenin kuru ağırlığı (g)'dir.

3.3.4. Porozite, yoğunluk ve su emme değerlerinin belirlenmesi

Pişmiş tuğla örnekleri su emme, yoğunluk ve porozite özelliklerinin belirlenmesi için su tankına yerleştirilerek 24 saat su içinde bekletilmiştir. 24 saat su içinde bekleyen tuğlalar tanktan alınarak su içindeki ağırlıkları (W_2), doymun yüzey kuru halindeki ağırlıkları (W_3) ve sonrasında etüve yerleştirilen tuğlalar değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulup tartılmıştır (W_1).

TS EN 771-1+A1 [75]' e göre su emme değerleri ve TS EN 772-4 [76]' e göre görünen porozite, görünür yoğunluk ve net birim hacim ağırlık değerleri verilen eşitlikler (Eş. 3.5 – 3.8) ile hesaplanmıştır. Her ürün grubu için 10 adet tuğla kullanılmıştır.



Resim 3.17. (a) Tuğlaların su içinde tartılması, (b) Tuğlaların su tankında bekletilmesi, (c) Kuru tuğlaların tartılması

$$\text{Görünen porozite (\%)} = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2}\right) \times 100 \quad (3.5)$$

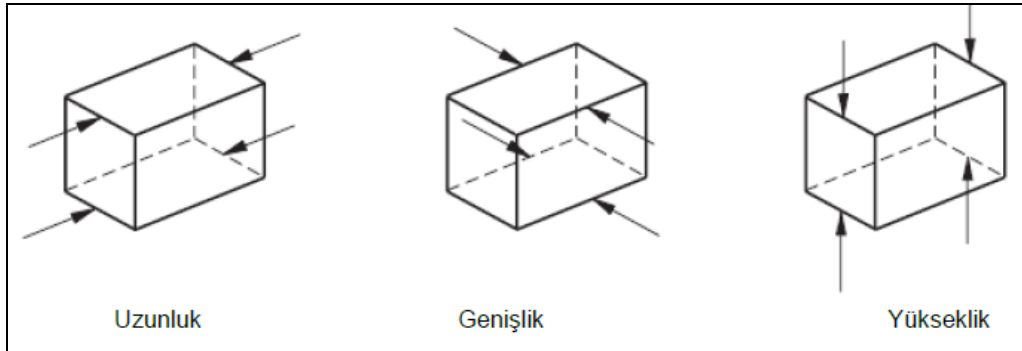
$$\text{Net birim hacim ağırlık (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_1}{W_3 - W_2} \right) \quad (3.6)$$

$$\text{Görünür yoğunluk (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_1}{W_1 - W_2} \right) \quad (3.7)$$

$$\text{Su emme (\%)} = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_3} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

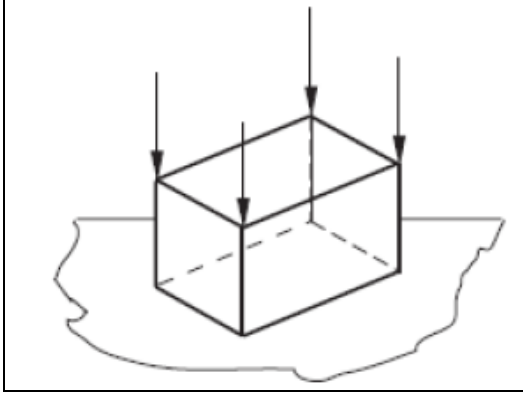
3.3.5. Boyutların tayini

TS EN 772-16 [77] standardına göre yapılan boyutlandırmaların tayininde, her örnek grubundan 10 adet tuğla hazırlanmış uzunlukları, genişlikleri ve yükseklikleri ile döşeme yüzlerinin düzlemsel paralelliği, kumpas ile ölçülmüştür. TS EN 772-3 [78] standardına göre net hacmi ve boşluk yüzdelerinin tayini deneyleri yapılmıştır. Boyutların tayini deneylerinde toplam 70 tuğla örneği kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Tuğla örneklerinin uzunluk, genişlik ve yükseklik ölçme kısımları

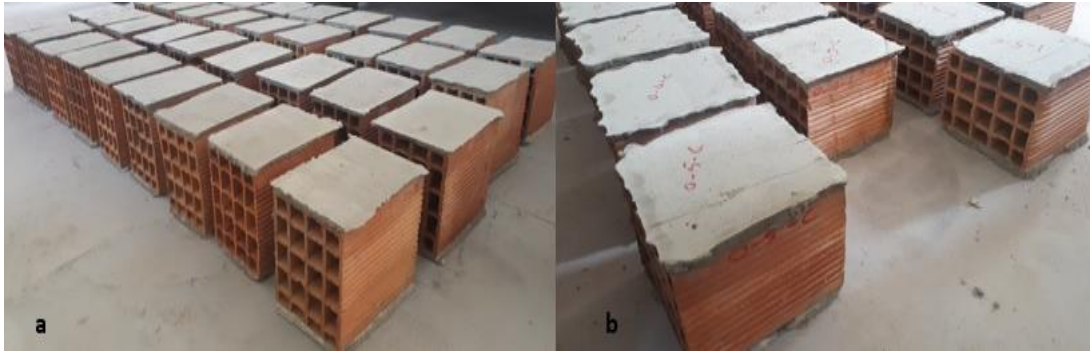
Tuğla örneklerinin düzlemsel paralelliğinin ölçme işlemi yapılmadan önce düz bir zemine oynamayacak şekilde yerleştirildi. Tuğlanın dört köşesinden düz zemin ile tuğlanın üst yüzü arasındaki uzaklık ölçülmüştür (Şekil 3.5). Alınan değerler en yakın 0,2 mm'ye yuvarlatılmıştır.



Şekil 3.5. Döşeme yüzlerinin düzlemsel paralelliğinin ölçülmesi

3.3.6. Basınç mukavemeti deneyi

Basınç mukavemeti deneyi için örnek gruplarından 20' şer tuğla kullanılmış, tuğlaların dar yüzeyi ve geniş yüzeylerine dik şekilde iki çeşit test yapılmış, toplamda 140 tuğla üzerinde basınç mukavemeti deneyi yapılmıştır. TS EN 772-1 [79] standardına uygun olarak başlıklama tuğlaların iki tarafına yapılmıştır (Resim 3.18). Basınç mukavemeti testi bilgisayarlı basınç presinde TS EN 772-1 [79] standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.



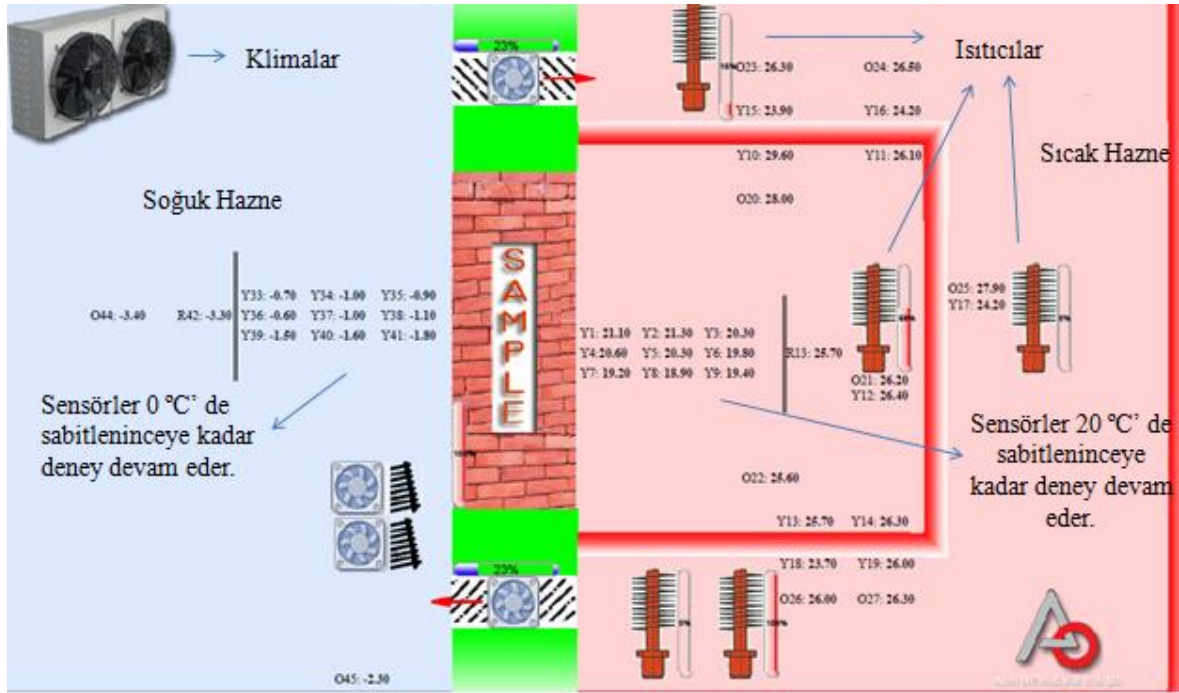
Resim 3.18. (a) Dar yüzey üzerine başlıklama, (b) Geniş yüzey üzerine başlıklama

3.3.7. Donma-çözülme deneyi

Donma çözülme deneyi TS 772-22 [80] standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 3.6). Her örnek grubu için 6 tuğla olmak üzere toplamda 42 tuğla kullanılmıştır. Cihaza yerleştirilen numunelere üst tarafına yerleştirilen demir borudan su püskürtülmekte ve püskürtülen su tuğla yüzeyinden eşit olarak süzülmemektedir (Resim 3.19).

3.3.8. Isıl geçirgenlik deneyi (hot-box metodu)

TS EN ISO 8990 [81] standardına göre mahfazalı sıcak kutu cihazı (Hot-Box cihazı), termal iletkenlik katsayısı değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Mahfazalı sıcak kutu cihazı, test edilmek istenen duvarın iki yüzüne de içinde bulunan sıcaklık ölçerler ile istenilen sıcaklıkları ayarlayabilen, yalıtımlı sıcak ve soğuk iki hazneden oluşmaktadır (Şekil 3.20).



Resim 3.20. Hot-Box ısı geçirgenlik deney düzeni'nin şematik olarak gösterilmesi

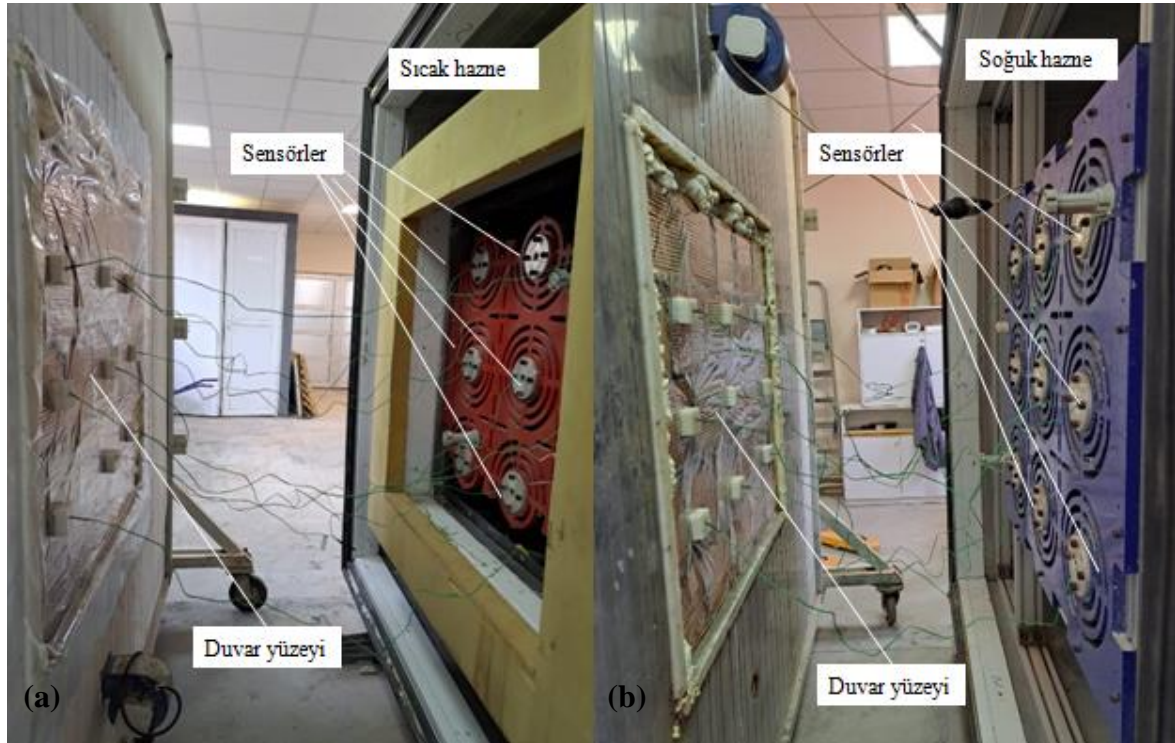
Sıcak ve soğuk hazne arasındaki 100×100 cm ölçülerinde içerisine duvar örülen bölüme kaset adı verilmektedir. Hazne başı 9 adet sıcaklık ölçer (Resim 3.22) bulunmakta ve kasete örülen duvara temas ettirilerek 0,1 °C hassasiyetle ölçüm yapılmaktadır (Resim 3.21). Deneysel Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan TUKLAB' da gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.21. Hot-Box ısıl geçirgenlik deney seti görünümü

Resim 3.21’de deney için hazırlanan duvar ve duvarı haznelerin arasında yerleştirerek sistemin çalışır hali gösterilmektedir.

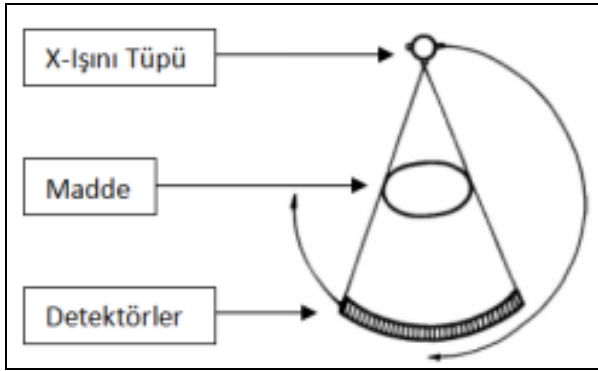
Üretilen tuğlalar kaset üzerine örülerek sıcak hazne 20°C ve soğuk hazne 0°C sıcaklığa ayarlanarak 7 gün boyunca ölçüm yapılarak duvarın termal iletkenlik katsayı değeri belirlenmiştir. Sonuç da, elde ettiğimiz veriler bilgisayarda işlenerek duvarın U değeri W/m².K cinsinden hesaplanmıştır (Resim 3.22).



Resim 3.22. (a) Sıcak hazne ve sensörler, (b) Soğuk hazne ve sensörler

3.3.9. Bilgisayarlı tomografi

Bilgisayarlı tomografi enerjileri farklı X-ışını demetinin görüntülenecek malzemeden geçip azalmış X-ışınları dedektörlere ulaşıp bilgisayar programı ile analiz edilerek sayısal bir ölçeğe çevrilmesine dayalı görüntüleme sistemidir. Bu yöntem Cormak tarafından 1963 yılında düşünülmüş fakat 1967 de G. Hounsfield tarafından uygulamaya konulmuştur [82,83]. Son yıllarda teknolojik gelişmeler ile birlikte bilgisayarlı tomografi iki ayrı yöntem olarak araştırmalarda kullanılmaktadır [84,85]. Her yöntemde 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; 1) X-ışını tüpü, 2) Tarayıcı ünitesi, 3) Bilgisayar görüntüleme bölümü (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Bilgisayarlı tomografinin çalışma sistemi [86].



Resim 3.23. BT ve bilgisayarda görüntüleme ünitesi

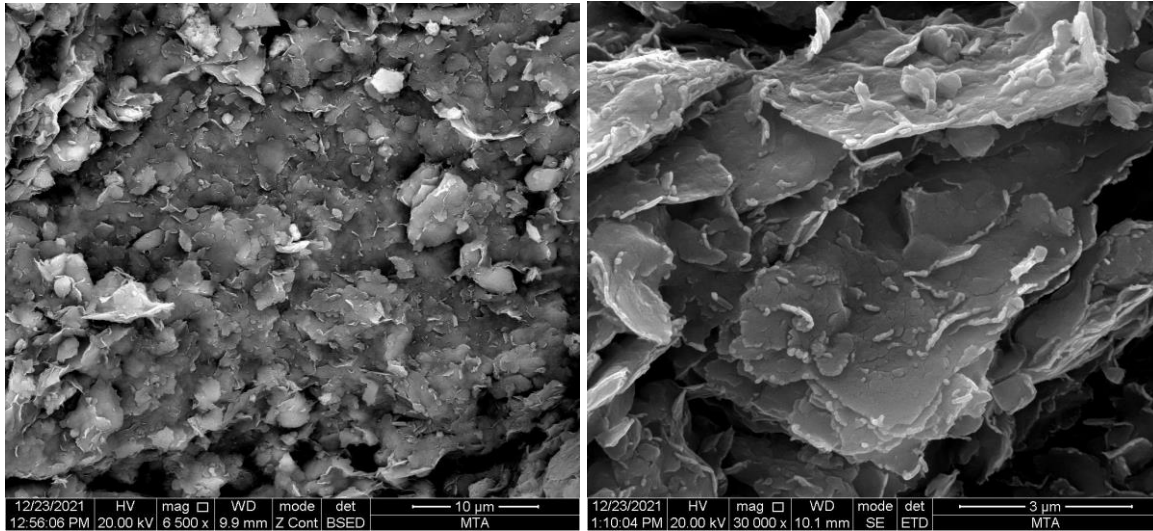
Çalışmada üretilen tuğlalara bilgisayarlı tomografi yapıma amacı alınan görüntülerde tuğla içerisindeki boşlukların detaylı olarak görüntülenmesini sağlamaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Üretilen Tuğlaların Özellikleri

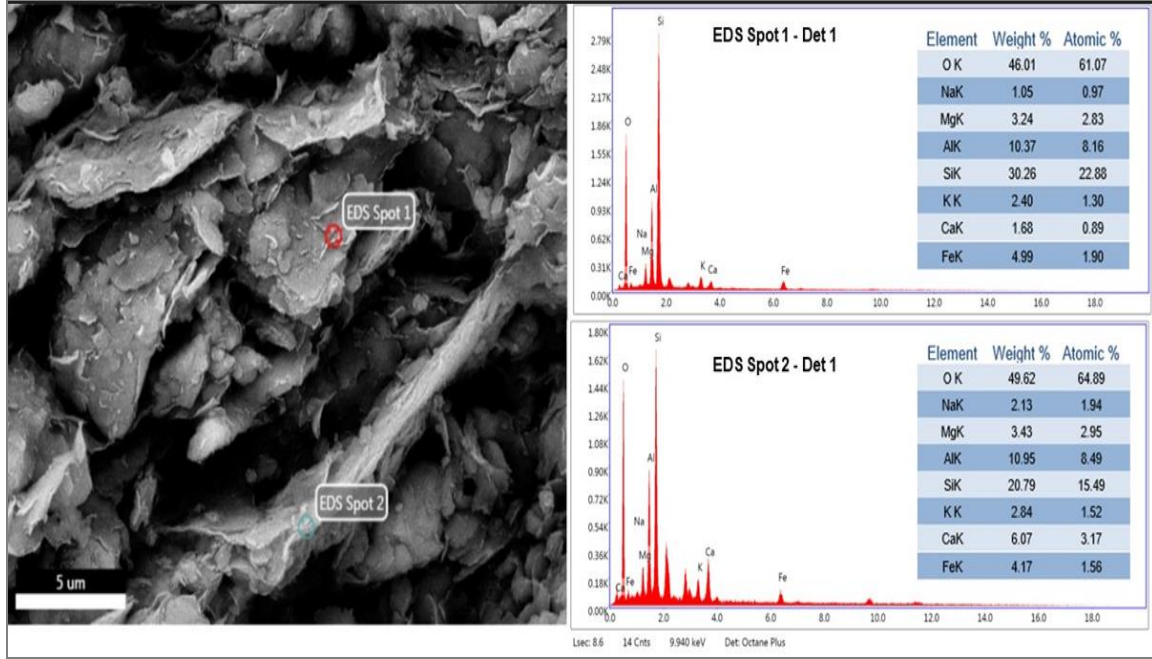
4.1.1. SEM ve EDX analizi

Pişmiş yüzeylerden alınan tuğla parçalarından taramalı elektron mikroskobu ile SEM görüntüleri çekilmiş ve bu yüzeyler üzerindeki noktalardan mikrokimyasal analizler, EDX yapılmıştır. Referans tuğlanın SEM görüntüleri Resim 4.1’ de, Katkılı tuğlanın SEM görüntüleri Resim 4.3’ de gösterilmiştir. Referans tuğlanın EDX analizi Resim 4.2’ de, katkılu tuğlanın EDX analizi Resim 4.4’ de verilmiştir.



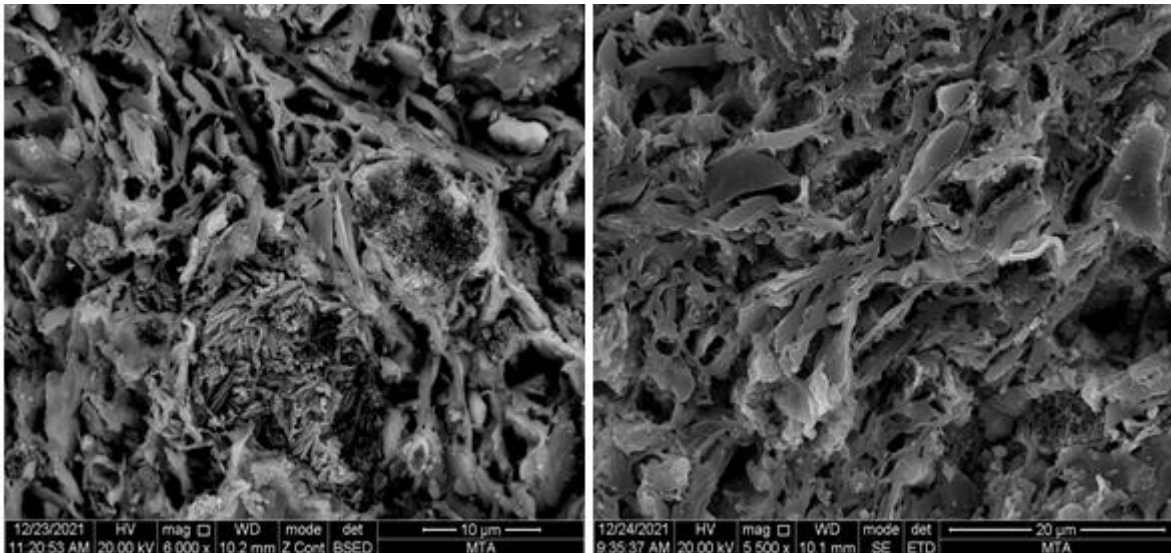
Resim 4.1. Referans tuğlanın SEM görüntüleri

Referans tuğlanın SEM görüntüleri incelendiğinde boşlukların tuğla içerisindeki minerallerin buharlaşmasından dolayı oluştuğu tahmin edilmektedir.



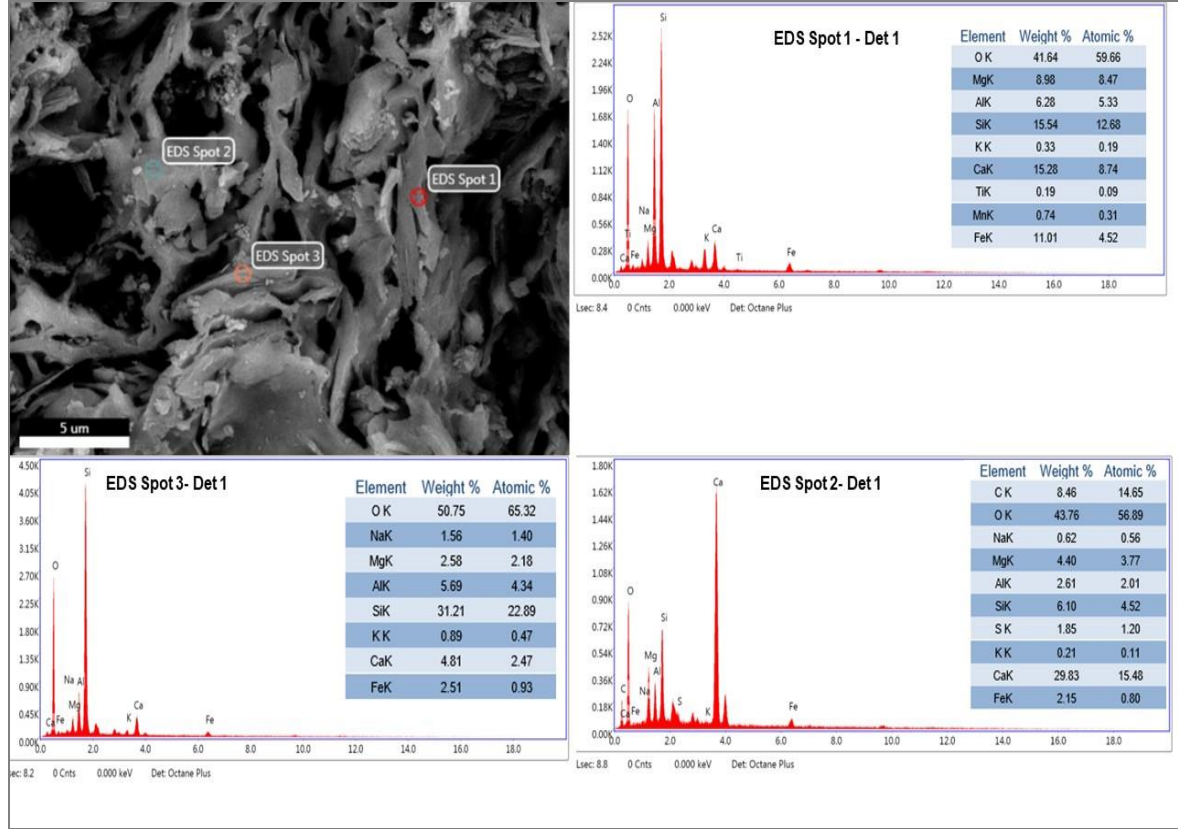
Resim 4.2. Referans tuğlanın EDX analizi

Piştirilen referans tuğlalar üzerinde yapılan EDX analizi ile numuneler içerisinde Ca, Si, Al, Mg, Fe, Na, K, O elementleri bulunduğu tespit edilmiştir. O elementinin atomik yüzdesi diğer elementlere göre daha yüksek düzeyde olup % 64 civarındadır. O'yu sırasıyla Si % 22,83, Al % 8,16, Mg % 2,83, Fe % 1,90, K % 1,30, Ca % 1,89 olarak izlemektedir (Resim 4.2).



Resim 4.3. Katkılı tuğlanın SEM görüntüleri

Çeltik kavuzu katkılı pişmiş tuğla örneklerinin SEM görüntülerine bakıldığında pişirme işlemi sırasında çeltik kavuzunun yanmasından dolayı boşluk oranı artmış ve buna bağlı olarak tuğla örneklerinin su emme oranları da yükselmiştir.



Resim 4.4. Katkılı tuğlanın EDX analizi

Pişirilen çeltik kavuzu katkılı tuğlalar üzerinde yapılan EDX analizi ile numuneler içerisinde 3 nolu noktada Ca, Si, Al, Mg, Fe, Na, K, O, elementleri bulunduğu tespit edilmiştir. O elementinin atomik yüzdesi diğer elementlere göre daha yüksek düzeyde olup % 65.32 civarındadır. O'yu sırasıyla Si % 22,89, Al % 4,34, Ca % 2,47, Mg % 2,18, Na % 1,40, Fe % 0,93, K % 0,47, olarak izlemektedir (Resim 4.4).

4.1.2. Plastiklik suyu

Çeltik kavuzu oranının artması plastiklik için gerekli su miktarını artırmıştır. Çeltik kavuzunun boşluklu yapısı plastiklik için daha fazla suya ihtiyaç duymasına ve bu nedenle referans tuğla örneğine göre katkılı tuğlaların plastiklik suyunun artmasına neden olmuştur.

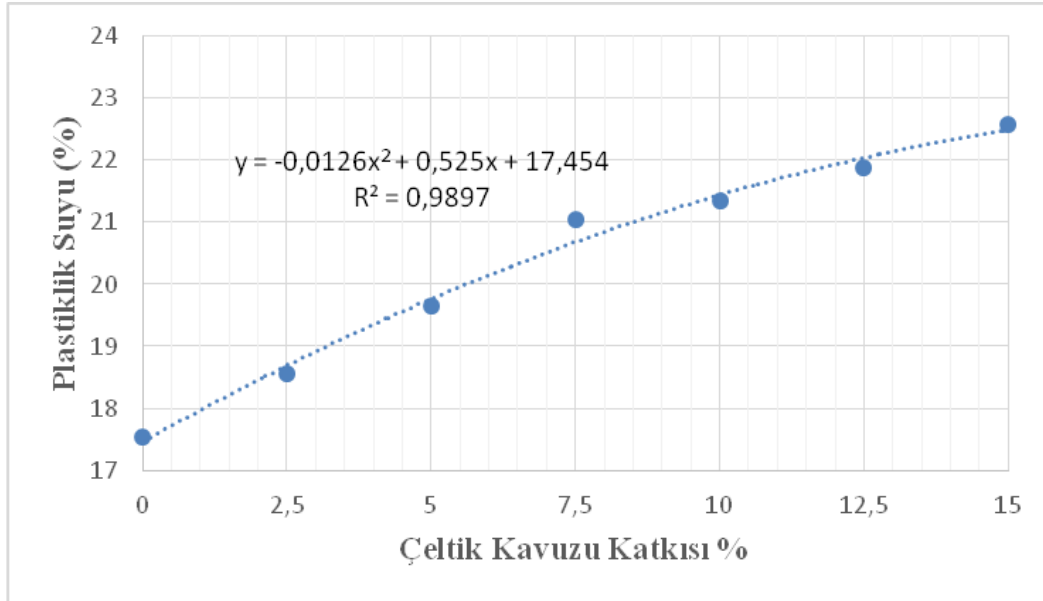
Çeltik kavuzunun yapısının boşluklu olması karışımların plastikliğini ayarlamak için daha fazla su ihtiyacı duymasına neden olmuştur. Organik maddeler kil malzemenin plastikliğini artırmaktadır [10,87].

Çizelge 4.1' de tuğla örneklerine ait plastiklik suyu değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tuğla örneklerine ait plastiklik suyu değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Plastiklik Suyu (%)	17,53	18,55	19,64	21,04	21,35	21,88	22,57

Plastiklik suyu değerleri referans tuğla örneğine göre %2,5 katkıli tuğlada %5,82, %5 katkıli tuğlada %12,04, %7,5 katkıli tuğlada %20,02, %10 katkıli tuğlada %21,79, %12,5 katkıli tuğlada %24,81, %15 katkıli tuğlada %28,75 artmıştır.



Şekil 4.1. Tuğla örneklerinin plastiklik suyu-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

4.1.3. Kuru ve toplam doğrusal küçülme

Tuğla örneklerine ait kuruma küçülme değerleri Çizelge 4.2'de; tuğla örneklerine ait toplam doğrusal kuruma küçülme değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

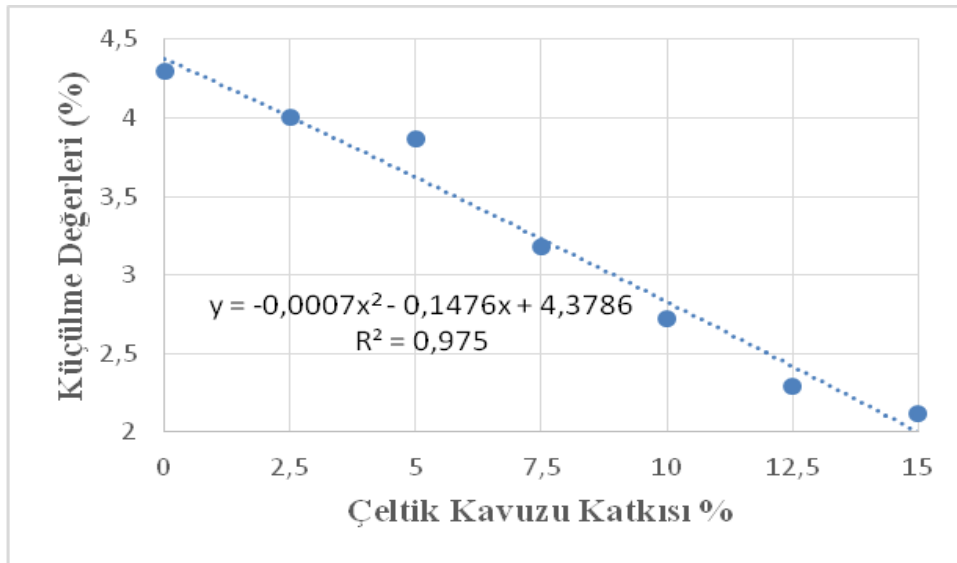
Sıcaklıkla birlikte yüzeylerde su çıkışları daha fazla olur ve malzemenin yüzeyinde daha fazla küçülme meydana gelir. Malzemede gerilme oluşur ve yapısında çatlaklar oluşabilir.

ÇK kullanımıyla lif özelliği göstermesinden dolayı malzeme küçülürken çatlak oluşumunu engeller [10,70].

Tuğla örneklerinin kuruma küçülme değerleri çeltik kavuzu katkısı oranları arttıkça kuruma küçülme değerleri azalmaktadır. Katkı olarak kullandığımız çeltik kavuzu tanelerinin boyutu kil tane boyutundan büyük ve hafif olduğundan katkılı tuğla örneklerinde kuruma küçülme oranlarında katkı oranı arttıkça azalmalar görülmektedir. Kuruma küçülme değerleri referans tuğlada %4.30, %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %2.12 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Tuğla örneklerine ait kuruma küçülme değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Kuruma Küçülmesi (%)	4,30	4,00	3,87	3,18	2,72	2,29	2,12

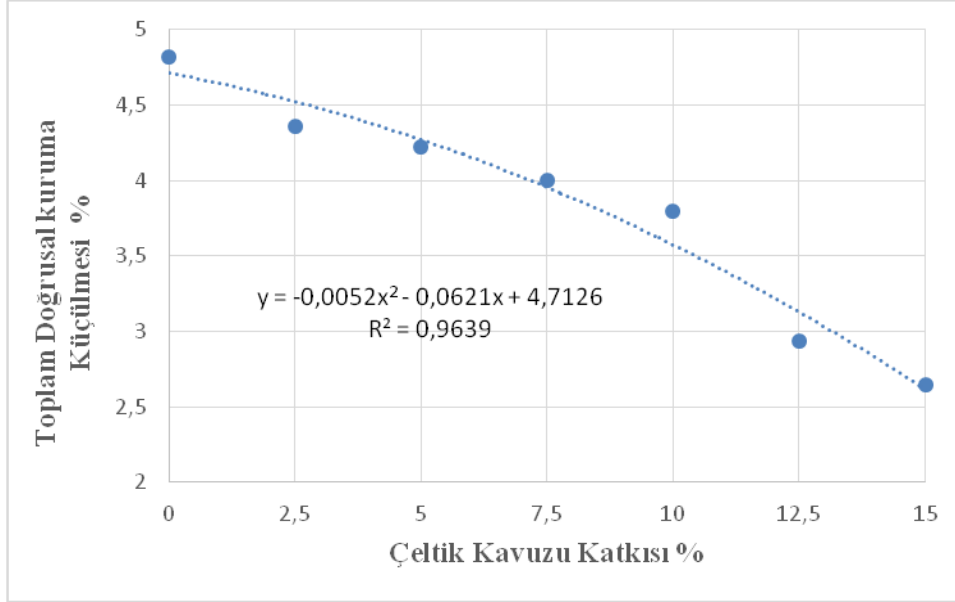


Şekil 4.2. Tuğla örneklerinin kuruma küçülme değerleri -çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

İşlenebilirlik için eklenen su, kurutma sırasında buharlaşarak tuğla bünyesinden uzaklaşmaktadır. Yüze yakın kısımlarda suyun buharlaşması sonucu oluşan boşluklara kil plastiklik özelliğinden dolayı boşlukları doldurmakta ve boyutsal olarak küçülme meydana gelmektedir. Çeltik kavuzu katkısı oranı arttıkça kil miktarı azalmış ve kil miktarının azalması toplam doğrusal küçülme değerlerinde azalma meydana getirmiştir.

Çizelge 4.3. Tuğla örneklerine ait toplam doğrusal kuruma küçülme değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Toplam Doğrusal Kuruma Küçülmesi (%)	4,82	4,36	4,22	4,00	3,80	2,94	2,65



Şekil 4.3. Tuğla örneklerinin toplam doğrusal kuruma küçülme değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

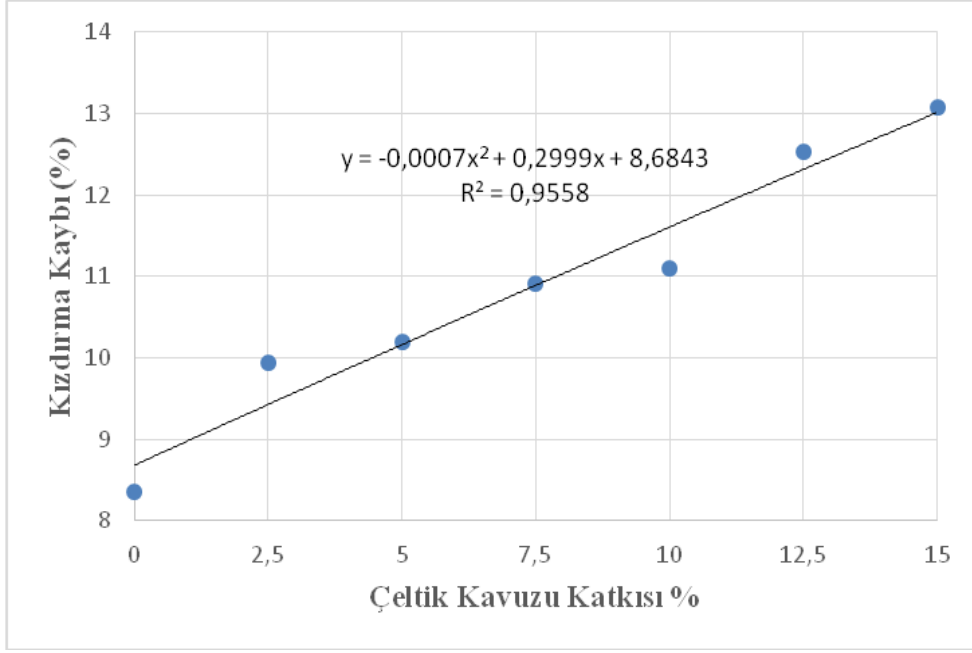
4.1.4. Kızdırma kaybı

Tuğla örneklerine ait kızdırma kaybı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Organik tarım atığı olan çeltik kavuzu katkı oranının artması ile kızdırma kaybı oranları da artmaktadır. Bunun sebebi pişirme işleminde tuğla örnekleri içerisinde bulunan organik maddelerin yanmasıdır.

Kızdırma kaybı oranları pişirme sıcaklıklarına göre farklılıklar göstermektedir. Tüm örneklerde sıcaklık artışıyla birlikte bünye içerisindeki organik maddeler yanmış bu sebepten dolayı ağırlık kayıpları oluşmuştur. Kil mineralleri, organik maddeler ve hidroksitlerin kızdırma kaybıyla ilişkili olduğu belirtilmektedir [10,88].

Çizelge 4.4. Tuğla örneklerine ait kızdırma kaybı oranları

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Kızdırma Kaybı (%)	8,36	9,94	10,2	10,91	11,1	12,53	13,07



Şekil 4.4. Tuğla örneklerinin kızdırma kaybı değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

Elde edilen verilere göre en düşük kızdırma kaybı oranı referans tuğla örneklerinde görülmüştür. Katkı oranı arttıkça pişirme aşamasında çeltik kavuzları yanarak bünyede boşluk oluşturmuş ve kızdırma kaybı oranları artmıştır.

Kızdırma kaybı değerleri referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %18,90, %5 katkılı tuğlada %22,01, %7,5 katkılı tuğlada %30,5, %10 katkılı tuğlada %32,78, %12,5 katkılı tuğlada %49,88, %15 katkılı tuğlada %56,34 oranında artmıştır.

4.1.5. Görünen porozite

Çeltik kavuzu katkılı tuğla örneklerinde katkı oranı arttıkça görünen porozite değerleride artmıştır (Çizelge 4.5).

Demir (2006), çalışmasında atık çayların tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmış ve atık çayın organik yapısından dolayı çeltik kavuzunda olduğu gibi pişirme işlemi sırasında yanarak tuğla bünyesinde gözenek oluşturmasını sağlamıştır. Bu da porozite değerlerini artırmıştır.

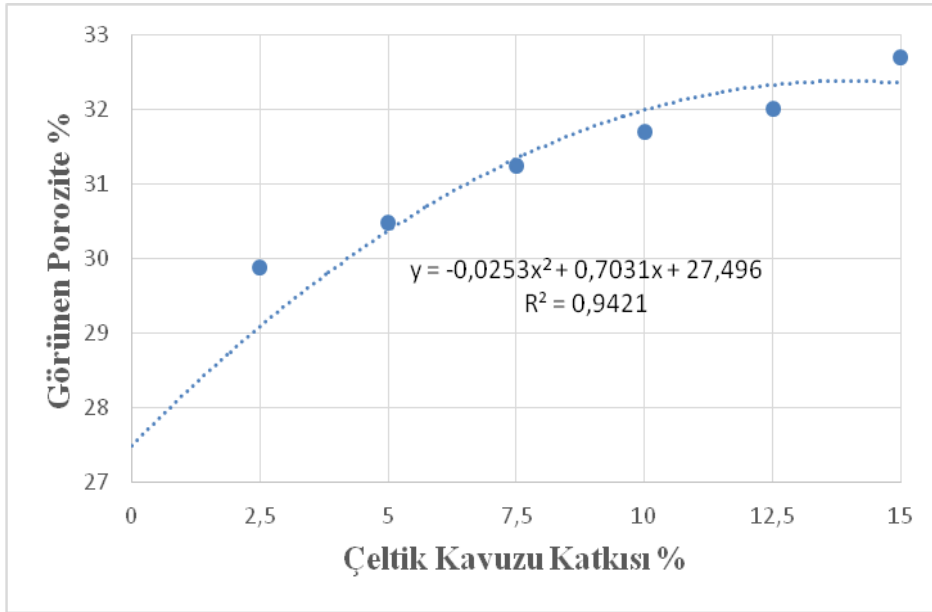
Yapı malzemelerinin birçoğu tuğla gibi gözenekli yapıdadır. Nem bu malzemelerin yapısında tamamen doygun veya kuru halde farklı düzeylerde bulunabilmektedir [88,15].

Yapı malzemelerinin porozitelerindeki değişimler mekanik dayanıklılıklarını çok büyük oranda etkilemektedir [10,89].

Çizelge 4.5. Tuğla örneklerine ait görünen porozite değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Görünen Porozite (%)	26,96	29,89	30,49	31,26	31,70	32,01	32,71

Görünen porozite değerleri referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılu tuğlada %10,87, %5 katkılu tuğlada %13,09, %7,5 katkılu tuğlada %15,95, %10 katkılu tuğlada %17,58, %12,5 katkılu tuğlada %18,73, %15 katkılu tuğlada %21,33 oranında artmıştır.



Şekil 4.5. Tuğla örneklerinin görünen porozite değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

4.1.6. Su emme

Tuğla örneklerinin içerisindeki gözenekler, gözenek boyutları su emme miktarını etkilemektedir. Tuğla örneklerine ait su emme değerleri Çizelge 4.6'te verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde çeltik kavuzu katkı oranının artması ile tuğla örneklerinin su emme oranları artmıştır. Katkılı tuğlaların pişirilme işleminde içerisindeki çeltik kavuzlarının yanması ile boşluklar oluşmuş ve bu sebepten dolayı katkı oranı arttıkça su emme değerleri artmıştır.

Çizelge 4.6. Tuğla örneklerine ait su emme oranları

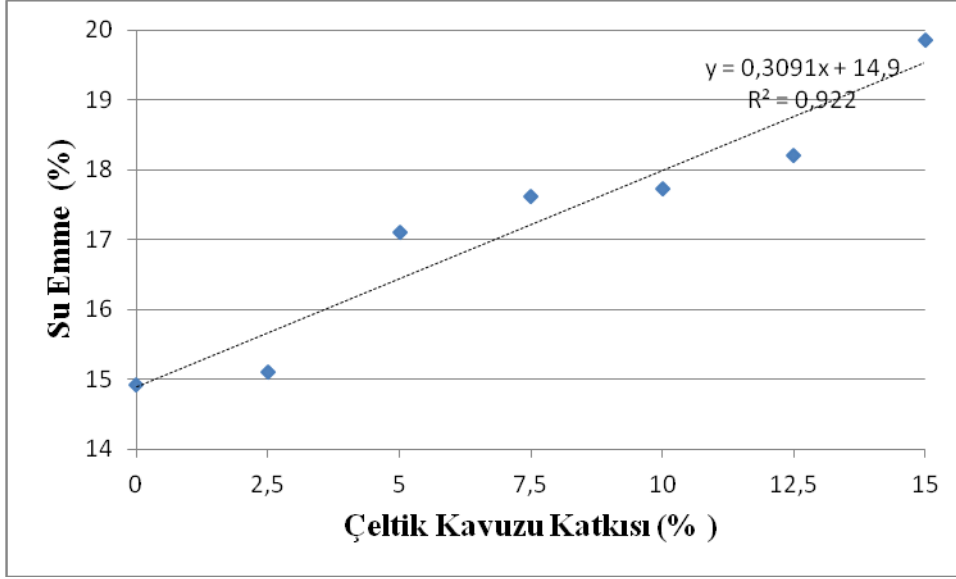
ÇK Katkılı Oranı (%)	Maksimum	Minumum	Ortalama	Standart Sapma
0	18,0	12,5	14,92	2,01
2,5	19,7	11,0	15,1	3,18
5	19,5	15,4	17,11	1,22
7,5	22,0	12,5	17,61	3,06
10	22,5	16,4	17,73	3,36
12,5	20,5	15,1	18,2	1,62
15	22,6	13,4	19,86	2,89

Tuğlalarda dış etkilere karşı dayanıklılığı etkileyen en önemli faktörün porozite değeri kadar su emme oranıdır. Tuğlanın yapısında ne kadar az su olursa dış etkilere ve doğaya karşı dayanıklılığı artmaktadır. Bu nedenle tuğla yapısının boşluksuz olması belirtilmektedir [10,90,91].

Agresif ortamlarda direnç göstermede su emmesi yüksek ve gözenekli malzemeler zayıf kalacaktır. Yapı malzemelerinin dış etkilere karşı dayanıklı olması için su emme değerlerinin düşük olması istenmektedir [10,92].

Görhan (2011), tarafından yapılan araştırmada öğütülmüş çeltik kavuzu tuğla üretiminde kullanılmış ve tuğla bünyesinde gözenekler oluşturulmuştur. Katkı oranı arttıkça gözenek artacağından su emme oranı da artmıştır [10].

Katkılı tuğla örneklerine ait su emme oranları referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %1,21, %5 katkılı tuğlada %14,68, %7,5 katkılı tuğlada %18,03, %10 katkılı tuğlada %18,83, %12,5 katkılı tuğlada %21,98, %15 katkılı tuğlada %33,11 oranında artmıştır.



Şekil 4.6. Tuğla örneklerinin su emme oranı-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

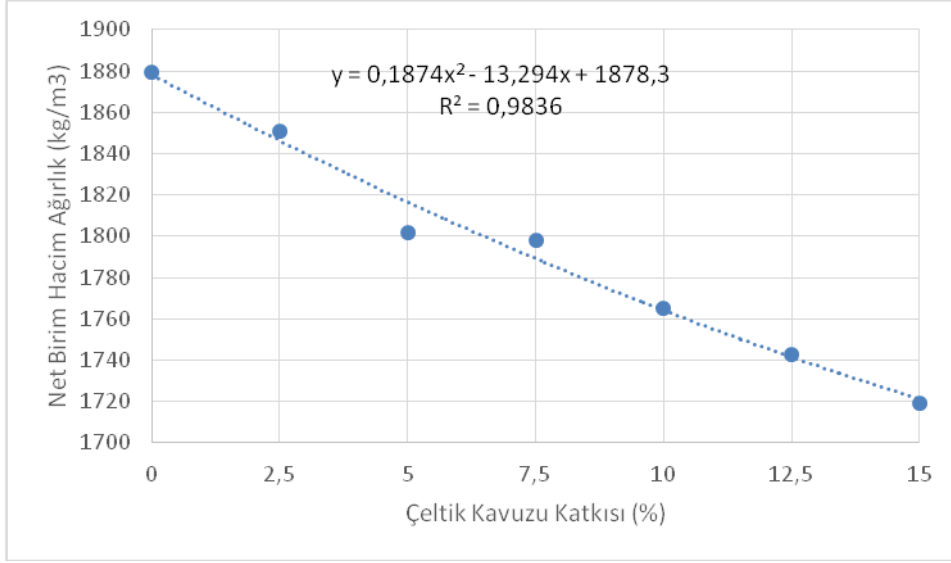
4.1.7. Net birim hacim ağırlık

Tuğla örneklerine ait net birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge5.8 incelendiğinde çeltik kavuzu ikame oranının artması ile net birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.7. Tuğla örneklerine ait net birim hacim ağırlık değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
N.B.H.A (kg/m ³)	1879,3	1850,8	1801,9	1798,1	1765,0	1742,8	1719,0

Katkılı tuğla örnekleri içerisinde bulunan çeltik kavuzlarının pişirme aşamasında yanması tuğla bünyesinde ağırlık kayıplarına neden olmuş ve katkı oranı arttıkça net birim ağırlıklar azalmıştır.



Şekil 4.7. Tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

Net birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %1,52, %5 katkılı tuğlada %4,12, %7,5 katkılı tuğlada %4,32, %10 katkılı tuğlada %6,08, %12,5 katkılı tuğlada %7,26, %15 katkılı tuğlada %8,53 oranında azalma görülmüştür.

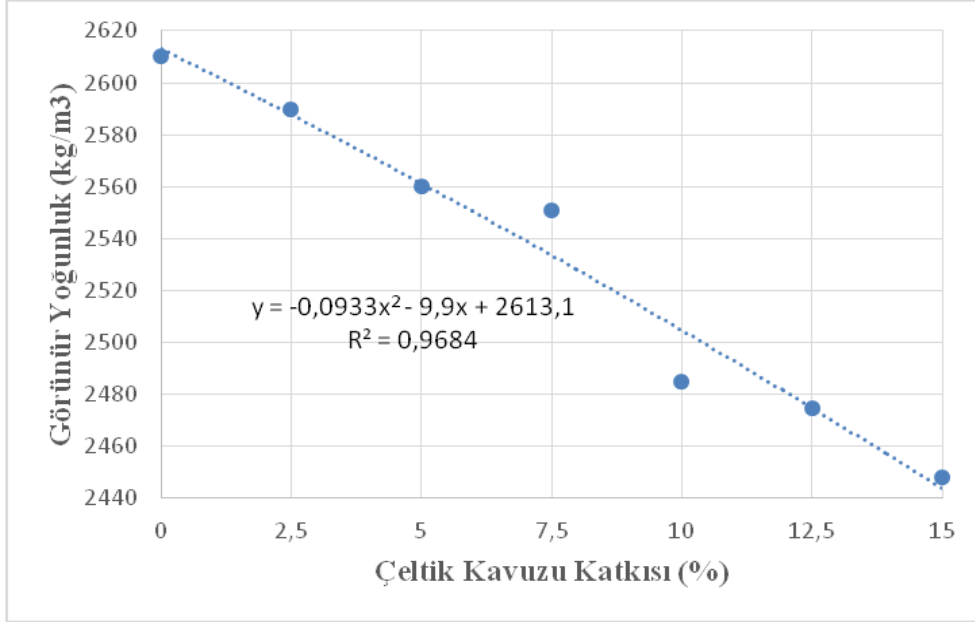
4.1.8. Görünür yoğunluk

Tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri Çizelge 4.8'te verilmiştir. Çizelge 4.8 incelendiğinde çeltik kavuzu ikame oranının artması ile görünür yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.8. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Görünür yoğunluk	2610	2590	2560	2551	2485	2475	2448

Görünür yoğunluk değerleri incelendiğinde referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %0,77, %5 katkılı tuğlada %1,92, %7,5 katkılı tuğlada %2,26, %10 katkılı tuğlada %4,79, %12,5 katkılı tuğlada %5,17, %15 katkılı tuğlada %6,21 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 4.8. Tuğla örneklerine ait görünür yoğunluk değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

Pişirme işlemi sırasında çeltik kavuzunun yanması sonucu bünyede oluşan boşluklar katkı oranı arttıkça görünür yoğunluk değerlerini düşürmektedir. Ayrıca görünür yoğunluktaki düşüş ısı iletim katsayısını da düşürecektir. Bunun sebebi pişirme işlemi sırasında çeltik kavuzunun tuğla hammaddesi içerisinde yanmasından dolayı boşluk oluşmasından kaynaklanmaktadır.

4.1.9. Tuğlanın Boyut Analizi

Çeltik kavuzu katkılı tuğla örneklerinin uzunluk, genişlik, yükseklik ölçü sonuçları Çizelge 4.9' de verilmiştir.

Çeltik kavuzu katkısı oranı arttıkça kil miktarı azalmış ve kil miktarının azalması toplam doğrusal küçülme değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Katkı oranı arttıkça boyutlardaki küçülme azalmıştır. TS EN 771-1' in toleranslar kısmında 135 mm boyutu için tolerans 130-138 mm arasında, tuğlanın 190 mm boyutundaki kenarı için tolerans 181-193 mm arasında verilmektedir. Üretilen çeltik kavuzu katkılı tuğlalar TS EN 771-1 standardında verilen boyut ve toleranslara bakıldığında standarda uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Tuğla örneklerinin uzunluk, genişlik, yükseklik ölçüleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Uzunluk (mm)	185,0	185,0	185,5	185,5	186,5	186,5	187,0
Genişlik (mm)	130,0	130,5	130,5	131,5	131,5	131,5	132,0
Yükseklik (mm)	181,0	181,5	181,5	181,5	182,5	182,5	183,0

Çeltik kavuzu katkıli tuğla örneklerinin düzlemsel paralellikten sapma ölçüleri sonuçları Çizelge 4.10' da verilmiştir. Düzlemsel paralellikten sapma ortalamalarına bakıldığında ölçümlerdeki farkların kalıptan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.10. Tuğla örneklerinin düzlemsel paralellikten sapma ölçüleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Fark (mm)	2,8	4,2	6,2	3,4	5	5,4	4,2

Çeltik kavuzu katkıli tuğla örneklerinin köşegen ve düzlemden sapma ölçüleri Çizelge 4.11' de verilmiştir. Köşegen ortalama ölçülerine bakıldığında referans numunenin köşegen ortalaması 217.0 mm, %15 çeltik kavuzu bulunan tuğla örneklerinde 220.0 mm ölçülmüştür. Katkı oranı arttıkça numunelerin küçülme oranları da azalmıştır.

Düzlemden sapma ölçülerine bakıldığında referans numunenin düzlemden saptması 1.2 mm, %15 çeltik kavuzu bulunan tuğla örneklerinde ise düzlemden saptmasının 0.7 mm olduğu görülmektedir. Düzlemden sapma ölçülerinin artış ve azalışında, tuğlaların kesimi sırasında telin tuğlayı keserken eğim vermesi ve işçilerin tuğlaları yaş iken banttan tezgahlara yerleştirmesi esnasında işçilerin parmaklarının tuğla deliklerini yamultmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Çizelge 4.11. Tuğla örneklerinin köşegen ve düzlemden sapma ölçüleri

ÇK Katkılı Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Köşegen ort. (mm)	217,0	218,0	218,0	219,0	219,0	219,0	220,0
Sapma (mm)	1,2	0,2	1,2	0,7	1,3	1,3	0,7


4.1.10. Basınç mukavemeti

Yapı malzemelerinin kalitelerini belirlemede en önemli kriterin basınç dayanımı olduğu bilinmektedir. Çeltik kavuzu katkılı tuğlaların basınç dayanımı ve standart sapma değerleri dar yüzey üzerine yapılan basınç deneyi değerleri Çizelge 4.12’ de; geniş yüzey üzerine yapılan basınç deneyi değerleri Çizelge 4.13’ de verilmiştir.

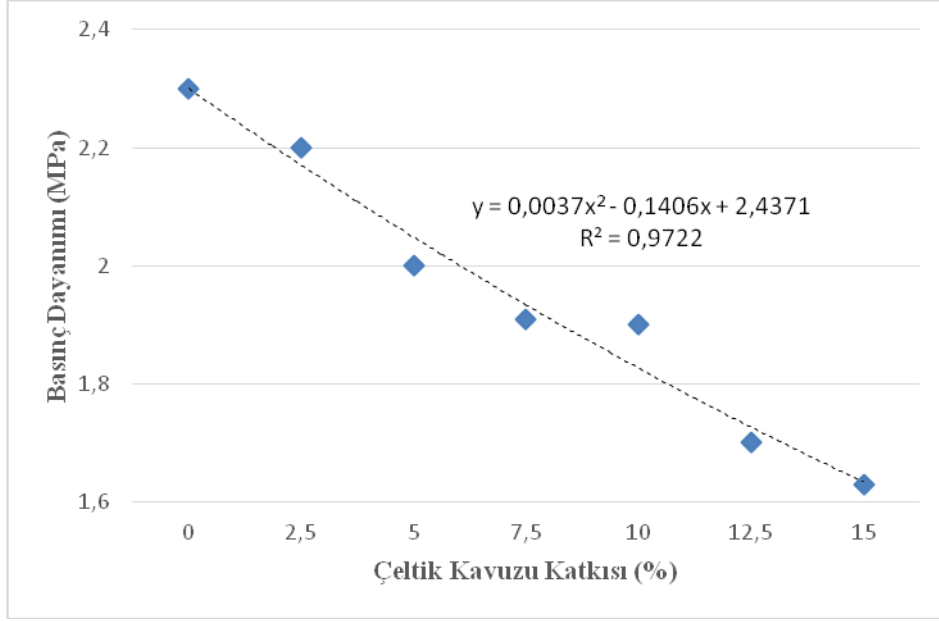
Organik bir madde olan talaş pişirme işlemi sırasında yanar ve malzeme bünyesinde büyük boşluklar meydana getirir. Bu durumda tuğla örneklerinin yoğunluğu azalır ve yalıtkanlık özelliği artar. Ayrıca tuğla içerisinde yanan organik maddeler ısı açığa çıkararak enerji tasarrufu sağlar. Talaş gibi organik maddeler malzeme yapısında düzensiz büyük boşluklar oluşturur. Bu sebepten dolayı basınç dayanımında düşüslere neden olur [93].

Tuğla içerisinde çeltik kavuzu oranı artışıyla birlikte gözenekler artmış, görünür yoğunlukları düşmüş ve doğru orantılı olarak basınç dayanımlarında da belirgin bir şekilde düşüş görülmüştür.

Çizelge 4.12. Tuğlaların dar yüzey üzerine (13.5) yapılan basınç mukavemeti (MPa)

ÇK Katkılı Oranı (%)	Maksimum	Minumum	Ortalama	Standart Sapma	
0	2,8	1,9	2,3	0,25	
2,5	2,8	1,6	2,2	0,35	
5	2,2	1,6	2,0	0,18	
7,5	2,0	1,5	1,91	0,17	
10	2,2	1,4	1,8	0,31	
12,5	1,8	1,3	1,7	0,26	
15	1,8	1,5	1,63	0,10	


Çizelge 4.12 incelendiğinde basınç dayanımlarında referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %4,35, %5 katkılı tuğlada %13,04, %7,5 katkılı tuğlada %16,96, %10 katkılı tuğlada %21,73, %12,5 katkılı tuğlada %26,09, %15 katkılı tuğlada %29,13 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 4.9. Tuğlaların dar yüzey üzerine (13.5) yapılan basınç mukavemeti-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

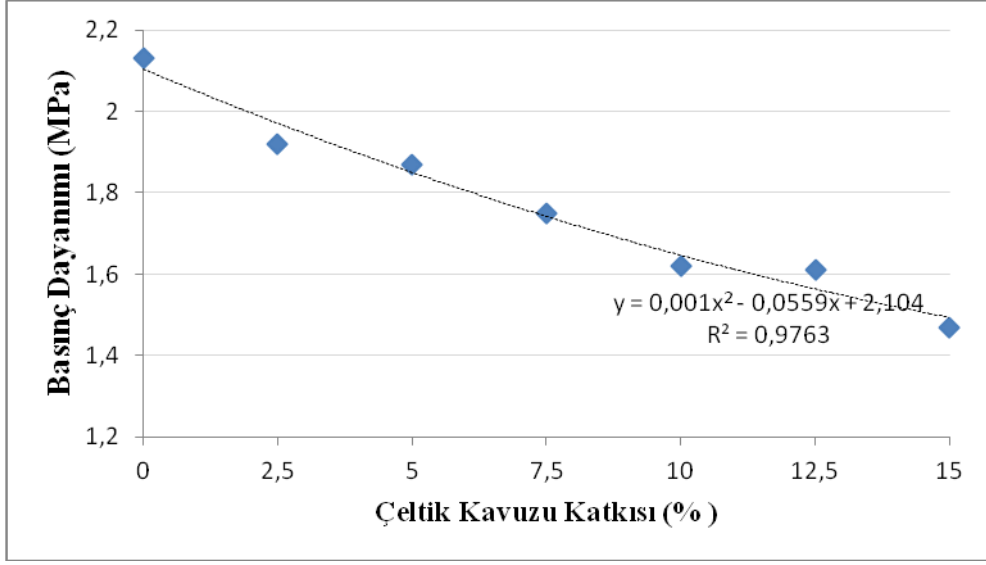
Çizelge 4.13. Tuğlaların geniş yüzey üzerine (19.5) yapılan basınç mukavemeti (MPa)

ÇK Katkılı Oranı (%)	Maksimum	Minumum	Ortalama	Standart Sapma
0	2,5	1,8	2,13	0,28
2,5	2,4	1,3	1,92	0,37
5	2,1	1,8	1,87	0,10
7,5	2,0	1,5	1,75	0,16
10	2,2	1,3	1,62	0,33
12,5	1,9	1,5	1,51	0,24
15	1,8	1,3	1,47	0,17



Geniş yüzey üzerine yapılan basınç dayanımı deneyi dış duvarlara uygulama yapılmasından dolayı düşünülmüştür.

Çizelge 4.13 incelendiğinde geniş yüzey üzerinde yapılan basınç dayanımlarında referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %9,86, %5 katkılı tuğlada %12,21, %7,5 katkılı tuğlada %17,84, %10 katkılı tuğlada %23,94, %12,5 katkılı tuğlada %29,10, %15 katkılı tuğlada %30,99 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 4.10. Tuğlaların geniş yüzey üzerine (19,5) yapılan basınç mukavemeti-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

4.1.11. Tuğla duvarın donma-çözülme direnci

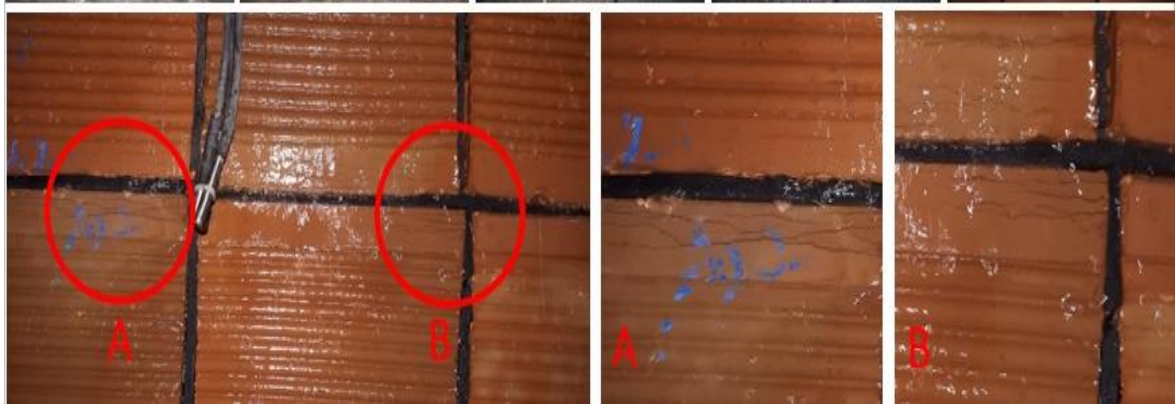
Çeltik kavuzu katkılı tuğla örneklerinde donma çözülme etkisini görmek amacıyla 10 çevrim yapılmıştır. Bu deneyde referans numune ile katkılı tuğlaları görüntü olarak çatlak oluşumları ve yüzey dökülmelerini görerek karşılaştırılmıştır.

Donma-çözülme dayanıklılığını artırmanın yolu gözenek miktarını ve çapını, plastiklik suyunu azaltarak tuğla bünyesinde doluluğu artırmaktır [94].

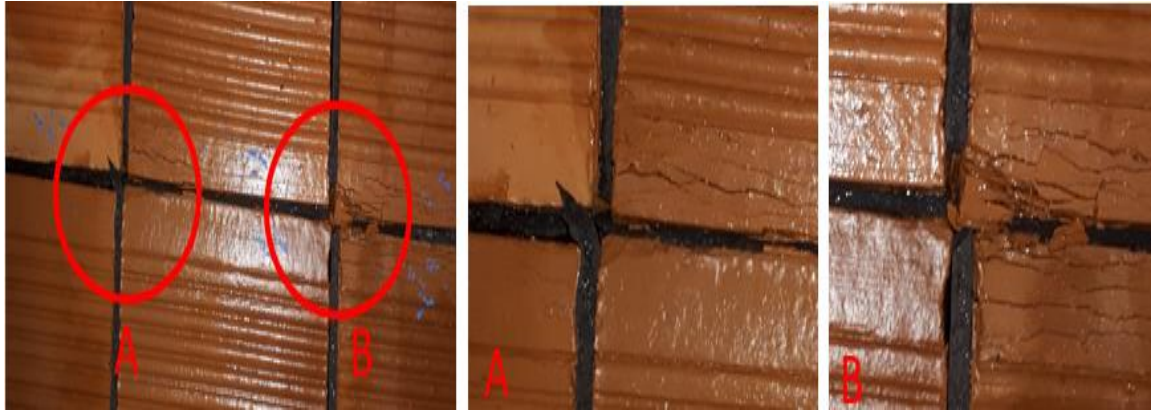
Resim 4.5'te görüldüğü gibi tuğla örneklerinin her donma-çözülme çevrimi sonrasında fotoğrafları çekilmiş ve incelenmiştir. 10 çevrim sonunda oluşan çatlaklar üzerinde tuğlalar karşılaştırılmıştır.



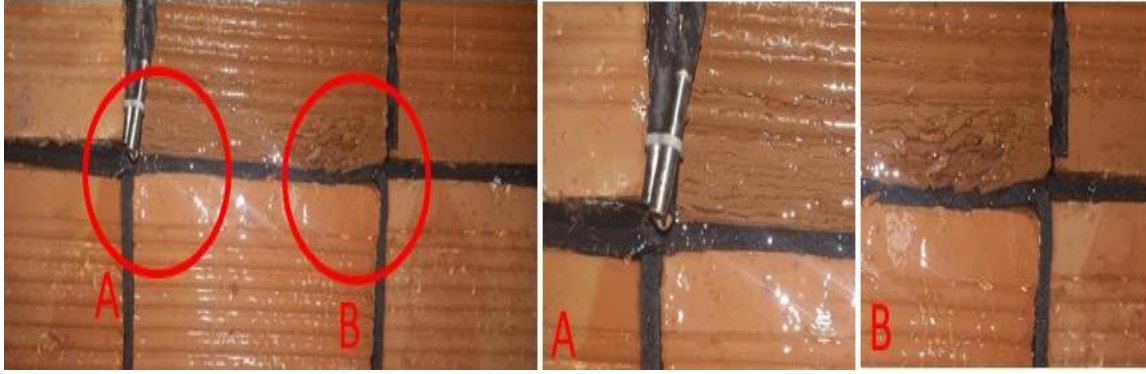
Resim 4.5. %0 ve %2,5 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri



Resim 4.6. %5 ve %7,5 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri



Resim 4.7. %10 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri



Resim 4.8. %12,5 ve %15 ÇK katkıli tuğla örneklerinin donma çözülme çevrimleri

Donma çözülme deney çevrimlerinde tüm çeltik kavuzu katkıli tuğla örneklerinde 5. çevrimlerde derz bölgelerinde çatlak oluşumları görülmeye başlamış ve 10. çevrimde çatlak oluşumları belirgin hale gelmiştir. Katkı oranının artması ile çatlaklarda önemli derecede fark görülmemiştir.

4.1.12. Tuğla duvarın ısı geçirgenliği

Çeltik kavuzu katkıli tuğla örneklerinin ısı iletkenlik deneyi sonuçları Çizelge 4.14' de verilmiştir. Boşluklu malzemenin üretiminin yalıtım özelliklerini artırdığı bilinmektedir. Üretilen çeltik kavuzu katkıli tuğla örneklerinin pişirilme sırasında bünyesindeki çeltik kavuzlarının yanması sonucu oluşan boşluklar yalıtım özelliklerini artırmıştır. Malzemenin boşluklu olması yoğunluğunun da düşük olması anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.14. Tuğla örneklerinin λ değerleri

ÇK Katkıli Oranı (%)	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
λ değerleri (W/m.K)	0,376	0,351	0,336	0,293	0,284	0,279	0,238

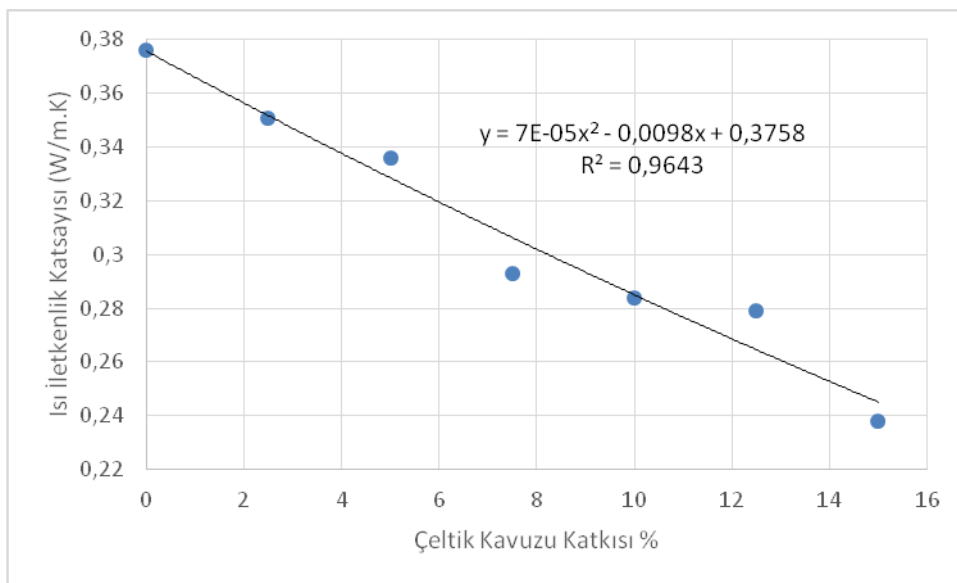
Deney sonuçları incelendiğinde çeltik kavuzu ikame oranının artmasıyla tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları görünür bir düşüş göstermiştir. Referans numunenin λ değeri 0,376 W/m.K ölçülürken, %15 çeltik kavuzu katkıli tuğlanın λ değeri 0,238 W/m.K ölçülmüştür.

Isı iletim katsayısında önemli değişken kuru haldeki özgül ağırlığıdır. Bunun nedeni, malzemenin hafif olanının, ısı yalıtımının en iyi olmasıdır [10,95]. Üretilen tuğlalarda gözenek oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmaktadır. Tuğla bünyesindeki gözenekler

artırıldığında yoğunluğunda azalması beklenmektedir. Tuğlalarda yoğunluk ve porozitenin birbirleri ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [96,15]. Bu nedenle çeltik kavuzu katkısı ile tuğla bünyesinde gözenekler artmış ve ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Bununla birlikte gözenekler arttığından yoğunlukda azalmıştır. Tez çalışmasının literatüre uygunluğu görülmektedir.

Kıvrak (2006), tarafından yapılan araştırmada, çimento yerine %0 dan %25' e kadar uçucukül ikame edilerek pomza agregasıyla karıştırılmış ve uçucu kül katkılı bims blok üretilmiştir. Üretilen bims blokların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelenmiştir. Isı iletkenlik katsayısı deneyi sonucunda referans numunenin λ değeri 0,380 W/m.K, , %25 oranında uçucu kül ikame edilen numunenin λ değeri 0,2389 W/mK bulunmuştur [97].

Çeltik kavuzlu katkılı tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları ile bims blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları karşılaştırıldığında, en düşük değer %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlanın λ değeri 0,238 W/m,K ölçülürken, %25 oranında uçucu kül ikame edilen numunenin λ değeri 0,2389 W/mK ölçülmüştür, Bims blok örneklerinin referans numunesinin λ değeri 0,3025 W/mK ölçülmüş ve %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlanın λ değeri ile karşılaştırıldığında %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlanın %36 daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bim bloklara göre çeltik kavuzu katkılı tuğlaların daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

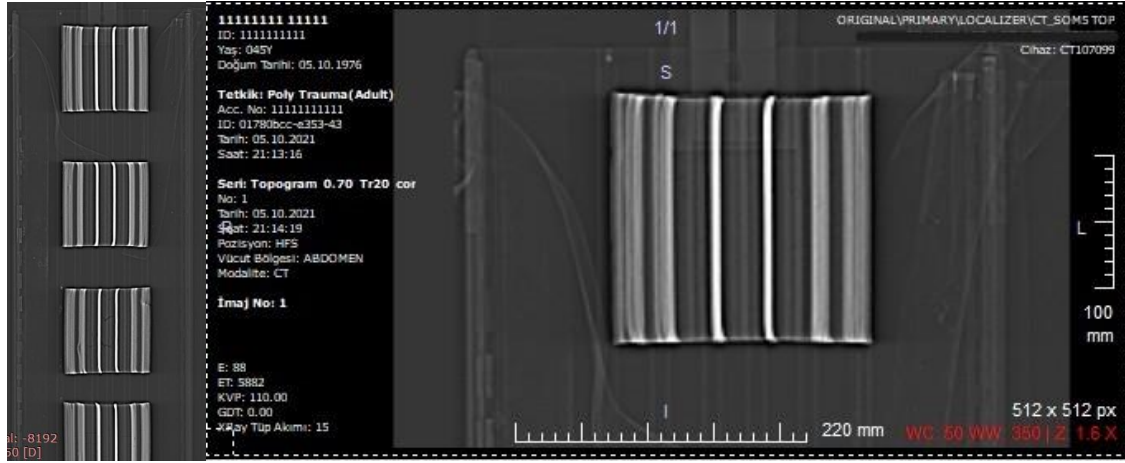


Şekil 4.11. Tuğla örneklerinin λ değerleri-çeltik kavuzu katkı oranı ilişkisi

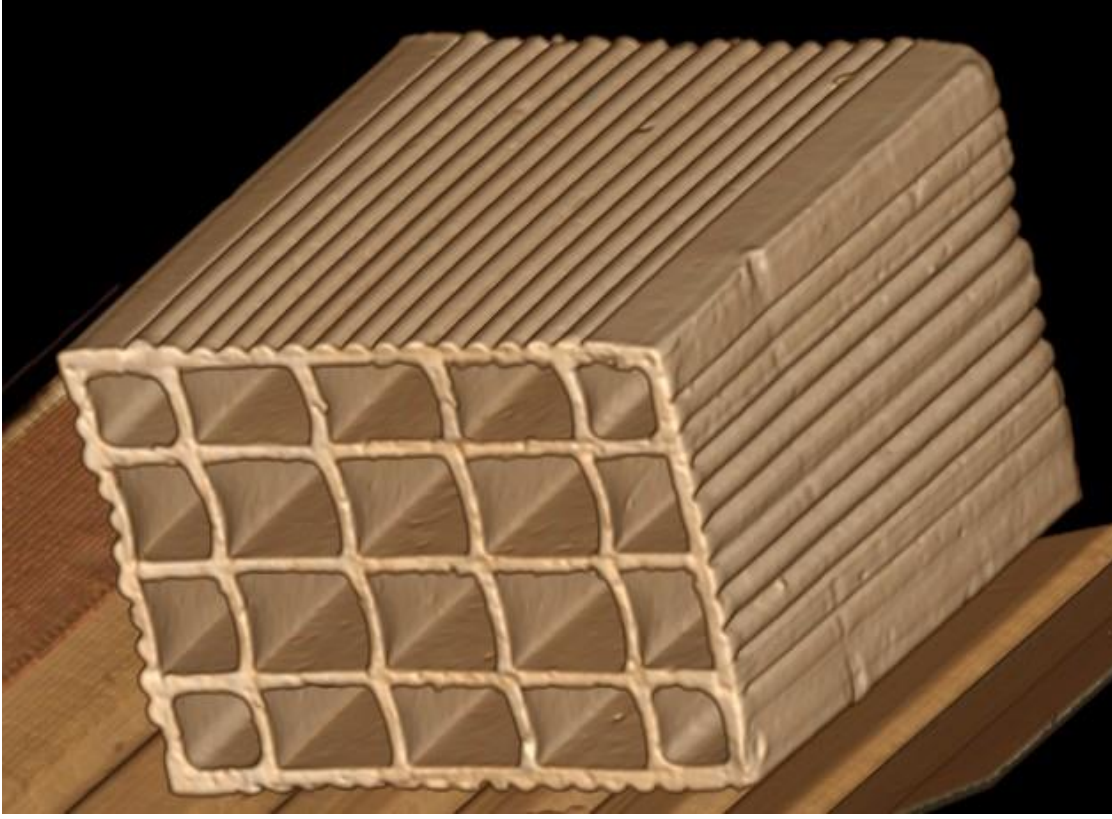
Çizelge 4.14 incelendiğinde ısı iletkenlik katsayısı referans tuğla örneğine göre %2,5 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %6,65, %5 katkılı tuğlada %10,64, %7,5 katkılı tuğlada %22,07, %10 katkılı tuğlada %24,47, %12,5 katkılı tuğlada %25,80, %15 katkılı tuğlada %36,70 oranında azalmıştır. Bu da çeltik kavuzu katkı oranı arttıkça tuğla örneklerinin yalıtım özelliklerinin arttığını göstermektedir.

4.1.13. Bilgisayarlı tomografi

Bilgisayarlı Tomografi cihazıyla görüntüsü alınan tuğlalardan, katkısız pişmiş tuğlanın BT görüntüsü Resim 4.10' de, çeltik kavuzu katkılı pişmemiş tuğlanın BT görüntüsü Resim 4.11' de, çeltik kavuzu katkılı pişmiş tuğlanın BT görüntüsü Resim 4.13' de gösterilmiştir.

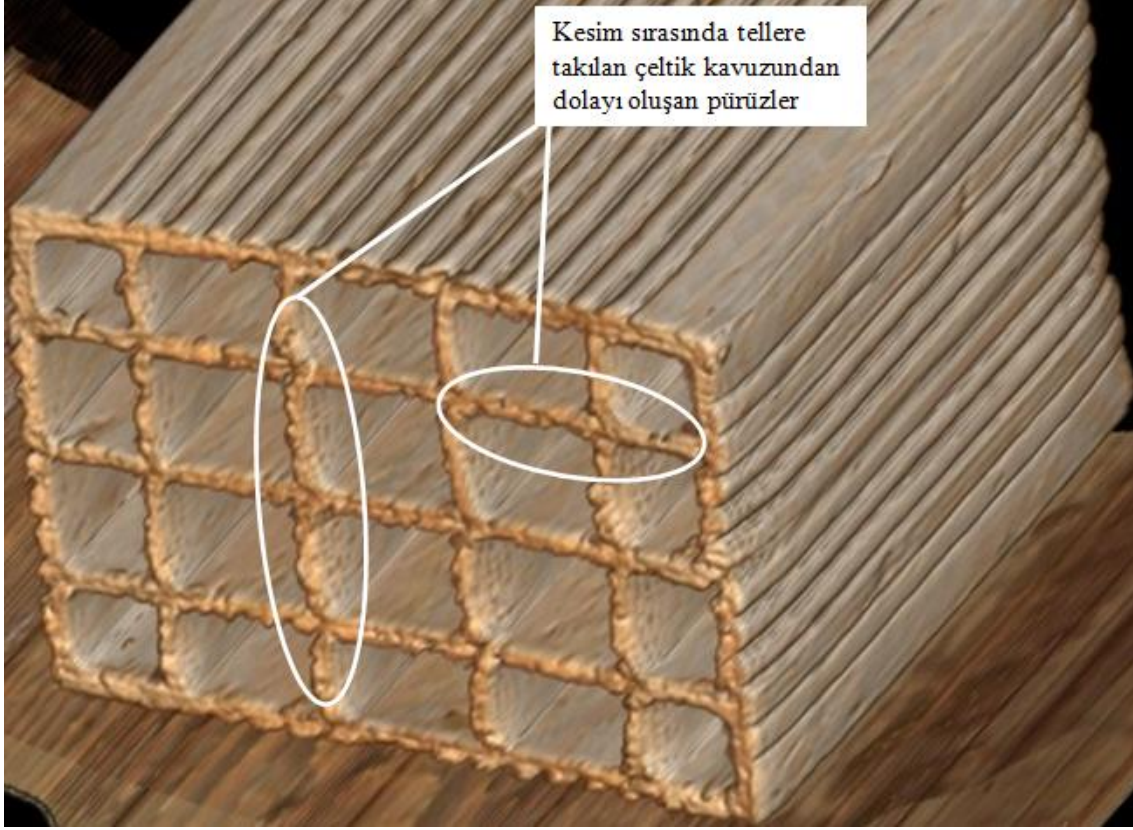


Resim 4.9. Tuğlanın bilgisayarlı tomografi görüntüsü



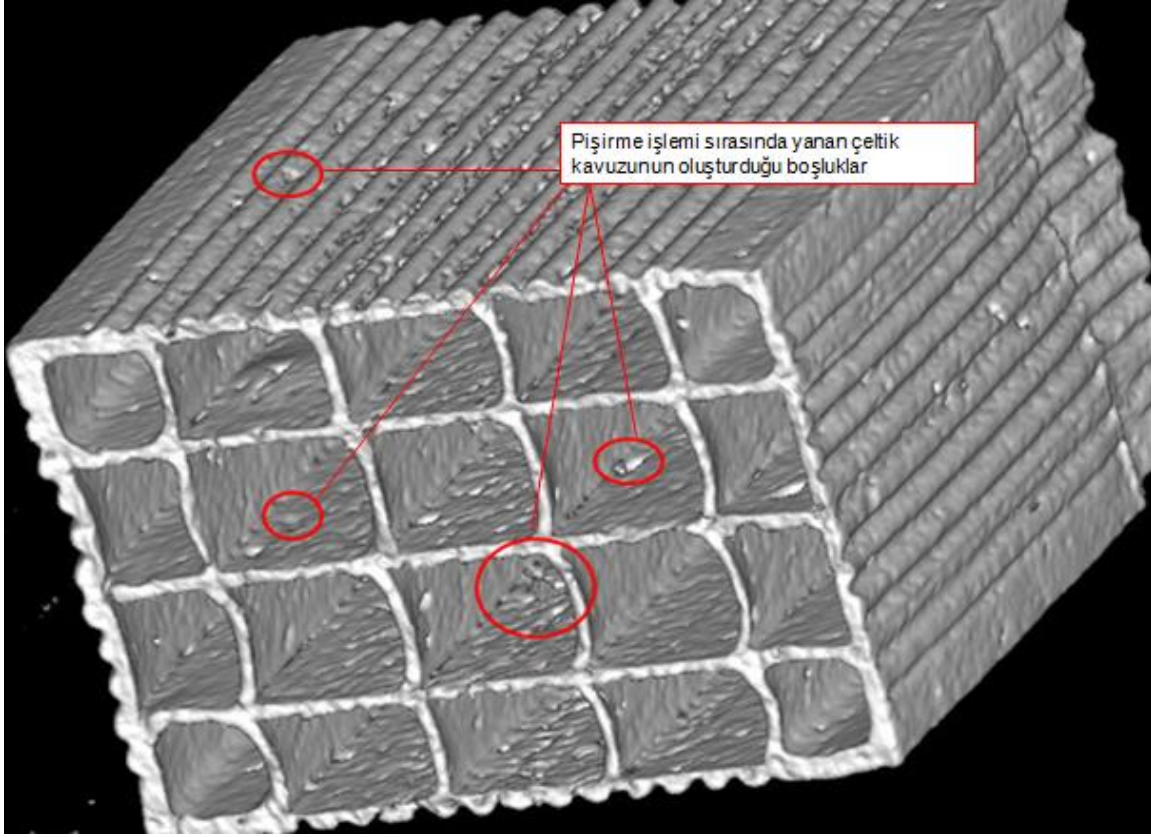
Resim 4.10. Katkısız pişmiş tuğlanın BT görüntüsü

Katkısız pişmiş tuğlanın BT görüntüsüne bakıldığında yüzeyde pürüzlülüğün, girinti ve çıkıntıların azlığı dikkat çekmektedir. Düzgün bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir.



Resim 4.11. Çeltik kavuzu katkılı pişmemiş tuğlanın BT görüntüsü

Çeltik kavuzu katkılı pişmemiş tuğlanın BT görüntüsü (Resim 4.11) incelendiğinde tuğlaların şekil verilmesi sırasında tellerin tuğlayı keserken çeltik kavuzuna takılarak pürüzlü bir kesim oluşturduğu görülmektedir.



Resim 4.12. Çeltik kavuzu katkılı pişmiş tuğlanın BT görüntüsü

Çeltik kavuzu katkılı pişmiş tuğlanın BT görüntüsü (Resim 4.12) incelendiğinde çeltik kavuzlarının pişirme işlemi sırasında yandığı ve yüzeyde yanan çeltik kavuzlarının boşluklar oluşturduğu görülmektedir. Resim 4.13 incelendiğinde yanan çeltik kavuzlarının tuğla içerisindeki külleri görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Ham çeltik kavuzu katkılı üretilen tuğlalardan elde edilen deney sonuçlarına göre;

- Çeltik kavuzunun boşluklu yapısı plastiklik için daha fazla suya ihtiyaç duymasına ve bu nedenle referans tuğla örneğine göre katkılı tuğlaların plastiklik suyunun artmasına neden olmuştur. Plastiklik suyu değerleri referans tuğla örneğine göre %5,82- %28,75 oranları arasında artmıştır.
- Tuğla örneklerinin kuruma küçülme değerleri çeltik kavuzu katkısı oranları arttıkça kuruma küçülme değerleri azalmaktadır. Katkı olarak kullandığımız çeltik kavuzu tanelerinin boyutu kil tane boyutundan büyük ve hafif olduğundan katkılı tuğla örneklerinde kuruma küçülme oranlarında katkı oranı arttıkça azalmalar görülmektedir. Kuruma küçülme değerleri referans tuğlada %4,30, %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlada %2,12 olduğu görülmektedir.
- Çeltik kavuzu katkısı oranı arttıkça toplam doğrusal küçülme değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Çeltik kavuzu katkı oranının artması ile kızdırma kaybı oranları da artmıştır. Kızdırma kaybı değerleri referans tuğla örneğine göre %18,90 - %56,34 oranları arasında artmıştır.
- Tuğla örneklerinde katkı oranı arttıkça görünen porozite değerleri de artmıştır. Görünen porozite değerleri referans tuğla örneğine göre %10,87 - %21,33 oranları arasında artmıştır.
- Çeltik kavuzu katkı oranının artması ile pişirilme işlemi sırasında içerisindeki çeltik kavuzlarının yanması ile boşluklar oluşmuş bu da tuğla örneklerinin su emme oranları artırmıştır. Su emme değerleri referans tuğla örneğine göre %1,21 - %33,11 oranları arasında artmıştır.
- Çeltik kavuzu katkı oranı arttıkça net birim ağırlıklar azalmıştır. Net birim ağırlık değerleri %1,52 - %8,53 oranları arasında azalma göstermiştir.
- Çeltik kavuzu ikame oranının artması ile görünür yoğunluk değerlerinin %0,77 - %6,21 oranları arasında azaldığı görülmüştür.

- Çeltik kavuzu katkı oranı arttıkça tuğlaların pişirme işlemini sırasında yanan çeltik kavuzlarının oluşturduğu boşluklardan dolayı tuğla örneklerinin basınç dayanımlarında %9,86 - %30,99 oranları arasında azalma meydana gelmiştir.
- Çeltik kavuzu ikame oranının artmasıyla tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları görünür bir düşüş göstermiştir. Referans numunenin λ değeri 0,376 W/m.K ölçülürken, %15 çeltik kavuzu katkılı tuğlanın λ değeri 0,238 W/m.K ölçülmüştür.
- Donma çözülme deneylerinde yapılan gözle muayenede katkı oranının artması ile birlikte önemli derecede fark görülmemiştir.
- Çeltik kavuzu katkısı oranı arttıkça kil miktarı azalmış ve kil miktarının azalması toplam doğrusal küçülme değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Katkı oranı arttıkça boyutlardaki küçülme azalmıştır.
- Düzlemsel paralellikten sapma ortalamalarına bakıldığında ölçümlerdeki farkların kalıptan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Çeltik kavuzu katkı oranı arttıkça tuğla örneklerinin küçülme oranları azalmıştır. Buna bağlı olarak köşegen ortalama ölçülerine bakıldığında referans numunenin köşegen ortalaması 217.0 mm, %15 çeltik kavuzu bulunan tuğla örneklerinde 220.0 mm ölçülmüştür. Katkı oranı arttıkça numunelerin küçülme oranları da azalmıştır.
- Düzlemden sapma ölçülerinin artış ve azalışında, işçilerin tuğlaları yaş iken banttın tezgahlara yerleştirmesi esnasında işçilerin parmaklarının tuğla deliklerini yamultmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Bims blok elemanlarla , çeltik kavuzu katkılı tuğlaların ısı iletkenlik katsayılarının aynı seviyede olması çeltik kavuzunun ısı iletkenlik katsayısını önemli düzeyde etkilemektedir. Yapının kullanım sürecinde enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyecektir.
- Çeltik kavuzunun hacimce %15 kullanımı ile üretilen tuğlalar, bölme duvarlarda ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilir.
- Ayrıca tuğla içerisinde yanan çeltik kavuzu ısı açığa çıkararak enerji tasarrufu sağladığı düşünülmektedir.
- Organik tarım atığı çeltik kavuzunun kullanılmasıyla, hammadde kullanımını azaltılarak sürdürülebilir yapı malzemesi üretilmiştir.

5.2. Öneriler

Yapılan tez çalışmasına göre önemli görülen bazı hususlar aşağıda verilmiştir. Buna göre;

- Literatürde de görüldüğü üzere gerek kolay gerekse ekonomik üretimi sebebiyle gün geçtikçe tuğla elemanlarının üretimi artmaktadır. Bu durumda hammaddenin azaldığını bildirmektedir. Araştırmacılar ana bileşen olan kilin kullanım miktarını azaltmak amacıyla ve tuğlanın özelliklerinde iyileştirme yapmak amacıyla çalışmalar yapmalıdırlar. Yaptığımız çalışma bu amaca hizmet etmektedir.
- Bu çalışmada üretilen çeltik kavuzu katkılı hafif tuğlalarda ısı iletkenlik katsayısı yüksek ölçülürken, basınç dayanımlarında düşüşler meydana gelmektedir. Bu yüzden katkılı tuğlaların yalıtım özelliği yüksek olması istenen bölme duvarlar için kullanılabilceği kanısına varılmıştır.
- Tuğla üretimi sırasında önemli derecede su tüketimi meydana gelmektedir. Özellikle çeltik kavuzu gibi gözenekli malzemelerin kullanılması su ihtiyacını artırmaktadır. Üretim aşamalarında su ihtiyacının yağmur sularının depolanarak kullanılması sürdürülebilir yapı malzeme üretimini tamamlayacağı düşünülmektedir.
- Sanayiciler tuğla fabrikalarında çeltik kavuzunu hacimce maksimum %15 kullanabilirler. Bu orandan fazla kullanımlarda işlenebilirlik zorlaşmakta ve düzgün geometrik şekil elde edilememektedir.
- Çeltik kavuzu katkılı tuğlaların dolu pres tuğla üretiminde kullanılması ve dolu pres tuğlaların özelliklerine etkisinin görülmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Turan, E. (2019). *Bor atığı kil pestillerinin mühendislik özellikleri ve yüksek plastisiteli kilin stabilizasyonunda kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-2.
2. Soroushian, P., Simsek, O., Elzafraney, M., and Ghebrab, T. (2009). Compatibility of cereal straw with hydration of cement. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 35(1), 1-6.
3. Muñoz Velasco, P., Morales Ortiz, M. P., Letelier, G. V., and Mendivil Giró, M. A. (2016). Fired clay bricks made by adding wastes: Assesment of the impact on physical, mechanical and thermal properties. *Construction and Building Materials*, 125, 241-252.
4. Çelebi, G. Ü. (2007). *Yapı malzemeleri ve yapıda kullanım özellikleri*, Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ankara, 20-26.
5. Şimşek, O. (2022). *Yapı malzemesi II* (7. Baskı). Ankara: Seçkin Yayınevi, 111-112.
6. Zal, B. (2010). *Zeolit, tras ve uçucu kül ile tuğla üretimi ve standard tuğla ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 11-17.
7. Arcasoy, A. (1983). *Seramik teknolojisi*. İstanbul: Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 277.
8. Uzuner, B. A. (2007). *Temel zemin mekaniği*. Trabzon: Derya Kitapevi, 10-12.
9. Türköz, M. (2007). *Yüksek plastisiteli killerin şişme potansiyelinin direkt deneylerle belirlenmesi ve karşılaştırmalı analiz*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 6-14.
10. Görhan, G. (2011). *Çeltik kavuzunun tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 9-13.
11. Şahin, Ş. E. (2008). *Ham ve kalsine kolemanit atıklarının tuğla yapımında kullanım olanaklarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 38.
12. Şişman, C. B., Kocaman, İ. ve Gezer, E. (2006). 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.
13. Güner, M. S. ve Süme, V. (2000). *Yapı malzemesi ve beton*. İstanbul: Aktif Yayınevi, 1-336.
14. Cultrone, G., and Sebastian, E. (2009). Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. *Construction and Building Materials*, 23, 1178-1184.

15. İriş, M. (2019). *Tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin sürdürülebilirliği üzerine karşılaştırmalı bir analiz*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 1-2.
16. Levent, M. (2012). *Kırmızı çamur katkılı tuğla üretiminin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 26-27.
17. Görçiz, G. (2000). *Ülkemizde tuğla ve kiremit endüstrisi*. Manisa: TUKDER Yayınevi, 26-32.
18. Şahin, S. (2001). Türkiye’de tuğla-kiremit sanayinin genel görünümü ve Çorum ili örneği. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(2), 19-41.
19. Dönmez, S. (1993). *Yapı bilgisi 3 (Çeviri)*. Ankara: Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, 149-173.
20. Çelik, A. (2005). *Kütahya yöresi tuğla fabrikası atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 1-4.
21. Ekmekyapar, T. ve Örüng, I. (1993). *İnşaat malzeme bilgisi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, 22-36.
22. Ganesan, K., Rajagopal, K., and Thangavel, K. (2008). 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.
23. Chandrasekhar, S., Satyanarayana K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P., and Gupta, T. N. (2003). Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk- An overview. *Journal of Materials Science*, 38(15), 3159-3168.
24. Nair, D., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K., Kentgens, A. P. M. (2008). A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 861-869.
25. Chindaprasirt, P., and Kanchanda, P. (2007). Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 21, 1356-1361.
26. Mansaray, K. G., and Ghaly, A. E. (1997). Physical and thermochemical properties of rice husk. *Energy Sources, PartA: Recovery Utilization, and Environmental Effects*, 19, 989-1004.
27. İnternet: TEPGE. (2021). Çeltik. *Tarım ürünleri piyasa raporu*, Haziran. Web: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler>, Son Erişim Tarihi: 26.07.2023
28. Hwang, C. L., and Chandra, S. (1997). The use of rice husk ash in concrete. S. Chandra (Ed.), *Waste material used in concrete manufacturing*., Noyes Publications, 184-234.

29. Faria, K. C.P., Gurgel, R. F., and Holanda, J. N. F. (2012). Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 101(1), 7-12.
30. Hamer, K., and Karius, V. (2002). Brick production with dredged harbour sediments. An industrial-scale experiment. *Waste Management*, 22(1), 521-530.
31. Eliche-Quesada, D., Martínez-Martínez, S., Pérez-Villarejo, L., Iglesias-Godino, F. J., Martínez-García, C., and Corpas-Iglesias, F. A. (2012). Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*, 103(1), 166-173.
32. Esmeray, E., and Atıs, M. (2019). Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick production. *Construction and Building Materials*, 194, 110-121.
33. Levent, M. (2012). *Kırmızı çamur katkılı tuğla üretiminin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 1-4.
34. Emrulloğlu, Ö. F., Emrulloğlu, C. B. ve Temel, P. (2002). *Etibor Kırka Boraks atığı ile Afyon Reis Mermer atığından beyaz tuğla üretiminin araştırılması*, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 229-234.
35. Aydın, A., Uçar A., Demir, U. ve Şahbaz, O. (2004). *Bor atığının tuğla sanayinde kullanılabilirliğinin araştırılması*. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 413.
36. Elbeyli, Y., Kalpaklı, Y., Gülen, J., and Pişkin, M. (2004, September). *Utilization of borax waste as an additive in building brick production*. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 431.
37. Gencil, O., Sütçü, M., Erdoğan, E., Koç, V., Çay, V. V., and Gök, M. S. (2013). Properties of brick with waste ferro chromium slag and zeolite. *Journal of Cleaner Production*, 59, 111-119.
38. Sabah, E. (2005). Kil içerikli kömür hazırlama tesisi atıklarından temiz kömür üretimi ve atık kilin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *TÜBİTAK Projesi*, MAG-1041080, Afyon, 5-6.
39. Bories, C., Borredon, M. E., Vedrenne, E., and Vilarem, G. (2014). Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal of Environmental Management*, 143(1), 186-196.
40. Chiang, K. Y., and Chien, K. L. (2008). Study on the characteristics of building bricks produced from reservoir sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 159(1), 499-504.
41. Samara, M., and Fafhaj, Z. (2009). Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 701-710.
42. Velasco P. M., M. Ortiz, M. P., M. Giró, M. A., M. Melia, D., and Rehbein, J. H. (2015). Development of sustainable fired clay bricks by adding kindling from vine shoot: Study of thermal and mechanical properties. *Applied Clay Science*, 107(1), 156-164.

43. Bilgin, N., Yeprem, H. A., Arslan, S., Bilgin, A., Günay, E., and Marşoglu, M. (2012). Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*, 29, 449-457.
44. Yıldız, K. (2008). Farklı tuğla fabrikası atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliği. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 31-41.
45. Bilgil, A., Uçurum, M., Gökçe, M.V., Fener, M., and Yeşilyurt E. (2017). Manufacture of fired clay bricks containing an industrial waste (bottom ash). *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 483-491.
46. Demir, İ., Başpınar M. S., and Kahraman, E. (2014). Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretimine Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, OZ5785, 537-540.
47. İnternet: Demir, İ., and Orhan, M. (2018). *Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi*. Web: http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5f441cd5f43eb2f_ek.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.06.2022.
48. İnternet: Kavas, T., Önce, G. (2002). *Etibor kırka boraks işletmesi konsantratör atıklarının pres tuğla üretiminde ergitici eleman olarak kullanılabilirliği*. Web: http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/41c377c73c0efed_ek.pdf, Son Erişim Tarihi: 04.12.2022.
49. Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S. M., and Munir, M. J. (2017). Production of sustain ableclay brick susing waste fly ash: Mechanical and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14.
50. Ulusoy, A. (2008). *Uçucu kül-tekstil fabrikası atık külü ve bazaltik pomzanın tuğla üretiminde katkı olarak kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 6-7.
51. Yüksek, S., and Kaya, S. (2017). Kömür baca külü, kireç ve jips ürünlerinden yapı malzemesi yapımı. *Academic Platform Journal of Engineering and Smart Systems*, 5(3), 58-70
52. Kızgut, S., Çuhadaroğlu D., and Çolak, K. (2001). *Çatalağzı termik santralı uçucu küllerinden tuğla üretim olanaklarının araştırılması*. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS, Ankara.
53. İnceyol, M. (2019). *Adıyaman yerleşim alanlarından çıkan killi toprağın soda camı katkısı ile tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman, 3-4.
54. Demir, İ. (2008). Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. *Waste Management*, 28(3), 622-627.
55. Liew, A. G., İdriz, A., Wong, C. H. K., Samad, A. A., Noor, M. J. M. M., and Baki, A. M. (2004). Incorporating of sewage sludge in clay brick and its characterization. *Waste Management and Research*, 22(4), 226-233.

56. Demir, İ. (2006). An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment*, 41(9), 1274-1278.
57. Elinwa, A. U. (2006). Effect of addition of sawdust ash to clay bricks. *Civil Engineering and Environmental System*, 23(4), 263-270.
58. Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. A., Lira, H., and Ferreira, H. C., (2005). Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 25, 1149-1158.
59. Oyetola, E. B., and Abdullahi, M. (2006). The use of rice husk ash in low-cost sandcrete block production. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 8, 58-70.
60. Kumarasamy, V., Sampath, R., and Kandasamy, S. (2021). Experimental study on hardened mechanical and durability properties of industrial ash bricks. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-8.
61. Abbas Al Amara, S. N. (2022). *Uçucu kül tabanlı geopolimer tuğla üretiminde boratığı kullanımının etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 13-14.
62. Berkgil, M. (2019). *Kırpılmış cam elyaf ve polipropilen katkılı tuğla üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 4-5.
63. Aykut, C. (2017). *Bayburt taşı atıklarının geopolimer tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt, 6-7.
64. Ertaş, N. Y. (2017). *Bazı atık maddelerin tuğla üretiminde değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 5-6.
65. Zawrah, M. F., Gado, R. A., Feltn, N., Ducourtieux, S., and Devoille, L. J. P. S. (2016). Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blast-furnace slag for geopolymer production. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 237-251.
66. Amin, S. K., Sherbiny, AboEl Magd, S. E. A., Belal, A., and Abadir, M. F. (2017). Fabrication of geopolymer brick using ceramic dust waste. *Construction and Building Materials*, 157(2017), 610-620.
67. Musthafa, A. M., Janaki, K., and Velraj, G. (2010). Microscopy, porosimetry and chemical analysis to estimate the firing temperature of some archaeological pottery shreds from India. *Microchemical Journal*, 95(2), 311-314.
68. Karaman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 125-130.
69. Şişman, C. B., Kocaman, İ., Gezer, E., 2006. 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.

70. Ceylantekin, R. (2002). *Organik ve İnorganik Gözenek Yapıcı Madde Katkılarının Yapı Malzemelerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kütahya, 1-16.
71. Cultrone, G., Sebastian, E. (2009). Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. *Construction and Building Materials*, 23, 1178-1184.
72. Yariv, S. (2004). The role of charcoal on DTA curves of organo-clay complexes: an overview. *Applied Clay Science*, 24(3-4), 225-236.
73. Karakaya, M. Ç. (2006). *Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri*. Ankara: Bizim Büro Basımevi, 454-640.
74. TS 4790 (2010). *Tuğla ve kiremit topraklarının deney metodu*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-14.
75. TS EN 771-1+A1 (2015). *Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-66.
76. TS EN 772-4 (2000). *Kâgir birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-7.
77. TS EN 772-16 (2012). *Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 16: Boyutların tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-10.
78. TS EN 772-3 (2000). *Kâgir birimler- Deney metotları- Bölüm 3: Kil kâgir birimlerin net hacmi ve boşluk yüzdesinin su içerisinde tartma metoduyla tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-4.
79. TS EN 772-1 (2015). *Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-18.
80. TS 772-22 (2020). *Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 22: Kil kâgir birimlerin donma çözülme direnci tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-22.
81. TS EN ISO 8990 (2002). *Isı yalıtımı- Kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini- Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-36.
82. Oyar O., (1998). *Radyolojide temel fizik kavramlar*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri, 1-50.
83. Bushong, S. C. (1984). *Radiologic science for technologist, physics, biology, and protection*. Toronto: The C.V.Mosby Company, 84-104.
84. Stock, S. R., Naik, N. K., Wilkinson, A. P., and Kurtis, K. E. (2002). X-ray microtomography (microCT) of the progression of sulfate attack of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1673-1675.
85. Naik, N. N., Jupe, A. C., Stock, S. R., Wilkinson, A. P., Lee, P. L., and Kurtis, K. E. (2006). Sulfate attack monitored by microCT and EDXRD: Influence of cement type, water-to-cement ratio, and aggregate. *Cement and Concrete Research*, 36(1), 144-159.

86. Tekin, İ., Bolat, H., Çullu, M., and Subaşı, S. (2011). Çimentolu sistemlerde porozite analizi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 31-39.
87. Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A., Russo, U. (2006). Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*. 31, 1-15.
88. Milheiro, F. A. C., Freire, M. N., Silva, A. G. P., and Holanda, J. N. F. (2005). Densification behaviour of a red firing brazilian kaolinitic clay. *Ceramics International*. 31, 757-763.
89. Lu, G., Max Lu, G. Q. and Xiao, Z. M. (1999). Mechanical properties of porous materials. *Journal of Porous Materials*. 6, 359–368.
90. Weng, C. H., Lin, D. F., and Chiang, P. C. (2003). Utilization of sludge as brick materials. *Advanced in Environmental Research*, 7, 679-685.
91. Mahllawy, M. S. (2008). Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag. *Construction and Building Materials*. 22, 1887- 1896.
92. Lockington, D. A., and Parlange, J. Y. (2003). Anomalous water absorption in porous materials. *Journal of Physics, Applied Physics*, 36(6), 760-767.
93. Junge, K., and Pauls, N. (1994). Pore-forming of lightweight vertical coring bricks and blocks-ecological evaluation of the production process. *Die Ziegelindustrie International*, 90.
94. Qing, Z. F., Jing, Z., and Jie, L. H. (2009). Autoclaved brick from low-silicon tailings. *Construction and Building Materials*, 23, 538-541.
95. Diaz, J. J. C., Nieto, P. J. G., Biempica, C. B., and Gero, M. B. P. (2007). Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. *Applied Thermal Engineering*. 27, 1445-1456.
96. Sütçü, M., and Akkurt, S. (2009). The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 35, 2625-2631.
97. Kivrak, S. O. (2006). *Uçucu kül katkılı bimsblokların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 25-26.



Gazili olmak ayrıcalıktır