

**YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE ŞİSTLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ VE SON
ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ÖZTÜRK

**Danışman
Prof. Dr. Taner KAVAS**

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Haziran 2025

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANSTEZİ

YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE ŞİSTLERİN
KULLANILABİLİRLİĞİ VE SON ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Osman ÖZTÜRK

Danışman
Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Haziran 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Osman ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Yapı Tuğlası Üretiminde Şistlerin Kullanılabilirliği ve Son Ürün Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca GG/AA/YYYY tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Prof. Dr. Taner KAVAS
AKÜ Mühendislik Fakültesi

..... İmza

Üye : Doç. Dr. Arife YURDAKUL
KDÜ Mühendislik Fakültesi

..... İmza

Üye : Doç. Dr. Ziya Özgür Yazıcı
AKÜ Mühendislik Fakültesi

..... İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30 / 06 /2025

Osman ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE ŞİSTLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ VE SON ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Osman ÖZTÜRK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Taner KAVAS

Bu araştırmada, Afyon ilinde faaliyet gösteren bir tuğla fabrikasının üretiminde kullanmış olduğu hammadde reçetesine şist katkısının etkileri incelenmiştir. Şist katkısının farklı oranlarda yapılması ve bununla birlikte iki farklı tane boyut dağılımına sahip şist kullanılması araştırmanın detaylandırılması açısından uygun görülmüştür.

Firmanın kullanmakta olduğu hammadde reçetesinde yer alan hammaddeler, firmanın stok sahasından rastgele numune alma metoduna uygun bir şekilde alınmıştır. Katkı olarak kullanılacak olan şist hammaddesinde firmanın ruhsatlı maden ocağı sahasından alınmıştır. Şist dışındaki kil hammaddeleri mikron boyutunda oldukları için sadece nemden ötürü keseklenmeler, bir çekiç ile dağıtıldıktan sonra etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve 1 mm altına elenmiştir. Şist ise yapraksı ve yer yer sert yapısı nedeni ile çekiçle ezilip, etüvde sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuş, 1 mm altı ve 2 mm altı olmak üzere iki farklı tane boyutunda hazırlanmıştır.

Firmanın kullanmakta olduğu hammadde reçetesine şistler, her iki tane boyutunda da %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırılmıştır. Ayrıca firmanın reçetesine %10 oranında 2 mm altı şist, %10 oranında 1 mm altı şist katılarak bir reçete daha hazırlanmıştır. Böylelikle katkısız olan referans reçete ile birlikte toplam 8 reçete hazırlanmıştır. Bu karışımlara uygun miktarda su ilave edilip plastik kıvama gelene kadar el ile yoğurulmuş ve plastik kıvama gelen malzeme 2 gün süre ile kapalı bir numune poşeti içerisinde dinlendirmeye alınmıştır.

Dinlendirme sonucunda 40-45 gr parçalar halinde hidrolik el presinde şekillendirilmiş, yaş ağırlıkları ve yaş boyutları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bir gün oda sıcaklığında bekletilen numuneler daha sonra etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş, kuru ağırlıkları ve kuru boyutları ölçülmüştür.

Numuneler belirlenen sinterleme sıcaklığında sinterlenmiş ve pişmiş ağırlıkları ve boyutları ölçülmüş, su içinde bırakılarak suya doygun ve arşimet prensibi ile su içerisindeki ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra bu çalışmanın başlangıcında yapılması planlanan fiziksel, mekanik ve mikroyapı analizlerine geçilmiştir.

Bu değerlendirmeler sonucunda en ideal iki reçetenin %20 oranında 2 mm altı şist katkılı reçete (T4) ile yine %20 oranında 1 mm altı şist katkılı reçeteler (T7) olduğu kanısına varılmıştır. Artan şist katkısı ve küçülen tane boyutu ile beraber; su emme ve porozite, plastiklik suyu, kuru küçülme ve ateş zaiyatı değerlerinde azalma, birim hacim ağırlık ve basınç mukavemeti değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Pişme küçülmesi değerleri incelendiğinde ise küçülme yerine genleşmeler olduğu tespit edilmiştir.

SEM analizleri incelendiğinde; R kodlu örneğe oranla T4 ve T7 örneklerinde daha küçük ve az gözenek olduğu ve bu nedenle bu örneklerde yüzdesel su emme değerlerinin daha düşük, mukavemet değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, R kodlu örnekte daha düzensiz bir mikro yapının ve gözenek boyutunun olduğu, T4 ve T7 örneklerinde ise gözenek ve mikroyapı da daha homojen bir yapının olduğu görülmüştür. XRD analizleri sonucunda ise; deney numunelerinin yapısında kuvars, anortit, illit, muskovit ve hematit minerallerinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak şist hammaddesinin tane boyutunu 2 mm altına ne kadar fazla düşürebilsek, tuğla ve kiremit sanayisinde arzu edilen alternatif bir hammadde olarak reçetelerde belirli oranlarda kullanılabileceği kanısı oluşmuştur.

2025, xiv + 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yapı Tuğlası, Şist, Mekanik özellikler, Kil

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF SHALES IN BUILDING BRICK PRODUCTION AND THEIR EFFECTS ON THE FINAL PRODUCT PROPERTIES

Osman ÖZTÜRK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Taner KAVAS

In this research, the effects of schist additive on the raw material recipe used in the production of a brick factory operating in Afyon province were investigated. It was deemed appropriate to make schist additives at different rates and to use schist with two different grain size distributions in order to detail the research.

The raw materials in the raw material recipe used by the company were taken from the company's stock area in accordance with the random sampling method. The schist raw material to be used as additive was also taken from the company's licensed mine site. Since the clay raw materials other than schist are micron-sized, only the lumps due to humidity were dispersed with a hammer and then dried in the oven until they reached a constant weight and sieved below 1 mm. Schist, on the other hand, was crushed with a hammer due to its flaky and occasionally hard structure, dried in the oven until they reached a constant weight, and prepared in two different grain sizes, below 1 mm and below 2 mm.

Schists were mixed in the raw material recipe used by the company at 10%, 15% and 20% in both grain sizes. In addition, another recipe was prepared by adding 10% of schist below 2 mm and 10% of schist below 1 mm to the company's recipe. Thus, a total of 8 recipes were prepared together with the reference recipe without additives. Water was added to these mixtures by spraying and kneaded by hand until it reached a plastic consistency, and the material that reached a plastic consistency was left to rest in a closed sample bag for 2 days.

As a result of resting, it was shaped in 40-45 gr pieces with a hydraulic hand press, its wet weights and wet dimensions were measured and recorded. The samples, which were kept at room temperature for one day, were then dried in an oven until they reached a constant weight, their dry weights and dry dimensions were measured.

The samples were sintered at the determined sintering temperature and their cooked weights and dimensions were measured, they were left in water and their weights in water were recorded with the Archimedes principle. Then, the physical, mechanical and microstructure analyses planned at the beginning of this study were carried out.

As a result of these evaluations, it was concluded that the two most ideal recipes are the recipe with 20% schist additives below 2 mm (T4) and the recipe with 20% schist additives below 1 mm (T7). With the increasing schist additive and decreasing grain size; decreases in water absorption and porosity, plasticity water, dry shrinkage and fire loss values, and increases in unit volume weight and compressive strength values were observed. When the firing shrinkage values were examined, it was determined that there were expansions instead of shrinkage.

When the SEM analyzes were examined; It was determined that there were smaller and fewer pores in the T4 and T7 samples compared to the R coded sample, and therefore the % water absorption values were lower and the strength values were higher in these samples. In addition, it was seen that there was a more irregular microstructure and pore size in the R coded sample, while a more homogeneous structure was formed in the pores and microstructure in the T4 and T7 samples. As a result of the XRD analyzes; it was determined that quartz, anorthite, illite, muscovite and hematite minerals were formed in the structure of the test samples. As a result, it was concluded that the more we can reduce the grain size of the schist raw material below 2 mm, the more it can be used in certain proportions in recipes as a desired alternative raw material in the brick and tile industry.

2025, xiv + 71 pages

Keywords: Building Brick, Schist, Mechanical Properties, Clay

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Taner KAVAS'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Malzeme Mühendisi Sayın Ahmet Işık'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm eşim Sayın Özlem Çiftçi ÖZTÜRK'e, hocalarıma, İpek Tuğla A.Ş yetkililerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Osman ÖZTÜRK
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜRLER.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tuğlanın Önemi.....	2
1.2 Tuğlanın Tarihçesi.....	4
1.3 Tuğla Üretim Prosesleri.....	6
1.3.1 Hammaddenin Hazırlanması.....	7
1.3.2 Şekillendirme.....	8
1.3.3 Kurutma.....	10
1.3.4 Pişirme.....	11
1.3.5 Ambalajlama ve Sevkiyat.....	14
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	15
2.1 Kıl.....	15
2.1.1 Kilin Oluşumu.....	16
2.1.2 Killerin Sınıflandırması.....	17
2.1.2.1 Jeolojik Oluşumlarına Göre Sınıflandırma.....	17
2.1.2.2 Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırma.....	18
2.1.2.3 Endüstride Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırma.....	19
2.1.3 Tuğla Üretiminde Kullanılan Killerde Aranılan Özellikler.....	21
2.1.3.1 Plastiklik.....	21
2.1.3.2 Plastiklik seviyesi.....	22
2.1.3.3 Hacimsel değişimler (Rötre).....	22
2.1.3.4 Kilin çekme dayanımı.....	22

2.1.3.5 Kilin ergime özelliği	23
2.1.3.6 Pişme rengi.....	23
2.2 Şist	25
2.2.1 Şistin Kullanım Alanları	26
3. MATERYAL ve METOT	29
3.1 Kullanılan Malzemeler	29
3.1.1 Kıl 1	29
3.1.2 Kıl 2	30
3.1.3 Kıl 3	31
3.1.4 Kıl 4	32
3.1.5 Şist	33
3.2 Metod.....	34
3.2.1 Deney Numunelerinin Üretilmesi.....	34
3.2.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	43
3.2.2.1 Su Emme	44
3.2.2.2 Porozite	44
3.2.2.3 Birim Hacim Ağırlık	45
3.2.2.4 Ateş Zaiyatı	45
3.2.2.5 Plastiklik Suyu	45
3.2.2.6 Kuru Küçülme	46
3.2.2.7 Pişme Küçülmesi.....	46
3.2.2.8 Basınç Mukavemeti Testi.....	46
4. BULGULAR	47
4.1 Fiziksel Özellikler	47
4.1.1 Su Emme Değerleri.....	47
4.1.2 Porozite Değerleri	48
4.1.3 Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	49
4.1.4 Ateş Zaiyatı Değerleri.....	50
4.1.5 Plastiklik Suyu Değerleri	51
4.1.6 Kuru Küçülme Değerleri	52
4.1.7 Pişme Küçülmesi Değerleri	53
4.2 Mekanik Özellikler.....	55
4.2.1 Basınç Mukavemeti Değerleri	55
4.3 Minerolojik Özellikler	56

4.3.1 XRD Analizleri.....	56
4.3.2 SEM Analizleri.....	62
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	65
6. KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Fe	Demir
Mg	Magnezyum
Si	Silisyum
SiO ₂	Silisyum dioksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
K ₂ O	Potasyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
Na ₂ O	Sodyum oksit
LOI	Ateş zaiyatı

Kısaltmalar

AZ	Ateş zaiyatı yüzdesi
A _o	Kuvvet uygulanan yüzey alanı
BHA	Birim hacim ağırlık
B _m	Basınç mukavemeti
KK	Kuru küçülme yüzdesi
L _K	Kuru numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri
L _P	Pişmiş numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri
L _Y	Yaş numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri
P	Görünür porozite yüzdesi
PK	Pişme küçülmesi yüzdesi
P _k	Kırılma anındaki yük
PS	Plastiklik suyu yüzdesi
R	Referans reçete
SE	Su emme yüzdesi
T ₁	3.seriye ait 1 numaralı reçete
T ₂	1. seriye ait 2 numaralı reçete
T ₃	1. seriye ait 3 numaralı reçete
T ₄	1. seriye ait 4 numaralı reçete
T ₅	2. seriye ait 5 numaralı reçete
T ₆	2. seriye ait 6 numaralı reçete
T ₇	2. seriye ait 7 numaralı reçete
W ₁	Numunelerin pişmiş kuru ağırlığı
W ₂	Numunelerin su içinde asılı ağırlığı
W ₃	Numunelerin suya doygun ağırlığı
W _K	Şekillendirilen numunelerin kuru ağırlığı
W _Y	Şekillendirilen numuneleri yaş ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 İpek Tuğla Fabrikası hammadde hazırlama iş akış şeması	8
Şekil 1.2 İpek Tuğla Fabrikası şekillendirme ünitesi iş akış şeması	9
Şekil 1.3 Fırın bölümü iş akış şeması.....	13
Şekil 2.1 Kil minerallerinin oluşumu ve değişimi.....	16
Şekil 2.2 Killerin jeolojik oluşumlara göre sınıflandırılması	17
Şekil 2.3 Killerin kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılması	18
Şekil 2.4 Killerin endüstriyel kullanım alanlarına göre sınıflandırılması	19
Şekil 2.5 Killerin tipik dilatometrik eğrileri.....	21
Şekil 4.1 Su emme grafiği	48
Şekil 4.2 Porozite grafiği.....	49
Şekil 4.3 Birim hacim ağırlık grafiği.....	50
Şekil 4.4 Ateş zaiyatı grafiği	51
Şekil 4.5 Plastiklik suyu grafiği	52
Şekil 4.6 Kuru küçülme grafiği	53
Şekil 4.7 Pişme küçülmesi grafiği.....	54
Şekil 4.8 Basınç mukavemeti grafiği	56
Şekil 4.9 R numunesinin kuvars minerali pikleri	57
Şekil 4.10 T4 numunesinin kuvars minerali pikleri	57
Şekil 4.11 T7 numunesinin kuvars minerali pikleri	57
Şekil 4.12 R numunesinin anortit minerali pikleri	58
Şekil 4.13 T4 numunesinin anortit minerali pikleri	58
Şekil 4.14 T7 numunesinin anortit minerali pikleri	58
Şekil 4.15 R numunesinin illit minerali pikleri.....	59
Şekil 4.16 T4 numunesinin illit minerali pikleri	59
Şekil 4.17 T7 numunesinin illit minerali pikleri	59
Şekil 4.18 R numunesinin muskovit minerali pikleri.....	60
Şekil 4.19 T4 numunesinin muskovit minerali pikleri	60
Şekil 4.20 T7 numunesinin muskovit minerali pikleri	60
Şekil 4.21 R numunesinin hematit minerali pikleri.....	61
Şekil 4.22 T4 numunesinin hematit minerali pikleri.....	61
Şekil 4.23 T7 numunesinin hematit minerali pikleri.....	61
Şekil 4.24 R numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri	62

Şekil 4.25	T4 numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri.....	62
Şekil 4.26	T7 numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri.....	63
Şekil 4.27	R numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri	63
Şekil 4.28	T4 numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri.....	63
Şekil 4.29	T4 numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri.....	64



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kil 1'in kimyasal bileşimi.....	29
Çizelge 3.2 Kil 2'nin kimyasal bileşimi.....	30
Çizelge 3.3 Kil 3'ün kimyasal bileşimi.....	31
Çizelge 3.4 Kil 4'ün kimyasal bileşimi.....	32
Çizelge 3.5 Şist'in kimyasal bileşimi.....	33
Çizelge 3.6 Hammadelerin kimyasal bileşimlerinin toplu gösterimi.....	34
Çizelge 3.7 2 mm altı şist katkılı reçeteler (1. Seri).....	35
Çizelge 3.8 1 mm altı şist katkılı reçeteler (2.Seri).....	35
Çizelge 3.9 Referans reçete.....	35
Çizelge 3.10 2 mm altı ve 1 mm altı şistin beraber kullanıldığı reçete (3.Seri).....	36
Çizelge 4.1 Su emme değerleri.....	48
Çizelge 4.2 Porozite değerleri.....	49
Çizelge 4.3 Birim hacim ağırlık değerleri.....	50
Çizelge 4.4 Ateş zaiyatı değerleri.....	50
Çizelge 4.5 Plastiklik suyu değerleri.....	51
Çizelge 4.6 Kuru küçülme değerleri.....	52
Çizelge 4.7 Pişme küçülmesi değerleri.....	53
Çizelge 4.8 Fiziksel özellikler.....	54
Çizelge 4.9 Basınç mukavemeti değerleri.....	55

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Mısır fresklerinden bir örnek	5
Resim 1.2 M.Ö. 2112-2095 Kral Ur-Nammu'ya ait zigurat	5
Resim 1.3 Yeni Babil Dönemi'nde (M.Ö.6.yüzyıl) sırlı tuğlalarla yapılmış İhtar Kapısı	6
Resim 1.4 İpek Tuğla Fabrikası hammadde hazırlama ünitesi	8
Resim 1.5 İpek Tuğla Fabrikası şekillendirme ünitesi.....	9
Resim 1.6 İpek Tuğla Fabrikası suni kurutmadan çıkan ürünlerin vagonlara dizilmesi	11
Resim 1.7 İpek Tuğla Fabrikası Hoffman fırını.....	13
Resim 1.8 Nihai ürünlerin araçlara yüklenmesi.....	14
Resim 2.1 Isı ve basınç uygulanmış pul pul ölçeklere ayrılmış şist kayacı.	25
Resim 3.1 Kil 1 sahası.....	29
Resim 3.2 Kil 1 hammaddesi	29
Resim 3.3 Kil 2 sahası.....	30
Resim 3.4 Kil 2 hammaddesi	30
Resim 3.5 Kil 3 sahası.....	31
Resim 3.6 Kil 3 hammaddesi	31
Resim 3.7 Kil 4 Sahası	32
Resim 3.8 Kil 4 hammaddesi	32
Resim 3.9 Şist sahası.....	33
Resim 3.10 Şist Hammaddesi	33
Resim 3.11 1 mm altına elenmiş kil numuneleri.....	36
Resim 3.12 2 mm altına elenmiş şist numuneleri	36
Resim 3.13 1 mm altı elenmiş şist numuneleri	37
Resim 3.14 Titreşimli Elek Seti	37
Resim 3.15 Reçeteye göre tartılıp, karıştırılmayı bekleyen hammaddeler	37
Resim 3.16 Yoğurularak plastik kıvama getirildikten sonra dinlenmeye alınan çamur	38
Resim 3.17 Hidrolik el presi ile şekillendirme	38
Resim 3.18 Küçülme testleri için numuneler üzerine ölçüm noktalarının işaretlenmesi	39
Resim 3.19 Deney numunelerinin pişirilme aşaması.....	39
Resim 3.20 Deney numunelerinin su içerisinde bekletilmesi	40
Resim 3.21 Su içerisinde tartım alınması.....	40
Resim 3.22 Basınç mukavemeti testi için numunu hazırlama	41
Resim 3.23 Basınç mukavemeti test numunelerinin pişirilmesi	41

Resim 3.24 Numunelerin basınç mukavemeti test cihazında kırılma anları.....	42
Resim 3.25 XRD ve SEM analizleri için hazırlanan numuneler	42
Resim 3.26 Bruker marka D8 Advance model X ışınları kırınımı cihazı.....	43
Resim 3.27 LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu cihazı.....	43



1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun hızla artması ve yapı stoğunun bu ihtiyaca cevap verememesinden kaynaklı hızlı bir kentleşme ihtiyacı, kaliteli, ekonomik, sürdürülebilir ve fonksiyonel yapı malzemesi üretimini kaçınılmaz kılmıştır ve malzeme bilimide bu gerçeğe binaen çalışmalarını yürütmektedir (Esir 2005).

Tamamen doğal, kile su eklenmesi dışında bir katkı malzemesi ihtiva etmeyen tuğla ürünleri bu özelliğinin yanı sıra, ekonomik oluşu, diğer duvar yapı malzemelerine oranla mekanik dayanımının daha yüksek olması, pişmiş kilden kaynaklı doğal bir termal direncinin bulunması, üretimi esnasında çıkan her bir proses artığının tekrar kullanılabilir olmasından kaynaklı sürdürülebilirliği, uzun ömürlü olması gibi özelliklerinden dolayı sektörde tercih edilmektedirler (Alan 2017).

Bütün dünyada başta depremler olmak üzere çeşitli doğal afetlerle zaman zaman karşı karşıya kalınmaktadır. Özellikle depremler doğru yapı malzemeleri seçiminin ne derece önemli olduğunu malesef bazen çok acı bir şekilde tekrar bizlere hatırlatmaktadır. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasar ve yıkımların en aza indirilebilmesi için doğru yapılmış statik hesapların yanı sıra, standartlara ve kullanım amaçlarına uygun, nitelikli malzemelerin seçilmesi ve kusursuz bir uygulamanın hayata geçirilmesi gerekmektedir. Tek başına doğru seçilmiş malzemeler, hatalı bir uygulamanın yol açacağı problemleri engelleyemez. Bu nedenle uygulama alanındaki saha denetimleri hayati önem taşımaktadır (Levent 2012).

Son dönemlerin üzerinde en çok durulan ve tartışılan konularından birisi de sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğidir. Bu nedenle yapı malzemeleri üreticilerinin, mevcut ürünlerinin geliştirilmesinde yada yeni ürünlerinde, mekanik dayanımı yüksek, ısı izolasyonu konusunda rekabetçi ve hafif ürünler üretmeye önem arz etmeleri gerekmektedir (Sürül 2015).

Sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi sonucunda inşaat sektörüne her gün yeni ürünler katılmaktadır. Yeni ürünün yanı sıra mevcut malzemenin doğal kaynaklarla yada

endüstriyel atıklarla iyileştirilmesi işlemi de gün geçtikçe ivme kazanmaktadır (Çimen 2019).

Bu araştırma neticesinde âtil durumda olan şist kayaçlarının, üretime ve dolayısı ile ekonomiye kazandırılma ihtimali ortaya çıkacaktır. Tezin amacında da belirtildiği üzere çok verimli olmayan tarım arazilerinden tuğla hammaddesi temini hususu, şist kayaçlarının kullanılabilirliğinin ortaya çıkması ile son bulabilir.

Şist katkısı ile referans yapı tuğlalarına nazaran iyileştirilmiş mekanik ve fiziksel özellikler ortaya çıkması da kuvvetle muhtemeldir. Bugüne kadar doğrudan şist katkılı yapı tuğlası üretimi üzerine yapılmış herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu doğrultuda şist kayaçlarının yapı tuğlalarına katkısının araştırılmış olması önem kazanmaktadır.

1.1 Tuğlanın Önemi

Günümüzde tuğla yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Modern mimari projelerde tuğla, çevre dostu ve enerji verimli bir seçenek olarak tercih edilmektedir. Farklı renk, boyut ve dokularda tuğlaların kullanımı, mimari estetiği çeşitlendirmektedir. Tuğla mimarisinin gelişimi, farklı uygarlıkların ve dönemlerin mimari anlayışı ve ihtiyaçlarına göre değişmiştir. Günümüzde de tuğla, hem tarihi eserlerin restorasyonunda hem de modern yapıların inşasında önemli bir rol oynamaktadır (İnt. Kaynak 1).

Tuğla, uygun toprakların bol olması, bu malzemenin ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermesi nedeniyle kentlerde olduğu gibi kırsal alanlarda tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılmakta ve üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde hayvan barınakları, tarımsal ürün depoları gibi yapılar genellikle, tek katlı ve prefabrik yapı malzemeleri ile yapılmaktadır. Bu tür yapılarda yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi tuğlalardır (Karaman 2006).

Tuğlalar, güneş ısını tutmada çok iyidir, bu da evlerimizin kışın daha yavaş soğuması anlamına gelir. Yaz aylarında ise evinizin aşırı ısınmasını önleyerek ters etkinin keyfini çıkarabilirsiniz. Bu aylarda cephe tuğlaları evinizin aşırı ısınmasını önler. Tuğla cepheler, rahat bir iç mekan iklimi için oluşturur. Ayrıca enerji tasarrufu sağlamaya da yardımcı olurlar. İster çok sıcak, ister dondurucu derecede soğuk olsun, cephe tuğlaları her zaman şeklini korur. Ayrıca yüksek basınca da dayanıklıdır. Yüksek katlı binalarda da tuğlalar ile çalışılabilir. Dolayısıyla bu ürün, gerek müşteriler, gerek mimarlar için geniş tasarım özgürlüğü sunar. Tuğla, yanmaz ve alev almaz olduğundan yangın hasarı riskini azaltır. Yangın çıkması durumunda zehirli gazlar açığa çıkmaz. Bir tuğla cephe, olası bir yangının ardından yenilenmiş bir binada taşıma işlevini çoğunlukla yerine getirmeye devam edebilir. Tuğlalar geniş bir renk ve doku yelpazesine sahiptir ve bu da onları farklı tarzlar ve zevkler için ideal kılar. Ayrıca çok yönlü bir malzeme olan tuğla, diğer malzemelerle de kullanılabilir. Tuğla, ürün yaşam döngüsünün boyunca sürdürülebilir. Yıkımdan sonra tuğlalar geri dönüştürebilir veya yeniden kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş tuğlalar binaya özgün bir görünüm ve karakter kazandırır. Geri dönüşümden sonra tuğlalar, dolgu ve stabilizasyon malzemesi olarak, tenis kortlarında, dökülmüş beton için agrega olarak ve farklı alanlarda çeşitli amaçlar için kullanılabilir (İnt. Kaynak 2).

Tuğla, en ekonomik yapı malzemesidir. Üstelik nesiller boyunca sağlam kalması tuğlayı daha da hesaplı yapar. Bina cephelerinde yıllarca bakım gerektirmeyen estetik görünümler oluşturan uzun ömürlü, %100 geri dönüşüm özelliği ile çevre ve insan sağlığını tehdit etmeyen bir malzemedir (İnt. Kaynak 3).

Çağdaş yapı sistemlerinin ve prefabrikasyonun gelişimi, özellikle son yıllarda hızlı şehirleşme ile yüksek binaların yapılması, yapılarda taşıyıcılığa katkısı olmayan bölme ve dış duvar elemanlarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu da tuğla gibi ağır geleneksel yapı malzemelerinin ya terk edilmesini ya da özelliklerinin değiştirilmesini gerekli kılmıştır (Bideci 2008).

1.2 Tuğlanın Tarihçesi

Tuğla, insanlık tarihi kadar eski bir yapı malzemesidir. Kelime kökeni olarak latinceye kadar uzanır. Doğal bir malzemedir. İmalatında kil, su ve ateş dışında bir katkı malzemesi kullanılmaz. Çok eski çağlarda, bir yapının inşasından önce o sahaya önce o dönemin şartlarında bir tuğla üretim tesisi yapılır, daha sonra binanın orada yapımına geçilmiştir. Bu ifadeden yola çıkılacak olursa, tarihte tuğladan yapılmış ilk ev aynı zamanda ilk tuğla üretim tesisinin kurulduğu yerdedir (Kuş 2012).

Net bir tarih vermek mümkün olmasa da, milattan önce 1200 yılında, kutsal kitap İncil'den elde edilen kayıtlara göre, ilk tuğla üretilmiş ve Babil Kulesi'nin yapımında kullanılmıştır. Yine milattan önce dönemlerde Mezopotamya bölgesinde ve Mısır mabetlerinin inşasında kilden üretilen malzemelerin varlığı ortaya çıkarılmıştır. Pişmiş kilden üretilen malzemeler bu dönemlerde süs eşyaları, mutfak eşyaları ve insanların barınak ve mabetlerini inşa ettikleri tuğla ürünleri ile sınırlıydı (Berkgil 2019).

Kerpici, tuğlanın atası olarak tanımlamak yanlış olmayacaktır. Şöyle ki; o dönemin insanları kili saman ile karıştırıp ardından su ile yoğurarak elde ettikleri hamuru kalıplara dökerek şekillendirdikten sonra doğal güneş ışığında kurutmuşlar ve ilk yapı malzemesi olan kerpici üretmişlerdir. İlerleyen dönemlerde seramik pişirme tekniklerinin öğrenilmesi ile kerpiç pişilmiş ve sert, açık hava şartlarına maruz kaldığında bozulmayan, dağılmayan tuğla malzemesini bulmuşlardır. Büyük bir ihtimalle kerpicin o dönemde tek dezavantajı açık hava şartlarında, sert doğa koşullarında pişmiş bir malzeme olmadığı için formunu yitiriyor olmasıdır (Eroğlu 2017).

Tuğlanın kullanım olanaklarını bölgesel şartlar doğrudan etkilemektedir. Tuğla üretimi için uygun kile ulaşımın zor olduğu Anadolu, Kafkaslar, Girit ve Kıbrıs'ta taş kaynaklarının yoğunluğu nedeniyle taş ile inşa edilmiş yapılar dikkati çekerken; Mezopotamya, İran, Orta Asya ve Mısır'da ise taşın sınırlı olmasından dolayı onun yerini tuğla almıştır. Bu bölgelerde taş sadece tuğladan yapılmış yapıyı sağlamlaştırmak için tercih edilmiştir. Tuğla yapımı ile ilgili en eski üretim bilgilerine antik

kaynaklardan Mısır fresklerinde ve yazılı malzemelerinde rastlanmaktadır (Resim 1.1 ve Resim 1.2) (Eroğlu 2017).



Resim 1.1 Mısır fresklerinden bir örnek

Çok eski dönemlerde tuğla ile yapılan eserlere birkaç örnek verecek olursak; günümüzden yaklaşık 5000 yıl öncesinde Erhanedanlar Dönemi'nde büyük tapınak, saray yapıları ve M.Ö. 2112-2095 kral Ur-Nammu'ya ait zigurattır (Resim1.2). Ayrıca milattan önce 6. yüzyılda yeni Babil Dönemi'nde sırlı tuğlalarla yapılmış İştâr kapısına ait panellerin bir kısmı ile erken döneme ait yazıtlı tuğla örnekleri İstanbul Şark Eserleri Müzesi'nde de sergilenmektedir (Resim 1.3) (Eroğlu 2017).



Resim 1.2 M.Ö. 2112-2095 Kral Ur-Nammu'ya ait zigurat



Resim 1.3 Yeni Babil Dönemi'nde (M.Ö. 6. yüzyıl) sırlı tuğlalarla yapılmış İhtar Kapısı

Pişmiş kilden üretilen tuğla ve kiremit ürünlerin bizim topraklarımızda artık gelişmiş bir ürün olarak yaygın kullanımı Bizanslılar döneminde olmuştur. Bunu takip eden süreçte Selçuklular gelişmeleri daha da ilerletmişlerdir. Selçuklu dönemi eserleri incelendiğinde tuğla ve taş işçiliğinin beraberliği kendini göstermektedir (Er 2013).

Anadolu'da kiremit ve tuğlaya ilk standartlar Osmanlı döneminde getiriliyor. Fatih Sultan Mehmet dönemi tuğlaları 4.5x28x28 cm ebatlarında, hatıllarda kullanılanlar ise daha ince imal ediliyordu. Taban tuğlaları ise 25x25 cm boyutlarında ve kare şeklinde veya çapları 30-60 cm arasında değişen altıgenler biçimindeydi. Kullanılan standartlar dışına çıkan tuğlalar inşaatlarda kullanılmaz hatta satışına dahi izin verilmezdi (Er 2013).

Tuğla boyutlarında ilk standart Romalılar tarafından geliştirilmiştir. Tuğla'da oluşan kalınlık sebebiyle kurumada olan problemler çözülmeye çalışılmış ve bu konuda ilk defa araştırmalar yapılmıştır (Tokgöz 2010).

1.3 Tuğla Üretim Prosesleri

Günümüzde tuğla fabrikalarında genel anlamda 3 tip üretim prosesi uygulanmaktadır. Bu aşamada bunlardan burada özetle bahsedilecektir. Her 3 tip üretim prosesinde de hammadde, hammadde hazırlama ve şekillendirme aşamaları benzerlik göstermektedir.

Farklılık ise kurutma ve pişirme aşamalarındadır. Birinci tip proses, pişirmenin tünel fırında ve kurutma işleminin suni kurutmada gerçekleştirildiği üretim modelidir. İkinci tip proseste pişirme işlemi Hoffmann tipi fırınlarda, kurutma aşaması ise yine suni kurutmalarda yapılan modeldir. Üçüncü ve son proses tipinde ise pişirme işlemi yine Hoffmann tipi fırınlarda yapılır ancak kurutma işlemi sehpalarda yada sundurmalarda, rüzgar ve güneş enerjisi yardımı ile doğal yollardan yapılmaktadır.

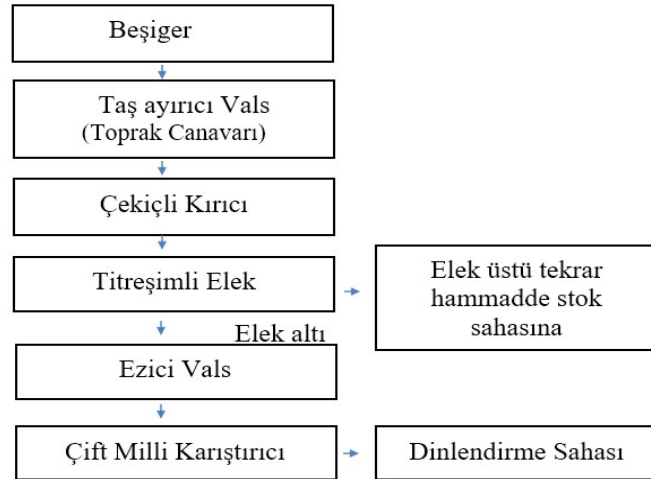
Yukarıda bahsi geçen farklı üretim modellerinin ortaya çıkaracağı sonuç, ürün kalite ve kapasitesini, işçilik ve enerji giderlerini doğrudan etkilemektedir. Hoffmann fırınlarda tünel fırınlara göre daha fazla yakıt ve işçilik giderleri ortaya çıkarırken, suni kurutmalı proseslerde de doğal kurutmaya nazaran üretim maliyeti daha yüksektir. Çünkü doğal kurutmalarda herhangi bir enerji sarfıyatı yaşanmamaktadır (Alan 2017).

Tuğla ve kiremit imalatında üretim aşamaları sırası ile; hammadde hazırlama, şekillendirme, kurutma, pişirme, ambalajlama ve sevkiyattır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020).

1.3.1 Hammaddenin Hazırlanması

Tuğla imalatında kullanılacak olan hammaddeler doğada her zaman kolay işlenebilir tane boyutu, sertlik ve nemlilikte bulunmazlar. Ufalanması zor taş veya kesekli topraklar aşağıda detayları verilmiş olan şekilde bir takım işlemlere tabi tutulurlar (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020).

Öncelikle farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki killeri, verilen reçete doğrultusunda dozajlanarak homojen bir karışım haline getirilir ve beşigerlere beslenir. Sırası ile kırma, eleme, ezme ve su ilavesi ile karıştırma işlemlerinden sonra kararlı bir hale gelmesi için dinlendirilir. Bu sürece “çürütme” adı verilir (Alan 2017). İpek Tuğla fabrikası hammadde hazırlama ünitesi iş akış şeması Şekil 1.1’ de, hammadde hazırlama ünitesi ise Resim 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.1 İpek Tuğla Fabrikası hammadde hazırlama iş akış şeması



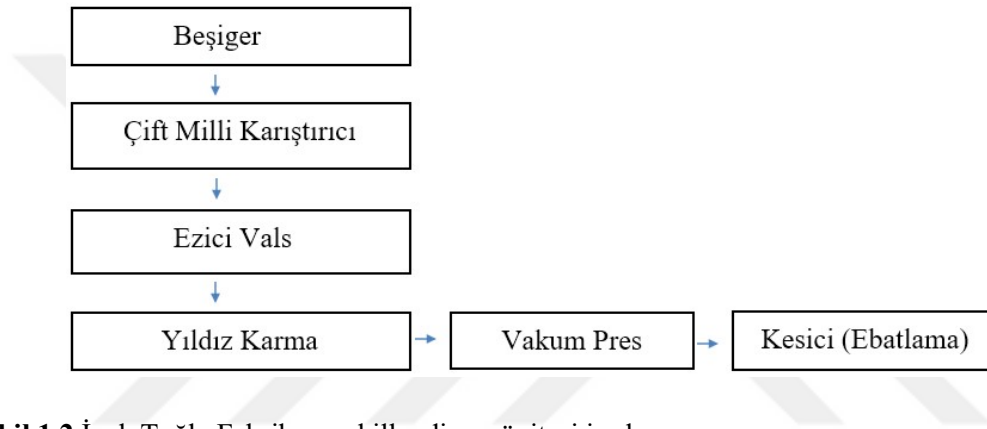
Resim 1.4 İpek Tuğla Fabrikası hammadde hazırlama ünitesi

1.3.2 Şekillendirme

Hammadde hazırlama prosesinden sonra şekillendirme için uygun hale getirilen karışım, üretilecek ürünün çeşidine göre uygun bir şekillendirme yöntemi kullanılarak şekillendirilirler (Alan 2017).

Kiremit üretiminde iki aşamalı bir şekillendirme söz konusudur. Önce kil karışımı vakumpresten geçirilerek galeta haline getirilir ve ebatlanır sonra bu malzeme hidrolik preslerde kiremit formunda preslenerek şekillendirilir. Tuğla üretiminde ise extrude

(vakumlama) yöntemi kullanılmaktadır. Hazırlanan kil karışımı önce Şekil 1.2’ de şematize edildiği üzere karıştırma ve ezme gibi bir takım ön işlemlerden geçirildikten sonra vakumprese ulaşır. Burada çamurun içindeki hava vakum pompası ile emilerek karışımın plastik hale gelmesi sağlanır. Vakumpresin üst kısmındaki vakum odasından aşağıya düşen plastik kıvamdaki kil hamuru sonsuz dönen helezon sistemi vasıtasıyla yürütülerek makinanın ağızına takılı olan kalıbın şeklini alarak vakumpresi terk eder. Bunu takiben ebatlama için ince tellerin bulunduğu kesicilerden geçen şekillendirilmiş çamur kurutma aşamasına gönderilir (Resim 1.5) (İnt. Kaynak 3).



Şekil 1.2 İpek Tuğla Fabrikası şekillendirme ünitesi iş akış şeması



Resim 1.5 İpek Tuğla Fabrikası şekillendirme ünitesi

1.3.3 Kurutma

Hammadde hazırlama prosesinden geçen ve dinlenmeye alınan kilin bünyesindeki su miktarı genellikle şekillendirme için yeterli miktarda olmamaktadır. Şekillendirme prosesi içerisinde de karışıma bir miktar su ilavesi yapılmaktadır. İşte kurutma işlemi hem hammadde hazırlama aşamasında hem de şekillendirme aşamasında karışıma ilave edilen suyun, şekillendirilmiş çamurun bünyesinden uzaklaştırılma işlemidir. Bu proses için sektörde genel anlamda doğal ve suni olmak üzere iki farklı kurutma yöntemi kullanılmaktadır (Alan 2017).

Doğal kurutma günümüzde yerini yavaş yavaş suni kurutmalara bıraksada yinede sıkça gördüğümüz bir kurutma yöntemidir. Şekillendirilen malzemeler insan gücü ile kurutma sehpaalarına yada sundurmalarda belirli bir yükseklikte birbirleri üzerine istiflenirler. Güneş enerjisi ve rüzgarın etkisi ile kurumaları beklenir. Bu yöntem ekonomiktir, kurutma için elektrik yada yakıt tüketen ek bir ısı kaynağına ihtiyaç yoktur. Dezavantajları ise, homojen ve kontrollü bir kurutma asla mümkün olmaz. Rüzgarın yönü ve şiddeti, hava sıcaklığı ve nem gibi etkenler malzemenin homojen ve kontrollü kurumasına müsaade etmezler. Ayrıca çok geniş alanlara ihtiyaç vardır, işçilik giderleri oldukça yüksektir (Alan 2017).

Suni kurutmada, şekillendirme ünitesinden çıkan ürünler, suni kurutmanın çeşidine göre, çok katlı raflardan oluşan sehpa sisteminde yada tek katlı raflara dizilerek tünel şeklindeki kurutma içerisinde ilerletilerek kuruma işlemi sağlanır. Burada ıslak malzemenin ilerleme yönü ile sıcak havanın istikameti birbirine terstir. Yani malzeme düşük sıcaklık yüksek nemli bir ortamdan, yüksek sıcaklık düşük nemli bir ortama doğru yavaş yavaş ilerleyerek sağlıklı bir şekilde kurur. Bu sistemlerde kurutma için gerekli olan sıcak hava kaynağı, pişirme işlemi için kullanılan fırınlardan sağlanmaktadır. Havaların soğuk olup fırından gelen sıcak havanın yetersiz kalması gibi durumlarda ekstra sıcak hava kaynakları devreye alınabilir (Alan 2017). Resim 1.6' da suni kurutmadan çıkan ürünlerin tünel fırına girecek vagonlara yüklenmesi işlemi görülmektedir.



Resim 1.6 İpek Tuğla Fabrikası suni kurutmadan çıkan ürünlerin vagonlara dizilmesi

1.3.4 Pişirme

Şekillendirilip kurutularak belirli bir forma ve sertliğe kavuşan kilin, nihai bir ürüne dönüşerek kendisinden beklenen fiziksel, kimyasal ve mekanik performansları yerine getirebilmesi için pişirilerek, seramik bir malzeme haline getirilmesi gerekmektedir. Pişirme esnasında kilin, 300 °C mertebesinde içerisindeki organik maddeler yanarak kaybolurlar. Kil kristal suyunu yaklaşık 450-650 °C’ de kaybeder. Kilin tamamen pişerek artık sert, su ile yumuşamayan, formunu kaybetmeyen, gözenekleri nispeten kapanmış, belirli bir mukavemete ve renge sahip hale dönüşmesi ise 850-950 °C mertebesinde gerçekleşmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020).

Pişirme aşaması kritik bir aşamadır. Birçok faz dönüşümleri meydana geldiği için her aşaması kontrollü bir şekilde takip edilmelidir. Çatlama ve deformasyon oluşumunu önlemek için fırın içi sıcaklığın ön ısıtma aşamasından itibaren kontrollü bir şekilde yükseltilmesi gerekir. Aşırı derecede bir pişirme olur ise, ergimeler meydana gelebilir, mor-siyah renkte ve eriyerek birbirine yapışmış malzemeler ile karşılaşabiliriz. Bu durumda malzemenin su emme değeri düşeceği için uygulama esnasında harç ve sıva ile bağ yapma sorunu yaşanabilir. Tam tersi az piştiğinde ise yeterli mekanik dayanıma sahip olamayacak, seramik bir bünye oluşmayıp halen topraksı bir yapıda olduğu için çok fazla su emecek ve hatta dağılmalar yaşanacaktır. Anlatılan her iki durumda da ortaya çıkan hatalar bir yapı malzemesinde görülmesi istenmeyen kusurlardır. İdeal bir

pişirme neticesinde ise, bir yapı malzemesinden beklenen fiziksel ve mekanik gereksinimleri yerine getirecek derecede sağlam, uzun ömürlü bir ürün elde etmek mümkündür (Alan 2017).

Pişirme işlemi için en yaygın kullanılan fırınlar Hoffmann ve tünel fırın modelleridir. Hoffmann ve tünel fırın sistemleri aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020).

Tünel Fırınlar: Bu tip fırınların çalışma prensibi fırın içerisinde ateş belirli bir bölgede sabit, malzeme vagonlara istiflenmiş raylar üzerinde hareket etmektedir. Tesis kapasitesine göre farklı uzunluklarda olan bu tünel fırınların içerisi ön ısıtma, pişirme ve soğutma olmak üzere 3 farklı ısı bölgesinden oluşmaktadır. Dolayısı ile vagonlar üzerinde fırına beslenen malzeme sırası ile bu bölgelerden geçerek seramik bir yapıya kavuşur. Bu fırınlarda yakıt olarak genellikle kömür, son zamanlarda emisyon oranlarını düşürmek adına özellikle yurt dışında doğalgaz ve nadirde olsa sıvı yakıtlar tercih edilmektedir. Yukarıda bahsi geçen suni kurutma sistemlerinde sıcak hava kaynağı olarak tünel fırınların soğutma bölgelerindeki ısı kullanılır. Hem böylelikle ürünler soğuyarak fırın sistemini terk etmiş olur hem de suni kurutmanın ihtiyacı olan sıcak hava karşılanmış olur. Günümüzde tünel fırın sistemleri modern bir yapıda olduğu için pişirme prosesinin bütün adımları kontrol altında tutulabilmektedir. Bunun neticesinde de enerji, yakıt ve işçilik tasarrufu sağlanan bu sistemlerde son derece kaliteli, hatasız yakın ürünler üretilebilmektedir. İlk yatırım ve bakım onarım maliyetleri Hoffmann fırınlara göre yüksektir ve tünel fırınlarda fırın rejimini çok sık değiştirmemek gerekir (Alan 2017).

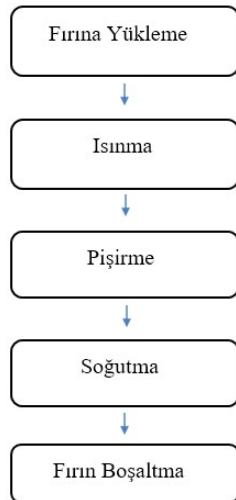
Hoffmann Fırınlar: Bu tip fırınların çalışma prensibi ise malzeme fırın kamaraları içerisinde sabit, ateş ise fırının üzerinde seyyar sobalar sayesinde hareketlidir. Hoffmann fırınlarda pişirilecek malzeme insan gücü ile bitişik nizamda fırın kamaralarına yerleştirilir. Kamara sayıları tesisin kapasitesine göre farklılık gösterebilir. O gün ki pişirilecek tuğlalar fırına beslendikten sonra en son kamaradaki tuğla istifinin üzerinden kağıt çekilerek, dolu kamara ile boş kamara birbirinden ayrılır. Çekilen bu kağıtların görevi, fırın içerisindeki hava akımını yöneterek ateşe yön

verebilmektedir. Ayrıca damper adı verilen fırın üzerindeki ayar mekanizmaları ile de fırın içerisindeki hava akımının şiddeti ayarlanmaktadır. Ateşin ilerlemesi ile beraber kağıtlar yanmaktadır. Dolumu yapılan kamaraların kapıları önce tuğla ile örülerek ardından sacdan yapılmış kapılar ile hava almayacak şekilde sıkı sıkıya kapatılır. Hoffmann tipi fırınlarda sürekli bir döngü söz konusudur. Boş kamaralar doldurulur, kağıt çekilir, kapılar kapatılır ve ateş bu kamaraların üzerinden geçerek malzemeyi pişirir. Ertesi günler aynı işlemler sürekli tekrarlanır. Bu fırınlarda yakıt olarak genellikle kömür, nadirde olsa doğalgaz kullanılıyor. Enerji ve yakıt tüketimi ile işçilik giderleri tünel fırınlara göre fazladır, bakım onarım giderleri ise tünel fırınlara kıyasla çok daha ekonomiktir (Alan 2017).

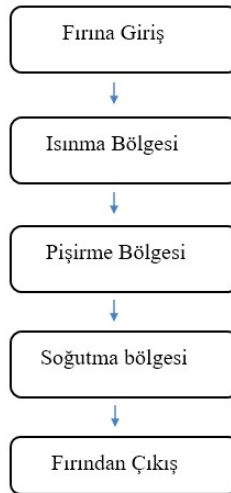


Resim 1.7 İpek Tuğla Fabrikası Hoffman fırını

Hoffman Tipi Fırın



Tünel Tipi Fırın



Şekil 1.3 Fırın bölümü iş akış şeması

1.3.5 Ambalajlama ve Sevkiyat

Pişme prosesi tamamlanan tuğlalar fırın tipine göre bazen mekanizasyon bazen de insan gücü ile fırınlardan boşaltılırlar. Direkt nakliyei geręekleřtiren araçlara yüklenebileceği gibi ambalajlama ünitesi olan tesislerde buralara taşınarak ambalajlanır ve stok alanında istiflenir. Sevkiyatları buralardan geręekleřtirilir. (Resin 1.8) (Çimen 2019).



Resim 1.8 Nihai ürünlerin araçlara yüklenmesi

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kil

Genel anlamda kil; su ile muamele gördüğünde plastiklik özelliği gösteren, kurutulduğunda sertleşen ve verilen şekli bozulmayan, ince taneli, doğal bir malzeme olarak tanımlanır. Bir terim olarak ise kil; sedimanter kayaçların ya da toprakların doğa şartları ve asitli ortamların etkisiyle çözünüp bozunmaları sonucunda oluşmuş malzemelerdir (Kuş 2012). Yeryüzünde bulunan en yaygın malzemelerden biridir. Yer kabuğunun çeşitli katmanlarında, okyanus ve göl diplerinde, nehir deltalarında ve hatta çöllerde bile bulunabilmektedir (Berkgil 2019).

Kil mühendislik biliminde; su ile muamele gördüğünde plastik özellik gösteren, şekil verilebilen ve kuruduğu zaman sertleşen, mukavemet kazanan, bu şeklini koruyabilen, kuru formu tekrar ıslatıldığı takdirde tekrar plastik özellik kazanan, pişirildiği vakit yoğunlaşan, gözenekleri nispeten kapanan ve bir pişme rengi alan, mikron boyutunda ince taneli bir malzeme olarak tanımlanabilir (Keskin 2020).

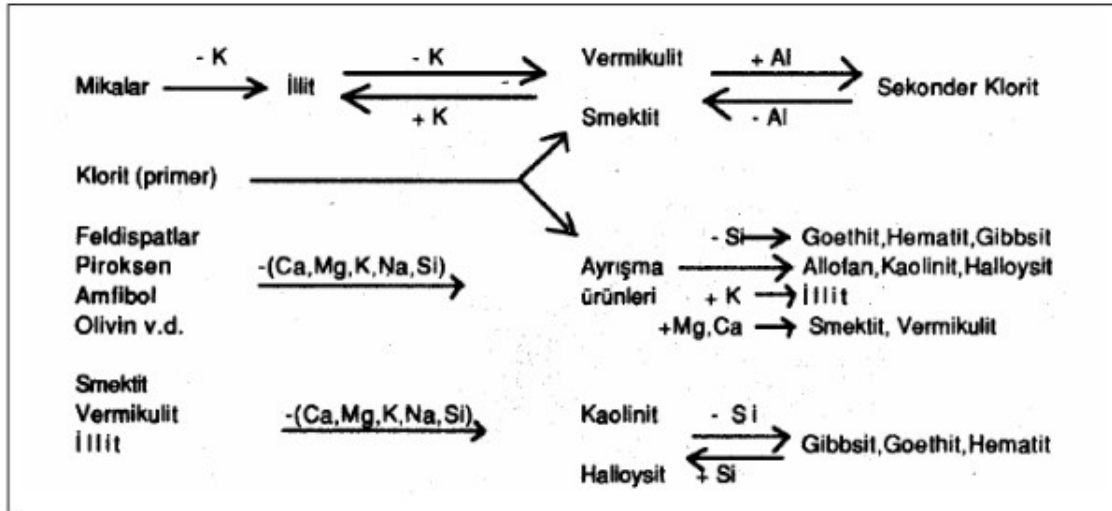
Doğada kil mineralleri genel itibariyle birkaç kil mineralinin birleşmesi ile oluşmuşlardır. Nadirde olsa bazı killeri tek bir kil mineralinden oluşmuş halde bulunabilir. Kil minerallerinin kimyasal bileşimi silika, alümina ve sudan meydana gelmiştir. Kimyasal formüldeki alüminanın yerine demir ve magnezyum bileşiklerinin girdiği kompozisyonlarda mevcuttur. Buradan da anlaşıldığı üzere kil minerallerinin yapısını alkali elementlerin oluşturduğu mineraller oluşturmaktadır. Bozunma, sürüklenme ve çökelme gibi seneryoların kil minerallerinin oluşumunda ön planda olduğu düşünüldüğünde, kil olmayan malzemelerin, organik maddelerin ve çeşitli tuzların killerin yapılarında bulunuyor olmaları son derece normaldir (Akıncı 2015).

Killerin genel özellikleri; su ile muamele edildikleri zaman plastik özellik göstererek istenilen şeklin verilebilmesi, sularını kaybedip kuruduklarında rijitleşir, boyutsal küçülmeler gerçekleşir, fakat tekrar ıslatıldıklarında yine plastik kıvama gelirler,

pişirildiklerinde artık sert, sağlam, belirli bir pişme rengine sahip bir yapıdadırlar ve ıslatılsalar dahi artık plastik özellik göstermezler (Berkgil 2019)

2.1.1 Kilin Oluşumu

Magmatik kayaçların, çok uzun süreçler içerisinde meteorolojik hadiseler olarak ifade edilebilecek su, rüzgar, sıcaklık farklılıkları, yer kabuğu hareketleri, asidik ortamlara maruz kalma gibi etkenlerle aşınıp, bozunup bir yerlerden başka bir yerlere taşınmaları ve bu taşınma esnasında da çeşitli safsızlıkları, kil olmayan malzemeleri, organik maddeleri ve çeşitli tuzları bünyelerine almaları sonucu mikron boyutunda ince tanelere sahip killer oluşmuşlardır. Bu taşınma işleniminin çok uzak yerlere olmadığı müddetçe karışacak safsızlıkların oranı azalacağından saf yada safa yakın temizlikte kil oluşumları gözlenebilmektedir. Bunlara örnek olarak kaolinler verilebilir (Levent 2012).



Şekil 2.1 Kil minerallerinin oluşumu ve değişimi

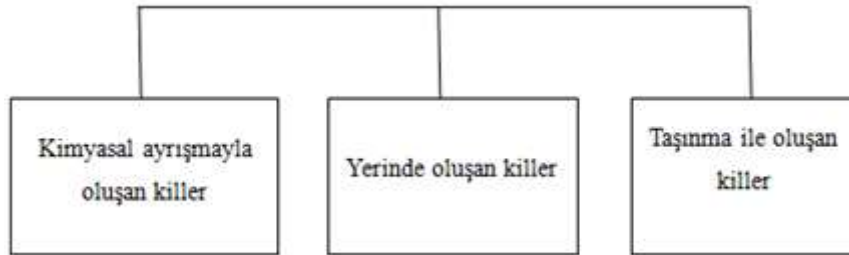
Kil minerallerinin oluşabilmesi için ana kayaçlardan bozunarak, ufalanarak sürüklenen ve bu sürüklenme esnasında öğünerek çok ince taneli bir hale dönüşen malzemenin uygun bir yerde çökerek birikmesi gerekmektedir. Ortam şartlarında asidik, alçak basınçta ve durgun bir ortam olması kil kalitesini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca söz konusu ortamda hakim olan alkali metal çeşitliliği oluşacak kil minerali türünü belirlemektedir (Poyraz 2019).

Yüksek kaliteli killerin genellikle kömür havzalarının bulunduğu yerlerde yatakladığı bilinmektedir. Bunun nenedenide, böyle ortamlarda çokça bulunan humus asitli suların feldspat kayaçlarını bozarak bu kayaçların kaolinleşmesini sağlamalarıdır. Ayrıca bu asitler kilin ergime sıcaklığını aşağı çeken bileşikler ile renkli oksitleri ortamdan uzaklaştırdığı için bu oluşumdaki killerin kalitesi daha yüksek olmaktadır (Poyraz 2019).

2.1.2 Killerin Sınıflandırması

Kil minerallerini genel anlamda jeolojik durumlarına göre, kimyasal bileşenlerine göre ve endüstriyel kullanım alanlarına göre olmak üzere 3 grupta sınıflandırabiliriz (Levent 2012). Kil yapısında bulunan minerallerdeki minerolojik çeşitlilik, mukavemet, plastiklik, şişme ve hidrolik iletkenlik gibi mekanik özelliklerinde farklılaşmasını sağlamaktadır (Yüksel 2007).

Üç grupta sınıflandırdığımız kil minerallerinin biraz daha ayrıntılı olarak ifade edilmiş şekilleri aşağıda verilmiştir.

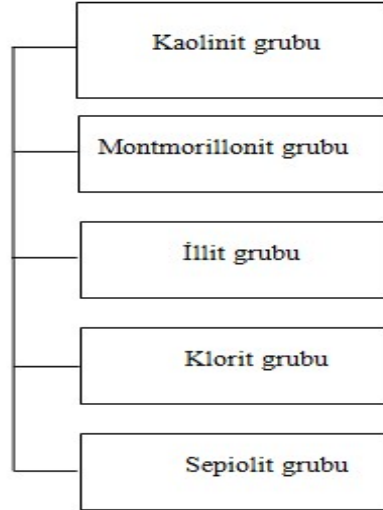


Şekil 2.2 Killerin jeolojik oluşumlara göre sınıflandırılması

Kimyasal ayrışma sonucu oluşan, diğer bir ifade ile kalıntı killeri, özellikle dolomit ve kireçtaşlarının doğada bozunarak taşınımları esnasında kil ihtiva eden malzemeler ile karışıp, uygun bir yerde çökerek birikmeleri sonucu oluşmuşlardır. Yerinde oluşan killer ise, özellikle pegmatit, granit ve siyenit gibi volkanik kökenli kayaçların yüzeylerindeki feldspatların aşınmasıyla bu kayaçlar üzerinde oluşan killerdir. Taşınma

sonucu oluşan killere literatürde aliterasyon ile oluşan killerde denilmektedir. Organik kökenli tuffit ve küllerin bozunarak, rüzgar, sel gibi doğa olayları sonucu taşınması ve çökelmeleri ile oluşurlar (Levent 2012).

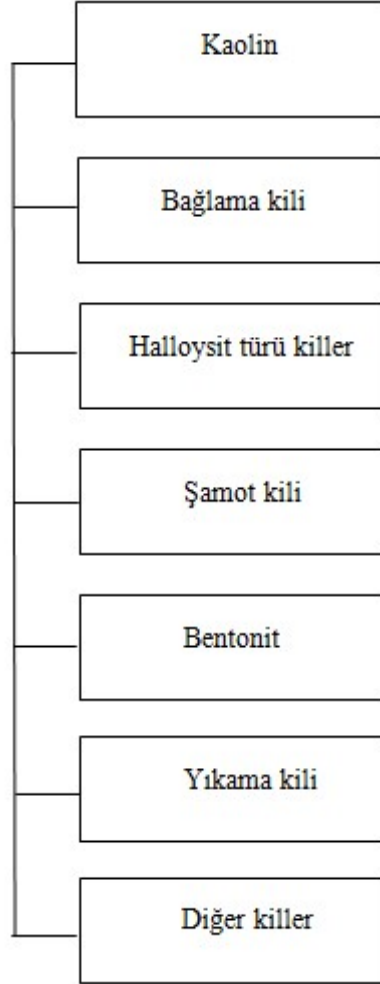
2.1.2.2 Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırma



Şekil 2.3 Killerin kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılması

Kaolinit grubu killeri ince levhalar halinde ve hegzogonal yapıda kristallenmiştir. Feldspat kayaların asit etkisiyle ayrışma ve alterasyonu ile oluşurlar. Kuru küçülmesi ve plastikliği azdır. Saf kaolinitin ergime derecesi 1750 °C’ dir. Montmorillonit grubu killeri üç tabakalı killeri sınıfında olup alkali ve toprak alkali tuzlardan oluşurlar. Tabakaların arasına su moleküllerinin girmesiyle şişerler ve bu suların uzaklaşması ile de oldukça büzülürler. Bundan dolayı hacimsel değişimleri çok fazladır. Çok farklı renklerde doğada bulunabilirler. İllit grubu killerde aynen montmorillonitte olduğu gibi üç tabakalı kil sınıfındadırlar. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından kaolinit ve montmorillonit arasında konumlanabilir demek yanlış olmaz. Klorit grubu killeri atom dizilişleri üç tabakalı bir yapıya sahiptir ve illit grubu killeri ile benzerlik gösterirler. Tortul kökenli, sulu bir magnezyum silikat olan sepiolit kil minerali, magnezyumca zengin volkanik tuf ve kristallerin bozunmasından meydana gelir (Levent 2012).

2.1.2.3 Endüstride Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırma



Şekil 2.4 Killerin endüstriyel kullanım alanlarına göre sınıflandırılması

Kaolinler endüstriyel anlamda en yaygın olarak kağıt, plastik, tekstil ve seramik sanayisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. İçeriğindeki kil olmayan bileşikler ve safsızlıklar kullanım alanlarını çeşitlendirmektedir. Bununla birlikte ilaç, kozmetik, deri ve yağ sektörlerinde tercih edilmektedirler (Erkan 2002).

Bağlama killeri de kaolinler ile aynı segmentte değerlendirilebilir. Aralarındaki fark oluşum aşamasında bağlama killerinin ana kayaktan bozunup daha uzak yerlere sürüklenip çökelmiş olmasıdır. Bu uzun yolculuktan dolayı yapıları kaolinden daha ince ve içerdikleri safsızlıklar daha fazladır. Özellikle daha fazla karbonat içerirler.

Kaolinlerden daha plastik özellik gösterirler. Seramik sanayisinde, emaye, asbest ve abresiv üretiminde tercih edilmektedirler (Erkan 2002).

Halloysit türü killerde tıpkı bağlama killeri gibi kaolinler ile benzer yapıdadırlar. Birbirlerinden ayırmak gözle mümkün değildir ancak bir takım testler uygulanarak ayırım yapılabilir. Kaolinler ile aralarındaki fark, halloysitlerin oluşum evresinde daha fazla hidrasyona maruz kalmış olmasıdır. Halloysitlerde, seramik, porselen, döküm, petrol ve yağ sanayilerinde sistemde katalizör olarak görev almaktadırlar (Erkan 2002).

Şamot yani başka bir adı ile ateş killeri doğada genellikle empürite içeriği düşük, saflık derecesi yüksek bir şekilde yataklanmış olarak bulunurlar. Çoğunlukla kömür madeni sahalarının üst katmanlarında bulunurlar. Seramik, refrakter, çimento ve kimya sektörlerinde kullanımları söz konusudur. Plastiklik derecesinin az olması yüksek alimüna içeriği sebebiyle özellikle refrakter sanayisinde tercih edilmektedirler (Erkan 2002).

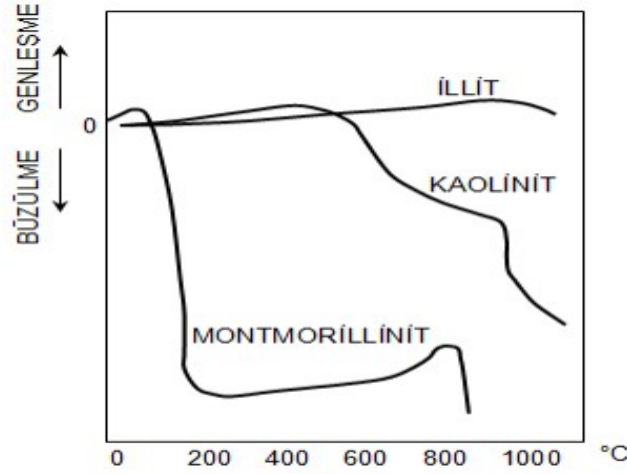
Bentonit türü killer 3 tabakalı olmaları ve bu tabakalar arasına fazla miktarda su aldıkları için kuruma proseslerinde fazla hacimsel değişiklik kaynaklı çatlama, deformasyon, kuruma zorluğu gibi olumsuzluklardan ötürü seramik sektöründe çok fazla tercih edilmemektedirler (Erkan 2002).

Yıkama killeri montmorillonit grubu killerdendir. Volkanik kökenli oluşumlardır. Bentonit özelliklerini taşırlar. Çoğu kez bentonit alt grubu olarak tanımlanırlar. Yağ absorbe özellikleri çok yüksek olduğu için absorbans ve yağ rafinasyonunda, ilaç, sondaj ve dolgu sanayisinde kullanılmaktadırlar (Erkan 2002).

Adi killer yüzeyde bulunurlar ve tuğla imali ile çimento imalinde kullanılırlar. Şistler ise genellikle yakın jeolojik evrelerde oluşmuşlardır. Bunların en çok kullanıldığı alanlar ise tuğla imalatı ve çimento sanayisidir (Erkan 2002).

2.1.3 Tuğla Üretiminde Kullanılan Killerde Aranan Özellikler

Tuğla ve kiremit üretimi için en uygun kil mineralleri, su ile muamele gördüklerinde çok fazla şişmeyen, kurutulduklarında hacimsel değişimleri sınırlı olan kaolinit ve illit tir. Montmorillonit ve bentonit gibi üç tabakalı killer yukarıda belirtilen kriterlerden ötürü fazla tercih edilmezler (Şekil 2.2). (Yalçınkaya 2023)



Şekil 2.5 Killerin tipik dilatometrik eğrileri

Tuğla üretiminde kullanılacak killerin kimyasal bileşimleri ne kadar önemli ise nihai üründen beklenen performans değerlerinin karşılanabilmesi için bu killerin mekanik ve fiziksel özelliklerindeki dikkate alınması gerekmektedir. Bu bölümde tuğla üretiminde kullanılacak killerde aranan mekanik ve fiziksel özelliklere değinilmiştir (Levent 2012).

2.1.3.1 Plastiklik

Kil hamuruna şekil verilebilmesi ve bir forma sokulabilmesi, kurutulduktan sonra da bu formunu koruyabilmesi için gerekli en önemli özelliktir. Killerin plastiklik gösterebilmesi için su ile muamele görmesi gerekmektedir. Bunun dışında hiçbir sıvı bu özelliğin ortaya çıkmasını sağlamaz (Levent 2012).

2.1.3.2 Plastiklik seviyesi

Plastiklik derecesi, plastiklik endeksi ile belirlenir ve kilin plastik duruma geldiği (ele yapışma sınırı) anda ki bünyesindeki en düşük su miktarı olarak tarif edilebilir. Plastikliği fazla olan killerin bünyelerinde ele yapışma sınırında, plastikliği düşük olan killere nazaran daha fazla su vardır. Başka bir ifade ile plastikliği yüksek killeri şekillendirme için uygun kıvama gelebilmek için daha fazla suya ihtiyaç duyarlar. Plastikliği düşük killerde bu oran %20' ler de iken, yüksek plastik özelliği gösteren killerde oran %26-27 mertebesinde (Levent 2012).

2.1.3.3 Hacimsel değişimler (Rötre)

Plastik özellik gösteren killeri, su ile yoğurulup şekillendirildikten sonra, kuruma ve pişirme aşamalarında hacimsel küçülmelere mağruz kalarak, boyutsal değişimlere uğrarlar. Bu olaya kilin rötre yapması denir (Levent 2012).

Tuğla ve kiremit üretiminde bu hacimsel değişimlerin çok büyük olmaması arzu edilir. Aksi takdirde ebat kontrolü güçleşecek, çatlama, deformasyonlar ve buna bağlı olarak kırılmalar yaşanacaktır. Bu küçülme değerlerinin miktarı kullanılan killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri kadar, uygulanan şekillendirme yöntemi ile de doğrudan alakalıdır. Ne kadar yüksek basınç altında bir şekillendirme yapılır ise küçülme oranları bununla orantılı bir şekilde azalacaktır (Levent 2012).

2.1.3.4 Kilin çekme dayanımı

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan killerde çekme dayanımı aranan bir parametre değildir. Öncelikle basınç dayanımı yada eğilme dayanımı aranan kriterlerdir. Şekillendirildikten sonra kurutulan malzemenin fırına girmeden önce maruz kalabileceği çarpma, vurma ve sarsıntılarda deforme olmayacak kadar bir kuru mukavemete sahip olması arzu edilir (Levent 2012).

2.1.3.5 Kilin ergime özelliği

Tuğla ve kiremit üretiminde tercih edilen killer sinterleme aşamasında bir miktar ergimeye başlayarak, faz değişimleri ile beraber kimyasal ve kristal yapıları değişmeli, artık sert, sağlam, su ile muamele gördüğünde yumuşamayan, gözenekliliği azalmış bir yapıya kavuşmalıdır. Pişerek nihai ürün vasfı kazanan tuğlaların bir miktar su emme özelliği ve gerekli basınç dayanımı değerlerine sahip olması istenir (Levent 2012).

2.1.3.6 Pişme rengi

Renk özellikle tuğla üretiminde bir kalite kriteri olmasa da pazarlama aşamasında psikolojik bir etkidir. Kırmızı ve kırmızıya yakın renk tonları her zaman daha çok tercih edilir ama bu vasıfları taşımayan ürünlerinde kendilerinden beklenen mekanik performansları gösterdikleri görülmektedir. Ama renk cephe ve taban kaplamalarında kullanılan tuğlalarda önemli bir özelliktir (Levent 2012).

İçeriğinde fazla miktarda kalker bulunan killerden üretilen tuğlalarda pişirme sonrasında sarımtırak bir renk oluşur. Tuğla ve kiremite kırmızı rengini limonit ve hematit gibi demir bileşikler vermektedir. Fazla miktarda demir, demir sülfat ve karbonatlar pişme sırasında tuğla yüzeyinde çiçeklenme, çatlama ve kopmalara neden olmaktadır (Berkgil 2019).

Killer doğada saf halde bulunamadıklarından dolayı tuğla imalatına elverişli olup olamayacakları içerdikleri safsızlıkların miktarına ve cinsine bağlıdır. Tuğla ve kiremit üretiminde tercih edilecek killerde bulunabilecek yararlı ve zararlı maddelere (safsızlıklar) aşağıda kısaca değinilmiştir (Levent 2012).

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılacak killerin bünyelerinde mutlaka bir miktar kumun, farklı tane boyutlarında bulunması muhtemeldir. Yüksek plastiklik özelliğine sahip, dolayısı ile küçülme değerleri yüksek, ebat standartında problem yaratabilecek, çatlama, kırılma ve deformasyonlara sebebiyet verebilecek killerin bu plastiklik özelliğini dengelemek için dışarıdan da kum, pişmiş atıklar, uçucu kül, öğütülmüş curuf

gibi maddelerin eklenmesi yaygın kullanılan bir yöntemdir. Kum ve sayılan diğer malzemeler kilin yapısında olması gerekenden fazla olur ise plastiklik bu sefer çok düşer ve şekillendirmede problemler yaşanmaya başlanır, yaş, kuru ve pişmiş mukavemet değerleri gereksinimleri karşılayamaz duruma gelir (Levent 2012).

Pişmiş ürüne rengini veren ana malzeme demirdir. Genellikle kilin yapısında demir oksit (Fe_2O_3) ve hidratları şekilde bulunurlar. Demirin tuğla ve kiremit imalatında pişirme sonucu malzemeyi setleştirerek sağlamlaştırdığı ve su emme değerini düşürdüğü bilinmektedir. Demir sülfat ve karbonatların oranı fazla ise pişirme sonucunda çeşitli deformasyonlara neden olabilir (Levent 2012).

Tuğla ve kiremit hammaddelerinde iri tane boyutlu kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri en büyük düşmandır. Maalesef ki yaygın olarak killerin içeriğinde bulunurlar. Hammadde hazırlama ünitelerinde iyice ufalanarak tane boyutu düşürülen bu kalker ve kalsiyum bileşikleri bu halleri ile fazla zararlı olamazlar. Ancak çok ince taneli olsalar bile miktarları fazla ise pişmiş ürünlerde sarıya çalan bir renk oluşumuna ve şekil bozukluklarına sebebiyet verirler. İri tane boyutuna sahip kalsiyum tuzları havanın nemi ve sıcaklığın etkisi ile reaksiyona girerek, kalsiyum hidroksit şekine dönüşüp genleşmeye başlarlar ve ürün yüzeyinde telafisi mümkün olmayan deformasyonlara neden olurlar (Levent 2012).

Killerin doğada farklı farklı renklerde oluşu, içerdikleri organik madde ve safsızlıklardan kaynaklanmaktadır. Pişme sırasında bu organik maddeler 400 °C mertebelerinde tamamen yanarak bünyeden uzaklaşırlar ve geride külleri ile beraber boşluklu bir yapı bırakırlar. Bu durum hem tuğlanın görünümü hem de mekanik özellikleri bakımından sıkıntı yaşatabilir. Bu nedenle organik madde içeriğini tuğla ve kiremit killlerinde düşük olması tercih sebebidir (Levent 2012).

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan killerde bulunan suda çözünür haldeki tuzlar genellikle sülfat ve klorür esaslı tuzlardır. Bu tuzların yapıda yüksek miktarda bulunması durumunda görsel ve ürünün fiziksel performansında problemler ortaya çıkmaya başlayacaktır. Bu tuzlar ürün yüzeyinde çiçeklenme, pullanma ve dökülmelere neden

olacak, ilerleyen safhalarda mukavemet düşüklüğüne sebebiyet verecektir (Levent 2012).

2.2 Şist

Şist orta dereceden bir tür başkalaşım kayacıdır (Bazen tortul kayaç olarak da adlandırılabilir). Şist kelimesi Yunanca bir sözcük olan $\sigma\chi\acute{\iota}\varsigma\tau\iota\varsigma$ (şizin)'den gelmektedir. Kelimenin anlamı "bölmek"tir. Şist'in anlamının Yunanca "bölmek" olmasının sebebi büyük olasılıkla, şistin alüminyum levhalar halinde kolayca ayrılabilir yapıda olmasından kaynaklanıyordur. Şistler genellikle orta veya büyük, düz, tabaka benzeri tanelere sahiptir (İnt. Kaynak 4).

Şistteki mineral taneleri, ısı ve basınç uygulandığında pul pul ölçeklere ayrılarak çıplak gözle görülebilir (Resim 2.1). Ayrıca kayaçlar sıcaklık ve basınç etkisi altında metamorfizmaya uğraması sonucu yapraklanmalı kayaçlara dönüşür. Çoğu şistler, arduvaz üretimini içeren bir dizi metamorfik süreçten geçen killeri ve çamurlardan türetilir. İşte bu yapraklanmalı kayaçlara şist adı verilir (İnt. Kaynak 4).



Resim 2.1 Isı ve basınç uygulanmış pul pul ölçeklere ayrılmış şist kayacı.

Şist kelimesi sedimanter bir kayaç için kullanılan bir ad değil de metamorfik kayaçların %80'ini ifade eden genel bir isimdir. Şist terimi kayaçların içindeki baskın minerallerle beraber kullanılarak asıl kayacın adını oluşturur. Örneğin, biyotit ve muskovitten oluşan

şistlere "mikaşist" denir. Çoğu şist; mikaşisttir, ancak grafit ve klorit şistler de yaygındır. Şistler, garnet şist, turmalin şist ve glokofan şistte olduğu gibi, belirgin veya olağandışı mineral bileşenleri için de adlandırılır. Bazı şistler ise renklerine göre adlandırılır. Yeşil bir madde olan serpentinit açısından zengin şist, yeşil şist adını alır (İnt. Kaynak 4).

Şistler, genellikle hafif sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında oluşan başkalaşmış kayalardır, kimyasal bileşimleri çok farklı olabilir, çünkü temel özellikleri tektonik niteliklidir. Bununla birlikte, bütün kayalar yapraklanma gelişmesine duyarlı değildir. Killer gibi yumuşak kayalar, şiste en kolay dönüşebilen kayalardır; kumtaşları gibi sert kayalar bu dönüşüme pek boyun eğmez. Şistler, genellikle, killerin ve marnların başkalaşmasıyla oluşurlar; kumtaşlarının ve kireçtaşlarının şiste dönüşmesineyse daha ender olarak rastlanır (İnt. Kaynak 5).

2.2.1 Şistin Kullanım Alanları

Şistler ısıya ve suya karşı dayanıklı olmalarından ötürü bu gereksinimleri performans edinen birçok sektörde kullanılmaktadırlar. Çimento sektöründe bu kilaşlarını sıklıkla kullanmaktadır. Ayrıca seramik hammaddesi, tuğla ve kiremit hammaddesi, refrakter hammaddesi, yalıtım ve dolgu malzemesi olarak sanayide kullanımı söz konusudur (İnt. Kaynak 6)

Boya sanayisinde de şistler yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyanın uygulama yapılacak yüzey ile daha sağlam bir bağ yapması için, ısıya mukavemet gösterip bozunmayan boyaların imalatında şistler kullanılmaktadır (İnt. Kaynak 6)

Elektrikli ısıtıcıların bir parçası olan camdan imal edilmiş ürünlerin içerisinde de mikaşist malzemesi bulunmaktadır. Laboratuvarlarımızda kimyasal ürünleri muhafaza etmek için kullandığımız cam ürünlerin imalatında da şistler kimyasallara karşı olan dirençlerinden ötürü tercih edilirler. Aynı şekilde ısıya dayanıklı olması sebebiyle mutfaklarımızda kullandığımız cam araç gereçlerde de şistler kullanım alanı bulurlar (İnt. Kaynak 6).

Petrolün çıkartılması ve daha sonra rafine edilmesi işlemlerinde şist kullanımına, prosesi hızlandırdığı ve üretim aşamasında kolaylıklar sağladığı büyük ilgi vardır (İnt. Kaynak 6).

Hafif malzemelerin içerisinde basınç mukavemeti en yüksek olanı, genleştirilmiş kilden üretilen hafif yapı malzemesidir. Bazı kil, killi şist ve şeyllerin sinterleşme süreci hızlı olur ve 1100-1300°C derecelere kadar ısıtıldığında genleşip hacim artışına uğrarlar. Genleştirilmiş killer yapay bir madde olup, doğada genleşmiş halde bulunmazlar. Doğada bulunan her kil genleşmez. Genleşen kil üretmek için kullanılan hammaddeler erken sinterleşen kil, kumlu kil, killi şist, şeyl ve şifertondur (Küçük 2022).

Petrol şistinın büyük kaynakları birçok ülkede bulunmaktadır, örneğin ABD, Fas, Brezilya, Rusya ve Ürdün. Bu kaynakların yakın gelecekte özellikle Ürdün’de alternatif bir yakıt kaynağı olması bekleniyor (Nafeth 2018).

Estonya, dünyanın en büyük şeyl yağı üreticisi ve tüketicisi olarak kabul edilir. Çin’de günlük olarak yaklaşık 5.000 ton şeyl yağı üretilir. Şeyl yağı elde etmek için retortlama yoluyla yağlı şeyl işlenmesi veya elektrik enerjisi üretmek için doğrudan yanma sonucunda büyük miktarlarda yüksek kalsiyumlu yağlı şeyl külü atığının üretilmesi beklenmektedir (Nafeth 2018).

Son zamanlarda, Estonya firması EestiEnergia liderliğindeki bir konsorsiyum ile akışkan yataklı kazan teknolojisini kullanarak 470 (2x235) MW kurulu güce sahip doğrudan yanmalı petrol şist yataklı bir elektrik santrali inşa etmek için bir anlaşma imzalandı. Bu elektrik santrali önümüzdeki 2-3 yıl içinde Ürdün’de Amman’ın yaklaşık 100 km güneydoğusundaki Attarat bölgesinde inşa edilecektir (Nafeth 2018).

Demir cevheri atıkları ve kömür gang tozu, çevresel uyum talebinin artmasıyla bertarafı ciddi ve acil hale gelen endüstriyel katı atıkların ana kaynaklarıdır. Mevcut çalışma, öncelikle büyük miktardaki demir cevheri atıkları ve kömür gang tozu ile başa çıkmak için, hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajları göz önünde bulundurarak, bunları bağlayıcı olarak kanalizasyon çamuru ve şeyl ile sinterlenmiş tuğlalar haline getirerek makul bir yol önermiştir (Liqun 2020).

Çin hükümeti sinterlenmiş tuğla üretmek için kil kullanımını yasaklayan bir yasa çıkardı. Bu nedenle birçok makalede araştırmacılar, kil yerine ana malzeme olarak şeyl'i ve katkı malzemesi olarakta petrol kuyularından elde edilen sondaj atıklarının kullanımını araştırmışlardır (Xiang-Guo 2011).



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kil 1

Afyonkarahisar ili Işıklar Kasabası mevkiinden çıkartılan, bu çalışmada ‘Kil 1’ olarak adlandırılan hammaddenin içeriğinde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ’ten oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Hammaddenin çıkarıldığı sahanın ve hammaddenin resimleri de aşağıda görülmektedir (Resim 3.1 ve Resim 3.2).

Çizelge 3.1 Kil 1’ in kimyasal bileşimi.

KİL 1	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	LOI	TOPLAM
%	52,3	20,3	6,79	5,48	3,41	2,22	1,18	0,781	6,90	99,36



Resim 3.1 Kil 1 sahası



Resim 3.2 Kil 1 hammaddesi

3.1.2 Kil 2

Afyonkarahisar ili Çobanlar ilçesi mevkiinden çıkartılan, bu çalışmada ‘Kil 2’ olarak adlandırılan hammaddenin içeriğinde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ’ten oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Hammaddenin çıkarıldığı sahanın ve hammaddenin resimleri de aşağıda görülmektedir (Resim 3.3 ve Resim 3.4).

Çizelge 3.2 Kil 2’ nin kimyasal bileşimi.

KİL 2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	LOI	TOPLAM
%	48,3	20,7	6,88	4,80	6,02	1,85	1,04	0,818	9,06	99,47



Resim 3.3 Kil 2 sahası



Resim 3.4 Kil 2 hammaddesi

3.1.3 Kil 3

Afyonkarahisar ili merkezinden temin edilen, bu çalışmada ‘Kil 3’ olarak adlandırılan hammaddenin içeriğinde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 ve CaO ’ dan oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.3). Hammaddenin çıkarıldığı sahanın ve hammaddenin resimleri de aşağıda görülmektedir (Resim 3.5 ve Resim 3.6).

Çizelge 3.3 Kil 3’ ün kimyasal bileşimi.

KİL 3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	LOI	TOPLAM
%	41,8	14,9	5,21	3,63	13,6	1,66	0,701	0,601	15,7	97,80



Resim 3.5 Kil 3 sahası



Resim 3.6 Kil 3 hammaddesi

3.1.4 Kil 4

Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesi mevkiinden çıkartılan, bu çalışmada ‘Kil 4’ olarak adlandırılan hammaddenin içeriğinde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO ’ dan oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.4). Hammaddenin çıkarıldığı sahanın ve hammaddenin resimleri de aşağıda görülmektedir (Resim 3.7 ve Resim 3.8).

Çizelge 3.4 Kil 4’ ün kimyasal bileşimi.

KİL 4	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	LOI	TOPLAM
%	52,9	19,2	6,22	3,47	6,36	1,31	1,05	0,782	8,17	99,36



Resim 3.7 Kil 4 Sahası



Resim 3.8 Kil 4 hammaddesi

3.1.5 Şist

Afyonkarahisar ili mevkiinden çıkartılan, bu çalışmada ‘Şist’ olarak adlandırılan hammaddenin içeriğinde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ’den oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.5). Hammaddenin çıkarıldığı sahanın ve hammaddenin resimleri de aşağıda görülmektedir (Resim 3.9 ve Resim 3.10).

Çizelge 3.5 Şist’ in kimyasal bileşimi

ŞİST	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	LOI	TOPLAM
%	62,28	18,04	6,99	3,31	0,54	1,59	1,18	1,17	4,33	99,43



Resim 3.9 Şist sahası



Resim 3.10 Şist hammaddesi

Kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşimleri toplu halde çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Hammadelerin kimyasal bileşimlerinin toplu gösterimi

MALZEME	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	LOI	TOPLAM
KİL 1	52,30	20,30	6,79	5,48	3,41	2,22	1,18	0,781	6,90	99,36
KİL 2	48,30	20,70	6,88	4,80	6,02	1,85	1,04	0,818	9,06	99,47
KİL 3	41,80	14,90	5,21	3,63	13,60	1,66	0,701	0,601	15,70	97,80
KİL 4	52,90	19,20	6,22	3,47	6,36	1,31	1,05	0,782	8,17	99,46
ŞİST	62,28	18,04	6,99	3,31	0,54	1,59	1,18	1,17	4,33	99,36

3.2 Metod

Bu bölümde deney numunelerinin üretilmesi ve numunelere uygulanan analizler bulunmaktadır.

3.2.1 Deney Numunelerinin Üretilmesi

Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinde faaliyet gösteren İpek Tuğla fabrikasının kullanmakta olduğu reçeteye iki farklı tane boyutunda olmak üzere, her tane boyutundan %10, %15 ve %20 oranlarında şist eklenerek, iki seri reçete oluşturulmuştur (Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8).

Bununla birlikte referans deney numuneleri olması açısından katkısız İpek Tuğla reçetesinden deney numuneleri üretilmiştir (Çizelge 3.9). Ayrıca %80 İpek Tuğla reçetesi, %10 2 mm altı şist ve %10 1 mm altı şist kullanılarak üçüncü bir seri reçete oluşturulmuş ve buradan üretilen deney numuneleri incelenmiştir (Çizelge 3.10).

Bütün numuneler hidrolik el presinde şekillendirildikten sonra önce bir süre oda sıcaklığında kurumaya bırakıldıktan sonra etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve İpek Tuğla firmasının pişirme sıcaklığı olan 860 °C’ de 5 saat sinterlenmiştir. Pişirilen numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır.

Çizelge 3.7 2 mm altı şist katkılı reçeteler (1. Seri)

T2		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	90	450
Şist (-2 mm)	10	50

T3		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	85	425
Şist (-2 mm)	15	75

T4		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	80	400
Şist (-2 mm)	20	100

Çizelge 3.8 1 mm altı şist katkılı reçeteler (2.Seri)

T5		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	90	450
Şist (-1 mm)	10	50

T6		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	85	425
Şist (-1 mm)	15	75

T7		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	80	400
Şist (-1 mm)	20	100

Çizelge 3.9 Referans Reçete

R		
Hammadde	Oran (%)	Miktar (gr)
Kil 1	25	1000
Kil 2	25	1000
Kil 3	25	1000
Kil 4	25	1000

Çizelge 3.10 2 mm altı ve 1 mm altı şistin beraber kullanıldığı reçete (3. Seri)

Hammadde	T1	
	Oran (%)	Miktar (gr)
Referans Reçete	80	400
Şist (-2 mm)	10	50
Şist (-1 mm)	10	50

Bu reçeteleri oluşturmak için laboratuara getirilen kil çeşitleri ve şistler etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Killer zaten mikronize oldukları için sadece içerdikleri nemden kaynaklı oluşan keseklenmeler bir çekiç yardımı ile ezilmiş ve 1 mm altına elenmişlerdir (Resim 3.11). Şistler ise yine çekiç yardımı ile kırılarak bu çalışmaya konu olan 2 mm ve 1 mm altı tane boyutuna titreşimli elek seti yardımı ile düşürülmüşlerdir (Resim 3.12, Resim 3.13 ve Resim 3.14).



Resim 3.11 1 mm altına elenmiş kil numuneleri



Resim 3.12 2 mm altına elenmiş şist numuneleri



Resim 3.13 1 mm altı elenmiş şist numuneleri



Resim 3.14 Titreşimli Elek Seti

Bütün hammadde çeşitleri planlanan tane boyutlarına indirildikten sonra, hazırlanan reçetelere göre tartılıp homojen bir karışım haline gelene kadar karıştırılmışlardır (Resim 3.15).



Resim 3.15 Reçeteye göre tartılıp, karıştırılmayı bekleyen hammaddeler

Her bir reçetedeki hammadde karışımına su ilave edilerek elle yoğurulmuş ve istenilen plastik kıvama geldikten sonra iki gün dinlendirilmek üzere, nemini kaybetmemesi için kapalı bir şekilde numune poşetleri içinde bekletilmişlerdir (Resim 3.16).



Resim 3.16 Yoğurularak plastik kıvama getirildikten sonra dinlenmeye alınan amur

İki gün dinlendirilen malzemeler, 0,2 gr hassasiyetindeki terazide 40-45 gr aralığında parçalara ayrılarak, hidrolik el presi yardımı ile 50 mm çapında, 30 bar basınç uygulanarak şekillendirilmişlerdir (Resim 3.17).



Resim 3.17 Hidrolik el pres ile şekillendirme

Şekillendirilen deney numunelerine, bundan sonra ki aşamalarda izlenebilirliklerinin sağlanabilmesi için birer kod verilmiş ve bu kodlar numuneler üzerine kazınmıştır. Daha sonra deney numunelerinin yine aynı terazide yağ ağırlıkları ölçülüp kayıt altına alınmış ve küçülme testleri için 40 mm'e ayarlanmış dijital kumpas ile numune yüzeylerine ölçüm noktaları işaretlenmiştir (Resim 3.18).



Resim 3.18 Küçülme testleri için numuneler üzerine ölçüm noktalarının işaretlenmesi

Bu aşamadan sonra deney numuneleri bir gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra ikinci gün etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuşlardır. Kuru ağırlıkları ve kuru ölçüleri alındıktan sonra sinterleme aşaması için fırın içerisine yerleştirilmişlerdir (Resim 3.19). Pişirme sıcaklığı 860 °C' de 5 saat olarak planlanmıştır.



Resim 3.19 Deney numunelerinin pişirilme aşaması

Sinterlenen deney numunelerinin pişmiş ağırlıkları ve pişmiş ölçüleri alındıktan sonra bir gün süre ile tamamen su içerisinde kalacak şekilde bir kabın içerisine yerleştirilmişlerdir (Resim 3.20).



Resim 3.20 Deney numunelerinin su içerisinde bekletilmesi

Bir gün sonunda sudan çıkarılan numunelerinin üstündeki serbest sular alındıktan sonra su emmiş ağırlıkları alınıp kaydedilmiş ve arşimet prensibine uygun şekilde su içerisinde ki ağırlıkları da ölçülmüştür (Resim 3.21).



Resim 3.21 Su içerisinde tartım alınması

Basınç mukavemeti testi için, bu aşamaya kadar hazırlanışı anlatılan 50 mm çapındaki numuneler geometrik şekilleri nedeni ile uygun değiller. Bu nedenle aynı reçeteler ile

silindirik numuneler şekillendirilmiştir. Şekillendirme aşamasında plastik kıvama gelene kadar elle yoğurulan çamur, 2 gün dinlendirilmiş ve özel bir düzenek ile şekillendirilmiştir (Resim 3.22). Şekillendirilen numuneler 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra, etüvde 105 °C’ de sabit ağırlığa gelene kadar kurutuldu ve ardından 860 °C’de 5 saat pişirildiler (Resim 3.23).



Resim 3.22 Basınç mukavemeti testi için numunu hazırlama



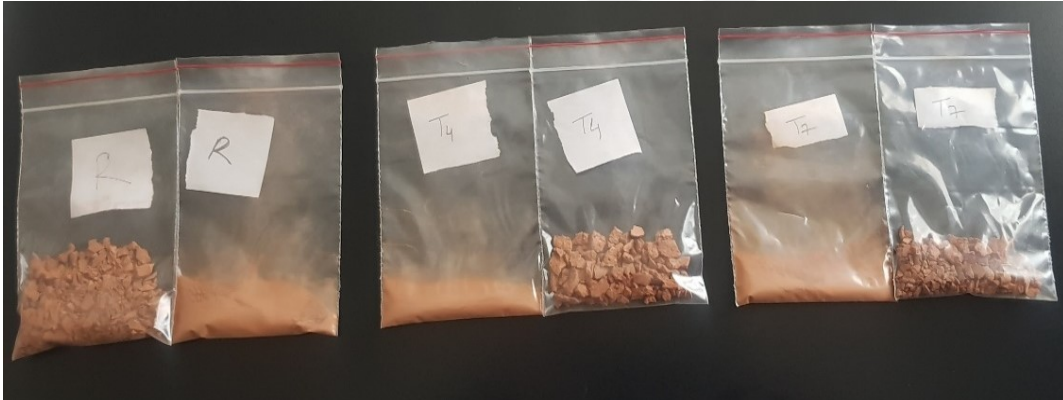
Resim 3.23 Basınç mukavemeti test numunelerinin pişirilmesi

Pişirilen numunelerin, Baz Makine markalı 120 tonluk basınç mukavemeti test cihazında, sabit yükleme hızında kırım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırılma anı Resim 3.24’te gösterilmiştir.



Resim 3.24 Numunelerin basınç mukavemeti test cihazında kırılma anları

Ayrıca, X ışınları kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri için en uygun sonuçları veren T4 ve T7 reçeteleri ile referans reçeteden (R) üretilen nihai ürünlerden numuneler hazırlanmıştır (Resim 3.25). Bu numuneler, XRD analizleri için 100 mikron altı toz ve SEM analizi için de kırıntı boyutlarındadır.



Resim 3.25 XRD ve SEM analizleri için hazırlanan numuneler

Minerolojik analiz kapsamında X ışınları kırınımı (XRD) analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM laboratuvarında, bakır (Cu) ve molibden (Mo) X ışını tüplerine sahip, Bruker marka, D8 Advance model bir cihaz kullanılmıştır (Resim 3.26). Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleride yine aynı laboratuvarında, tungsten filament ile çalışan, LEO 1430 VP model cihaz ile yapılmıştır (Resim 3.27).



Resim 3.26 Bruker marka D8 Advance model X ışınları kırınımı cihazı



Resim 3.27 LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu cihazı

3.2.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Her bir deney için her reçeteden 6 adet deney numunesi kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Deney numuneleri pişirildikten sonra fırından alınır alınmaz tartıldı ve sonuçlar kaydedildi (W1). 24 saat boyunca su içerisinde tutularak suya doymun hale getirilen deney numuneleri sudan çıkarılıp yüzeylerinde ki serbest sular alındıktan sonra tartımları yapıldı (W3). Suyu doymun haldeki numunelerin sudaki asılı ağırlıkları tartılıp kaydedildi (W2). Bu veriler

kullanılarak numunelere ait su emme, porozite ve birim hacim ağırlık gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Numuneler şekillendirildikten hemen sonra yüzeylerine dijital kumpas ile işaretlenen 40 mm uzunluğundaki ölçüm noktaları, küçülme testlerinde ‘ilk uzunluk’ olarak ifade edilecek ölçüm değerimizdir. Numuneler kurutulup sabit ağırlığa geldikten sonra bu ölçüm noktalarından alınan değerler ‘kuru uzunluk’ olarak ifade edilecektir. Aynı şekilde pişirilen numuneler üzerinden ölçülen değerlerde hesaplamalarda ‘pişmiş uzunluk’ olarak adlandırılacaktır.

Plastiklik suyu testi için de; şekillendirilen numunelerin yaş ağırlıkları tartılıp kaydedilmiş (W_Y), değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuş deney numunelerinin ağırlıkları da kuru ağırlık (W_K) olarak kaydedilmiştir.

3.2.2.1 Su Emme

Numunelerin ağırlıkça emmiş olduğu su yüzdesi eşitlik (3.1)’ de ifade edildiği şekilde hesaplanır.

$$S_E = [(W_3 - W_1) / W_1] \times 100 \quad (3.1)$$

SE: Su emme yüzdesi

W_1 : Numunenin pişmiş kuru ağırlığı

W_3 : Numunelerin suya doymuş ağırlığı

3.2.2.2 Porozite

Malzemedeki boşluk oranına porozite adı verilir ve aşağıdaki (3.2) formülü ile hesaplanır.

$$P = [(W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)] \times 100 \quad (3.2)$$

P : Görünür porozite yüzdesi

W_1 : Numunenin pişmiş kuru ağırlığı

W₂ : Numunelerin su içindeki asılı ağırlığı

W₃ : Numunelerin suya doygun ağırlığı

3.2.2.3 Birim Hacim Ağırlık

Malzemenin birim hacim ağırlık değeri (3.3) formülü ile hesaplanır.

$$BHA = W_1 / (W_3 - W_2) \quad (3.3)$$

BHA : Birim hacim ağırlık

W₁ : Numunenin pişmiş kuru ağırlığı

W₂ : Numunelerin su içindeki asılı ağırlığı

W₃ : Numunelerin suya doygun ağırlığı

3.2.2.4 Ateş Zaiyatı

Numunelere ait ateş zaiyatı değeri (3.4) formülü ile hesaplanır.

$$AZ = [(W_k - W_1) / W_k] \times 100 \quad (3.4)$$

AZ : Ateş zaiyatı yüzdesi

W₁ : Numunenin pişmiş kuru ağırlığı

W_k : Şekillendirilen numunelerin kuru ağırlığı

3.2.2.5 Plastiklik Suyu

Numunelere ait plastiklik suyu değerleri (3.5) formülü ile hesaplanır.

$$PS = [(W_Y - W_K) / W_Y] \times 100 \quad (3.5)$$

PS : Plastiklik suyu yüzdesi

W_Y : Şekillendirilen numunelerin yaş ağırlığı

W_K : Şekillendirilen numunelerin kuru ağırlığı

3.2.2.6 Kuru Küçülme

Numunelere ait kuru küçülme değerleri (3.6) formülü ile hesaplanır.

$$KK = [(L_Y - L_K) / L_Y] \times 100 \quad (3.6)$$

KK : Kuru küçülme yüzdesi

L_Y : Yaş numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri

L_K : Kuru numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri

3.2.2.7 Pişme Küçülmesi

Numunelere ait pişme küçülmesi değerleri (3.7) formülü ile hesaplanır.

$$PK = [(L_K - L_P) / L_K] \times 100 \quad (3.7)$$

PK : Pişme küçülme yüzdesi

L_K : Kuru numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri

L_P : Pişmiş numuneden alınan uzunluk ölçüm değeri

3.2.2.8 Basınç Mukavemeti Testi

Numunelere ait basınç mukavemeti değerleri (3.8) formülü ile hesaplanır.

$$B_M = (P_K / A_0) \times 1000 \quad (3.8)$$

B_M : Basınç Mukavemeti (N/mm²)

P_K : Kırılma anındaki yük (KN)

A₀ : Kuvvet uygulanan yüzeyin alanı (mm²)

4. BULGULAR

Deney numunelerine ait fiziksel ve mekanik özellikler bu bölümde yer almaktadır.

4.1 Fiziksel Özellikler

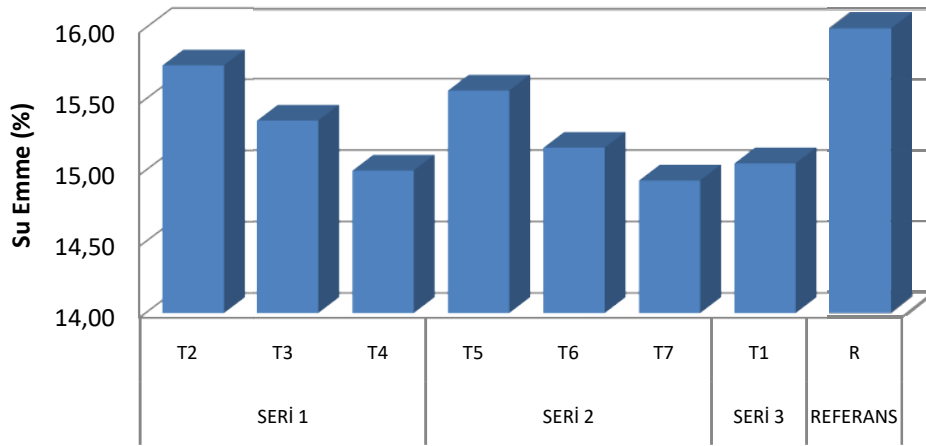
Deney numunelerine ait fiziksel özellikler bu bölümde verilmiştir.

4.1.1 Su Emme Değerleri

Bu çalışmada pişirme sıcaklığı, her üç seri ve bu serilerdeki farklı reçetelerde aynı olduğu için su emme değerleri ve diğer fiziksel özellikler yorumlanırken pişirme sıcaklığının etkisi üzerinde durulmamıştır. Şist katkısız referans deney numunelerinin su emme değeri %16 mertebesindedir. Farklı oranlarda şist ilavesi ile su emme değerlerinde bir düşüş görülmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç; şist ilavesinin su emme değerini düşürdüğü gerçeğidir ve bu belirli sınırlar çerçevesinde kalmak şartı ile arzu edilen bir fiziksel değişimdir. Öyle ki; su emme değerindeki bu düşüşü pişirme sıcaklığını arttırmadan, bir başka deyişle maliyeti yükseltmeden yapabilmiş olmakta ayrı bir avantajdır. Su emme değerlerindeki bu düşüşün ana nedeni; şist ilavesi ile reçetelerde oranı azalan, özellikle kil 3 ile beraber kil 2 ve kil 4 gibi yüksek ateş zaiyatına sahip hammaddeler olduğu düşünülebilir. Yorumlanması gereken ikinci husus ise şist tane boyutunun etkisidir. 1. seride 2 mm altı şistler üç farklı reçetede sırası ile %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılmıştır. Bu seride su emme değerleri %15,00 - %15,74 aralığında ölçülmüştür. Artan şist oranı ile birlikte bu seride su emme oranının düştüğü görülmüştür. 2. seride de 1 mm altı şistler yine üç farklı reçetede sırası ile %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılmıştır. Burada da artan şist oranı ile birlikte su emme değerlerinde azalma görülmüştür. Değerler %14,93 - %15,56 aralığındadır. 3. seri deney numunelerinde de 2 mm altı şist %10, 1 mm altı şistte yine %10 oranlarında karışımda mevcuttur. Bu durumda da 1. seri ve 2. serinin %20 şist katkılı reçetelerinde ölçülen su emme değerlerine yakın bir değer elde edilmiştir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1).

Çizelge 4.1 Su emme değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri			2. Seri			3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Su Emme (%)	15,74	15,35	15,00	15,56	15,16	14,93	15,05	16,00



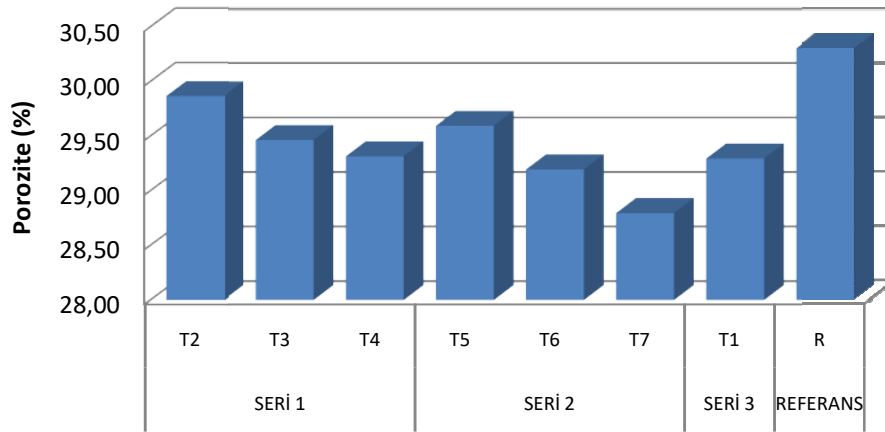
Şekil 4.1 Su emme grafiği

4.1.2 Porozite Değerleri

Porozite ile su emme, birbiri ile bağlantılı ve verileri birbirleri ile doğru orantılı iki fiziksel kavramdır. Bu bağlamda aynen su emme verilerinde olduğu gibi porozite testlerinde de benzer sonuçlar görülmüştür. Şöyle ki; şist katkısız referans numunelerin porozite değeri ortalama %30,31 olarak hesaplanmıştır. Karışıma artan oranlardaki şist katkısı ile beraber deney numunelerinin porozite değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. 1. seriyi oluşturan deney numunelerinde artan şist oranı ile birlikte azda olsa porozite değerlerinde düşme olduğu ölçülmüştür. %10 şist katkısında %29,87, %15 şist katkısında % 29,47 ve %20 şist katkısında da %29,32 porozite değerleri elde edilmiştir. 2. seriyi oluşturan deney numunelerinde de benzer bir durum mevcuttur. %10 şist katkısında %29,60 , %15 şist katkısında %29,20 ve %20 şist katkısında da % 28,80 porozite değerleri elde edilmiştir. 3. seri deney numunelerinde de %29,30 oranında bir porozite değeri ölçülmüştür (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2).

Çizelge 4.2 Porozite değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri			2. Seri			3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Porozite (%)	29,87	29,47	29,32	29,60	29,20	28,80	29,30	30,31



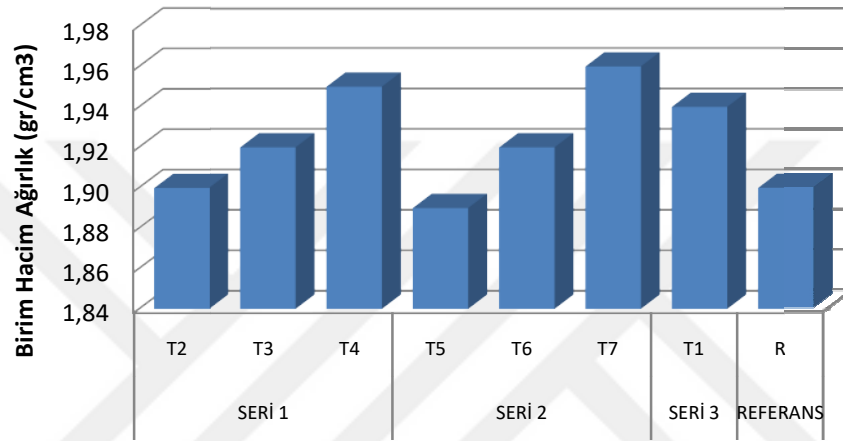
Şekil 4.2 Porozite grafiği

4.1.3 Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Birim hacim ağırlık değerleride, porozite ve su emme ile ilişkili olup, bu iki fiziksel özellik ile ters orantılı olarak çalışır. Genel anlamda porozite ve su emme değerleri düştükçe, malzemenin bünyesi daha yoğun bir hal aldığı için yoğunluk değerlerinde bir artış gözlemlenmektedir. Bu çalışmada da artan oranlarda ki şist katkısı ile beraber yoğunluk değerlerinde de bir miktar artış ölçülmüştür. 1. seriyi oluşturan deney numunelerinde yoğunluk değeri $1,89 - 1,97 \text{ gr/cm}^3$ aralığında, 2. seriyi oluşturan deney numunelerinde yoğunluk değeri $1,90 - 1,95 \text{ gr/cm}^3$ aralığında ve 3. seride bu değer $1,98 \text{ gr/cm}^3$ olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3).

Çizelge 4.3 Birim hacim ağırlık değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri				2. Seri		3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
BHA (gr/cm ³)	1,90	1,92	1,95	1,89	1,92	1,96	1,94	1,90



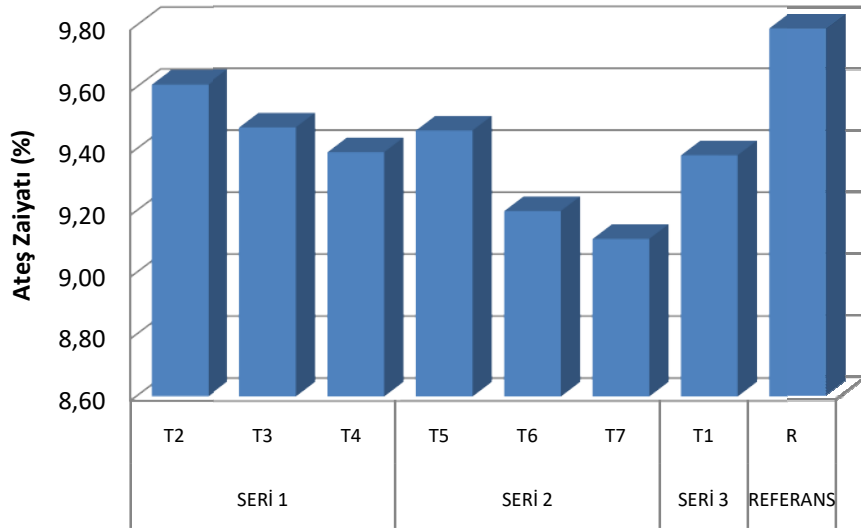
Şekil 4.3 Birim hacim ağırlık grafiği

4.1.4 Ateş Zaiyatı Değerleri

Ateş zaiyatı, bünyedeki organik maddelerin yanması (400-550 °C) ve kilin bünyesindeki kimyasal suyun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Şistin ateş zaiyatı değeri reçetelerdeki diğer bütün kil çeşitlerinden daha düşük olduğu için bu çalışmamızda artan şist oranları ile birlikte ateş zaiyatı değerlerinde bir azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4).

Çizelge 4.4 Ateş zaiyatı değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri				2. Seri		3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
A.Z (%)	9,61	9,47	9,39	9,46	9,20	9,11	9,38	9,79



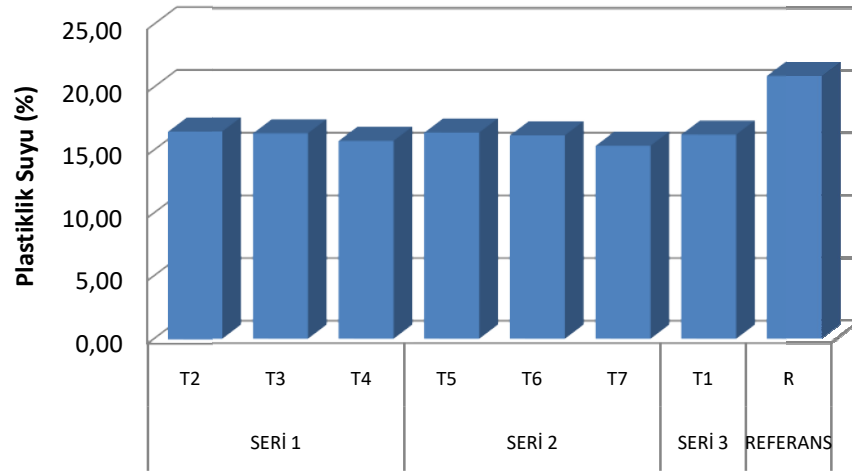
Şekil 4.4 Ateş zaiyatı grafiği

4.1.5 Plastiklik Suyu Değerleri

Killerin bağlayıcılık özelliği arttıkça plastiklik suyu değeride artmaktadır. Bir başka deyişle; bağlayıcılığı yüksek olan killeri şekillendirme için ideal plastik kıvama getirmek için kullanılan su miktarı, bağlayıcılık oranı düşük killerde aynı plastik kıvama getirmek için daha az olmaktadır. Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan şistin bağlayıcılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle reçetelerde artan şist oranı ile birlikte plastiklik suyu değerinin düştüğü görülmüştür. İlave edilen şistin tane boyutu bağlamında plastiklik suyu incelendiğinde ise, 2. seriyi oluşturan 1 mm altı şist katkılı deney numunelerinin plastiklik suyu değerleri (%16,46-%15,41) aralığında iken, 1. seriye göre (%16,55-%15,80) biraz daha düşüktür. Şist katkısı olmayan referans deney numuneleri de ise plastiklik suyu değeri %20,98 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5).

Çizelge 4.5 Plastiklik suyu değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri				2. Seri		3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
P.S. (%)	16,55	16,40	15,80	16,46	16,24	15,41	16,30	20,98



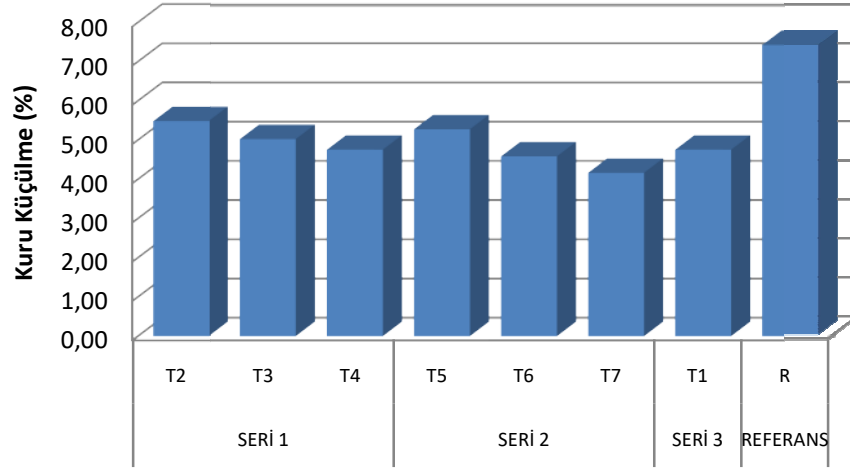
Şekil 4.5 Plastiklik suyu grafiği

4.1.6 Kuru Küçülme Değerleri

Kuru küçülme değerleride, kullanılan killerin bağlayıcılık oranları ile doğru orantılıdır. Yüksek bağlayıcılık özelliğine sahip killere şekillendirilen malzemelerin kuru küçülme değerleri yüksek, bağlayıcılık özelliği fazla olmayan killere şekillendirilen malzemelerin kuru küçülme değerleri ise daha küçük olmaktadır. Bu çalışmamızda da bağlayıcılık özelliği kötü olan şist katkısı artıkcı kuru küçülme değerlerinde düşüş olduğu hesaplanmıştır. Şist katkısız referans deney numunelerinin kuru küçülme değerleri %7,43 olarak hesaplanmıştır. 1. seri deney numunelerinin kuru küçülme değerleri ise %5,49-%4,76 arasında değişmekte iken, 2. seri deney numunelerinde bu oran %5,28-%4,17 mertebesine düşmüştür. 3. seri deney numunelerinde ise bu oran %4,76 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6).

Çizelge 4.6 Kuru küçülme değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri			2. Seri			3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Kuru Küçülme (%)	5,49	5,03	4,76	5,28	4,59	4,17	4,76	7,43



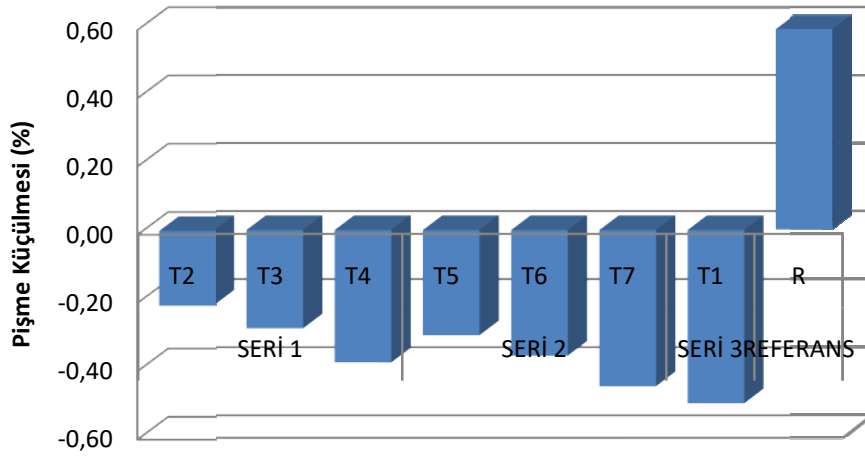
Şekil 4.6 Kuru küçülme grafiği

4.1.7 Pişme Küçülmesi Değerleri

Çalışmamızda şist katkısız referans deney numunelerinin pişme küçülmesi değerlerinin aritmetik ortalaması %0,59 olarak elde edilmiştir. Artan oranlardaki şist katkıları ile beraber numunelerde küçülme yerine bir miktar büyüme olduğu görülmüştür. 1. seri deney numunelerinde pişme küçülmesi oranları %-0,22 ile %-0,39 aralığında hesaplanmış iken 2. seri deney numunelerinde bu değerler %-0,31 ile %-0,46 aralığındadır. 3. seri deney numunelerinde pişme küçülmesi ise %-0,51 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7).

Çizelge 4.7 Pişme küçülmesi değerleri

Fiziksel Özellikler	1. Seri			2. Seri			3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Pişme Küçülmesi (%)	-0,22	-0,29	-0,39	-0,31	-0,37	-0,46	-0,51	0,59



Şekil 4.7 Pişme küçülmesi grafiği

Fiziksel özellikler ile ilgili veriler toplu bir şekilde çizelge 4.8’ de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Fiziksel özellikler karşılaştırma tablosu

FİZİKSEL ÖZELLİK	1. Seri			2. Seri			3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Su Emme (%)	15,74	15,35	15,00	15,56	15,16	14,93	15,05	16,00
Porozite (%)	29,87	29,47	29,32	29,60	29,20	28,80	29,30	30,31
Birim Hacim (gr/cm ³)	1,90	1,92	1,95	1,89	1,92	1,96	1,94	1,90
Ateş Zaiyatı (%)	9,61	9,47	9,39	9,46	9,20	9,11	9,38	9,79
Plastiklik Suyu (%)	16,55	16,40	15,80	16,46	16,24	15,41	16,30	20,98
Kuru Küçülme (%)	5,49	5,03	4,76	5,28	4,59	4,17	4,76	7,43
Pişme Küçülmesi (%)	-0,22	-0,29	-0,39	-0,31	-0,37	-0,46	-0,51	0,59

4.2 Mekanik Özellikler

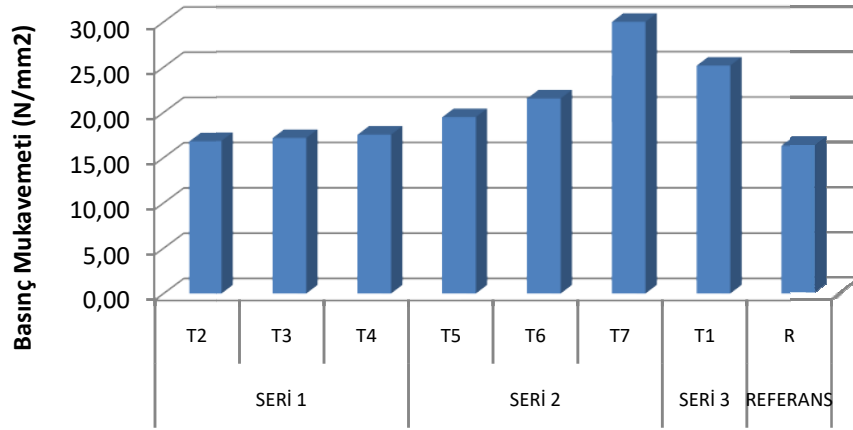
Deney numunelerine ait mekanik özellikler bu bölümde verilmiştir.

4.2.1 Basınç Mukavemeti Değerleri

Basınç mukavemeti değerlerinde sabit sıcaklıkta çalışıldığı için sinterlemenin bir etkisi söz konusu değildir. Basınç mukavemetini etkileyen parametreler, şist katkı oranı ve şistlerin tane boyut dağılımıdır. Bu bağlamda sonuçlar bize göstermiştir ki; aynı tane boyut dağılımına sahip şist katılı numunelerde, şist oranı arttıkça basınç mukavemetinde de artış gözlenmiştir. Gerek su emme testlerinde şist oranı arttıkça çıkan küçük değerler, gerekse aynı perspektifte porozite değerleri analiz edildiğinde oluşan daha az boşluklu yapılar neticesinde, basınç mukavemeti değerlerindeki bu artışlar öngörülmekteydi. Ayrıca SEM görüntüleri analiz edildiğinde artan şist oranı ile birlikte gözlemlenen daha küçük ve daha homjen boşluklarda basınç mukavemeti değerlerindeki artışın habercisiydi. 1. seri, yani 2 mm altı şist katılı numunelerde artan şist oranı ile beraber 16,86 - 17,19 - 17,55 N/mm² basınç dayanımı elde edilmiştir. 2. seri, yani 1 mm altı şist katılı numunelerde artan şist oranı ile beraber 19,49 – 21,54 – 29,99 N/mm² basınç dayanımı elde edilmiştir. 2 mm altı ve 1 mm altı şist katısının beraber formülüle edildiği reçeteye ait numunelerde ise 25,17 N/mm² basınç dayanımı bulunmuştur. Referans numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 16,33 N/mm² olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8).

Çizelge 4.9 Basınç mukavemeti değerleri

Mekanik Özellikler	1. Seri				2. Seri		3. Seri	Referans
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	R
Basınç Mukavemeti (N/mm ²)	16,86	17,19	17,55	19,49	21,54	29,99	25,17	16,33



Şekil 4.8 Basınç mukavemeti grafiği

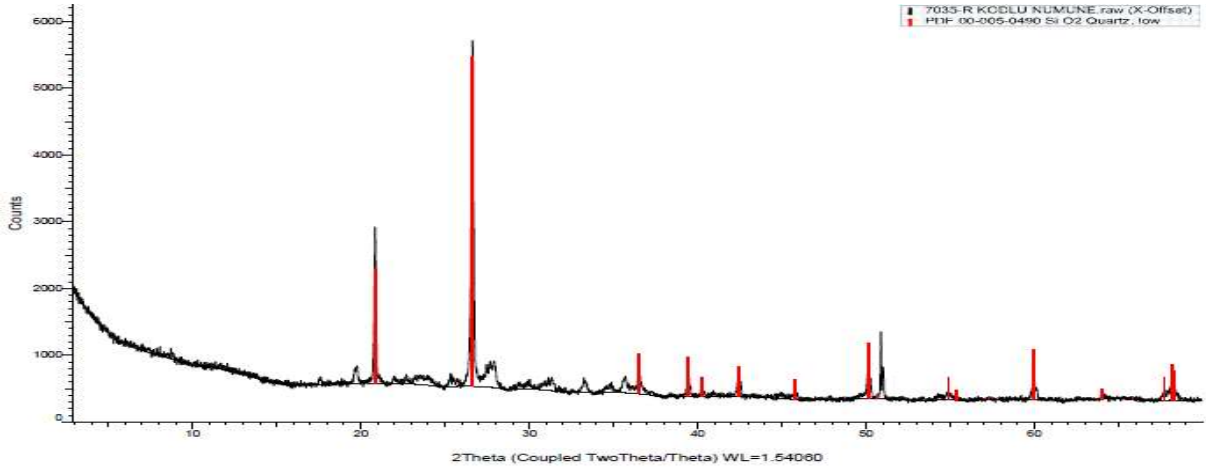
4.3 Minerolojik Özellikler

4.3.1 XRD Analizleri

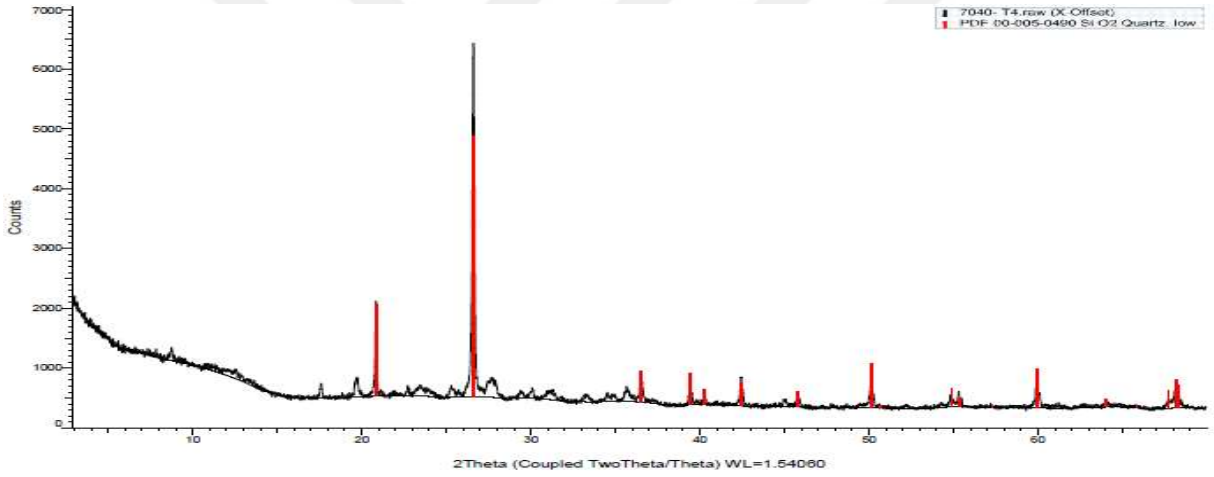
Yapılan çalışmalar neticesinde en ideal sonucu veren iki reçete ile beraber kıyaslama yapabilmek için referans numuneler dahil olmak üzere toplam üç adet reçeteye ait numuneler üzerine XRD analizleri uygulanmıştır.

Analize tabii tutulan numunelerin genel olarak mineral içeriği kuvars, anortit, hematit, illit ve muskovit'tir. T4 (2 mm altı %20 katkılı şist), T7 (1 mm altı %20 katkılı şist) ve R (Şist katkısız referans numune) numunelerine ait XRD analizleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de verilmiştir.

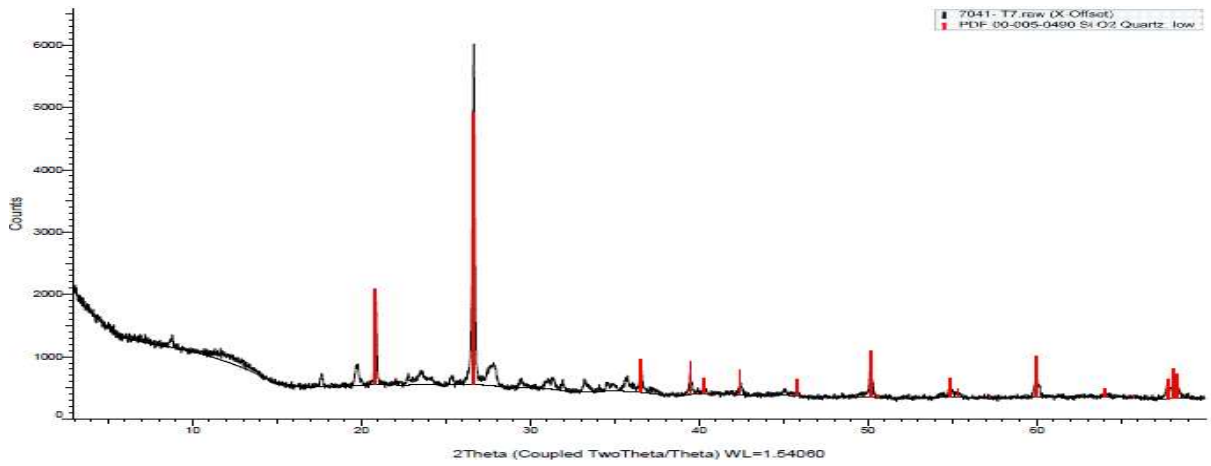
Standart reçeteden farklı olarak ilave edilen şistin kimyasal bileşiminin standart reçetede kullanılan killere paralel oksitler içermesi nedeniyle ve ayrıca tüm gruplar için hazırlanan örneklerin aynı sıcaklıkta ısıtılma işlem görmeleri (pişirilmeleri) nedeniyle gerçekleştirilen mineral faz analizi çalışmalarında (X-ışını kırınımı analizinde) örneklerin desenlerinin benzer oldukları, sadece eş minerallerde (Kuvars, Anortit, İllit, Muskovit ve Hematit) şiddetlerde küçük farklılıklar olduğu belirlenmiştir.



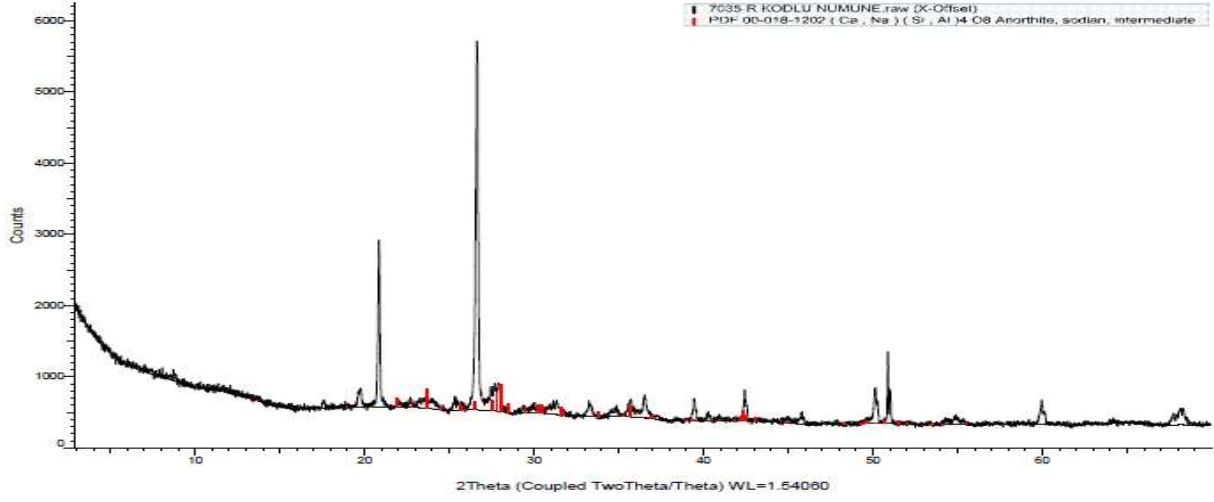
Şekil 4.9 R numunesinin kuvars minerali pikleri



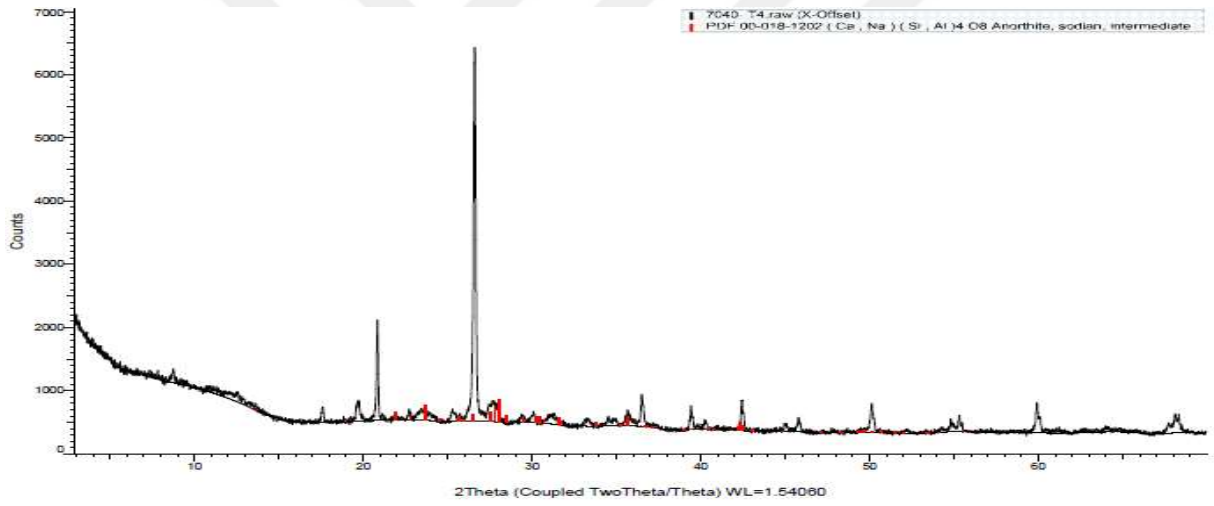
Şekil 4.10 T4 numunesinin kuvars minerali pikleri



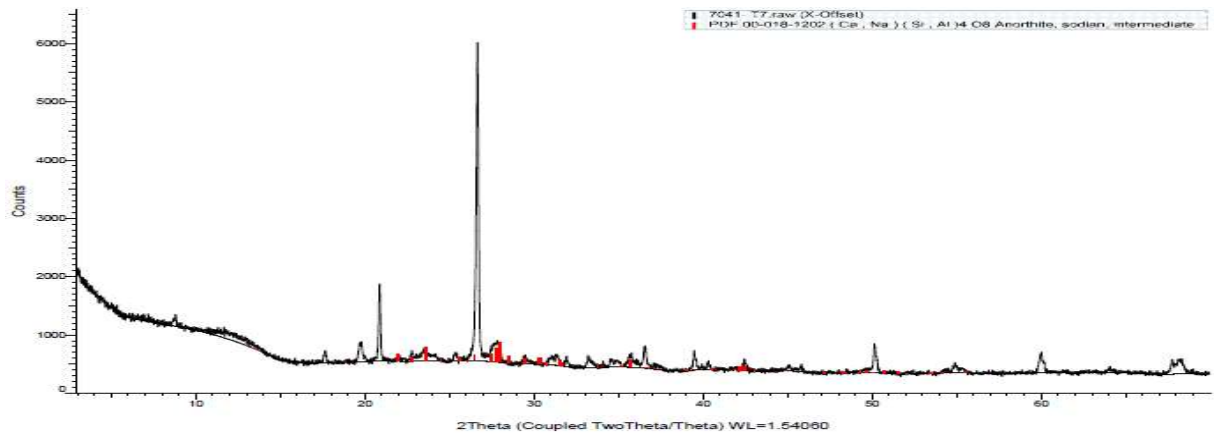
Şekil 4.11 T7 numunesinin kuvars minerali pikleri



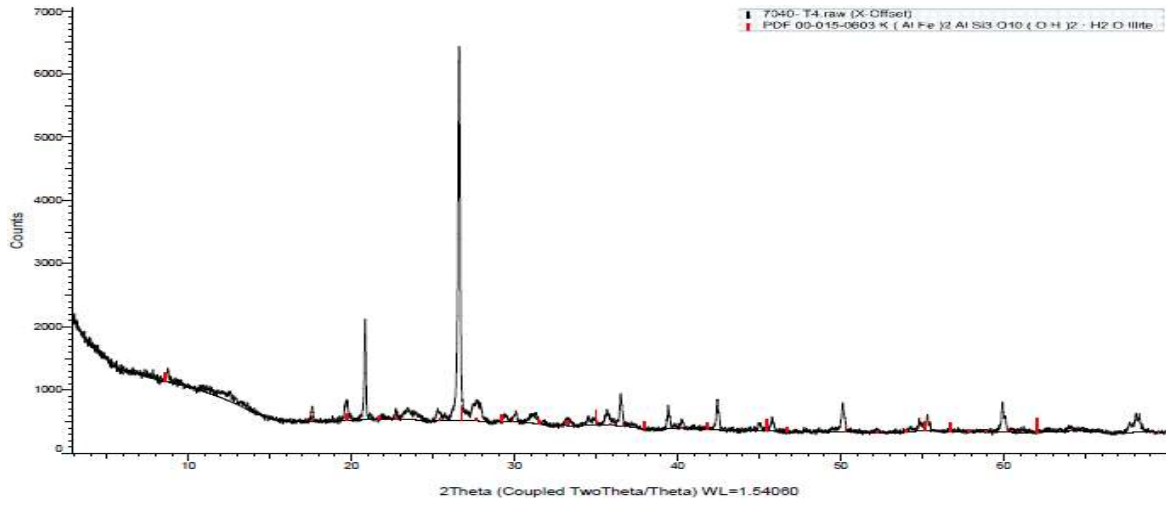
Şekil 4.12 R numunesinin anortit minerali pikleri



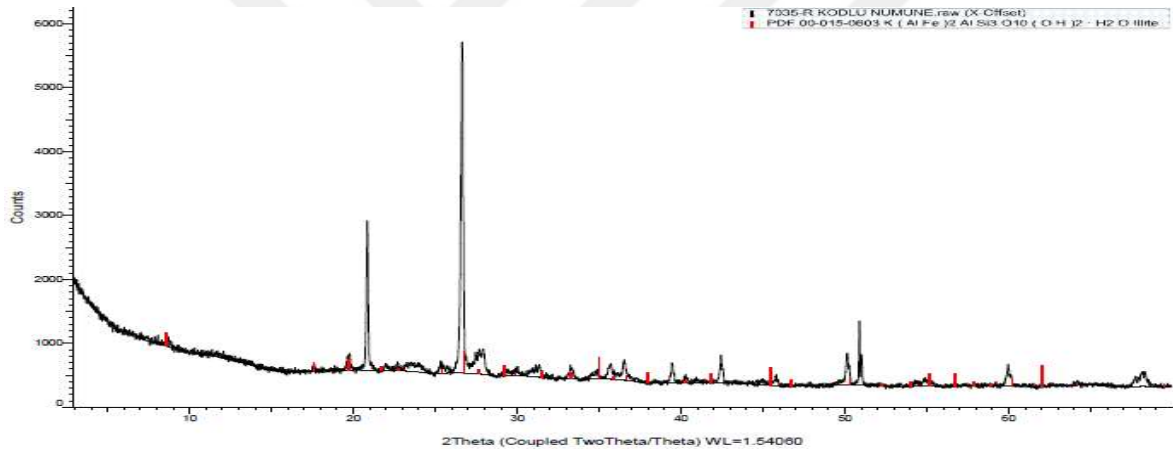
Şekil 4.13 T4 numunesinin anortit minerali pikleri



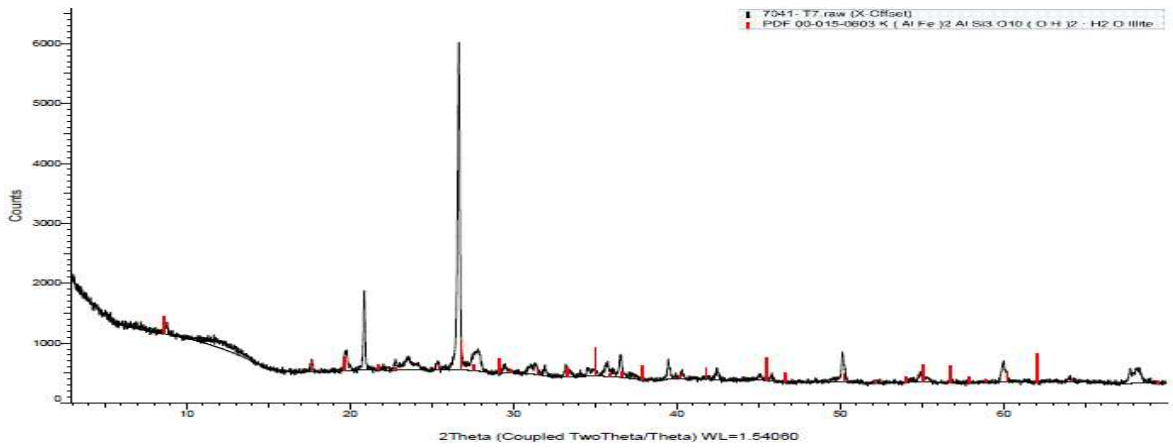
Şekil 4.14 T7 numuneninin anortit minerali pikleri



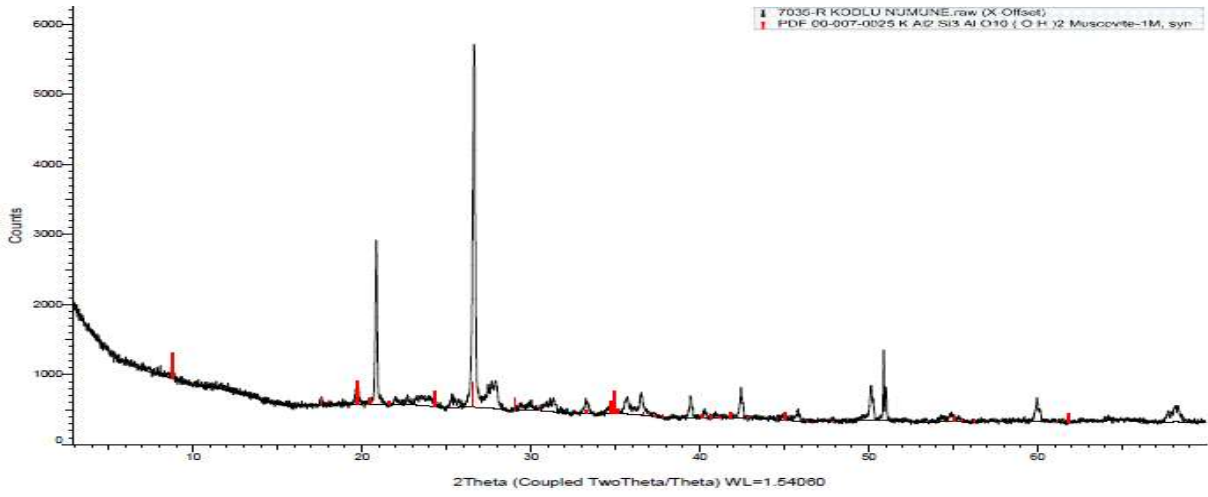
Şekil 4.15 R numunesinin illit minerali pikleri



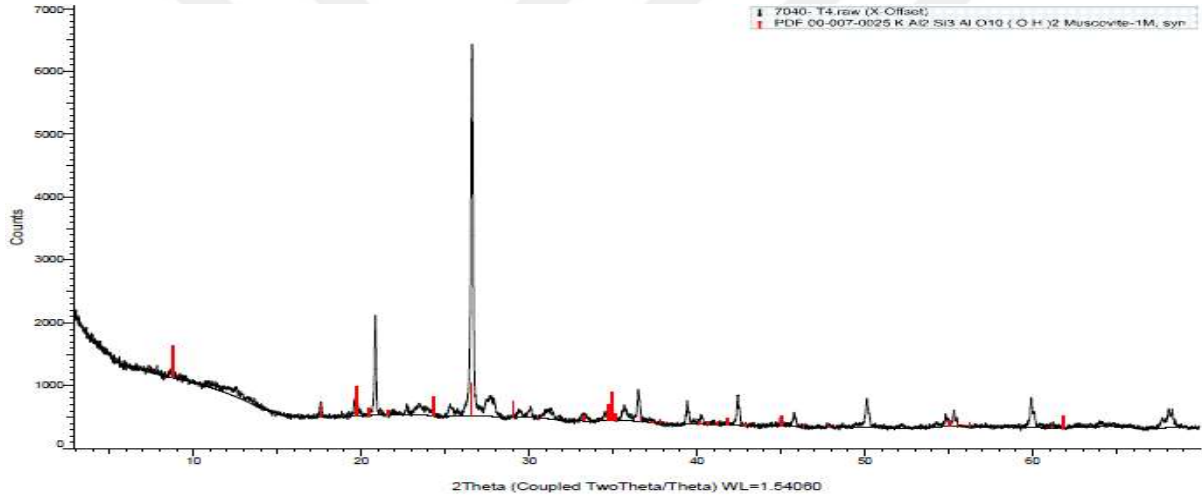
Şekil 4.16 T4 numunesinin illit minerali pikleri



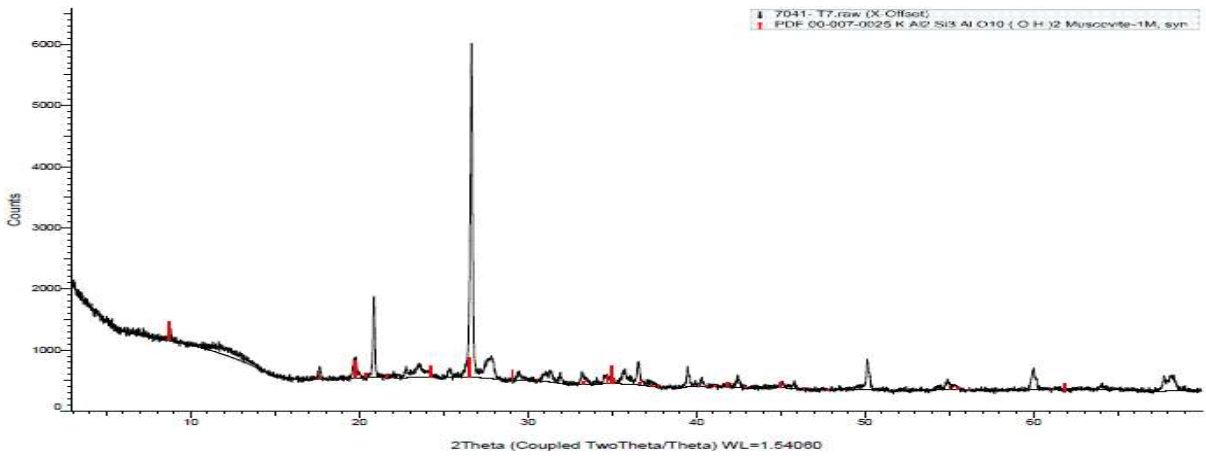
Şekil 4.17 T7 numunesinin illit minerali pikleri



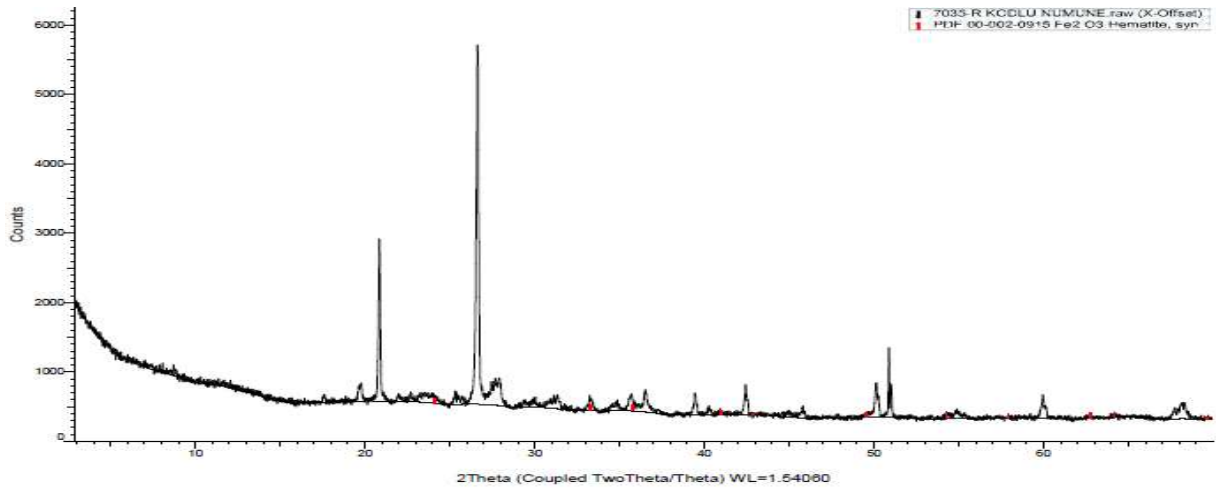
Şekil 4.18 R numunesinin muskovit minerali pikleri



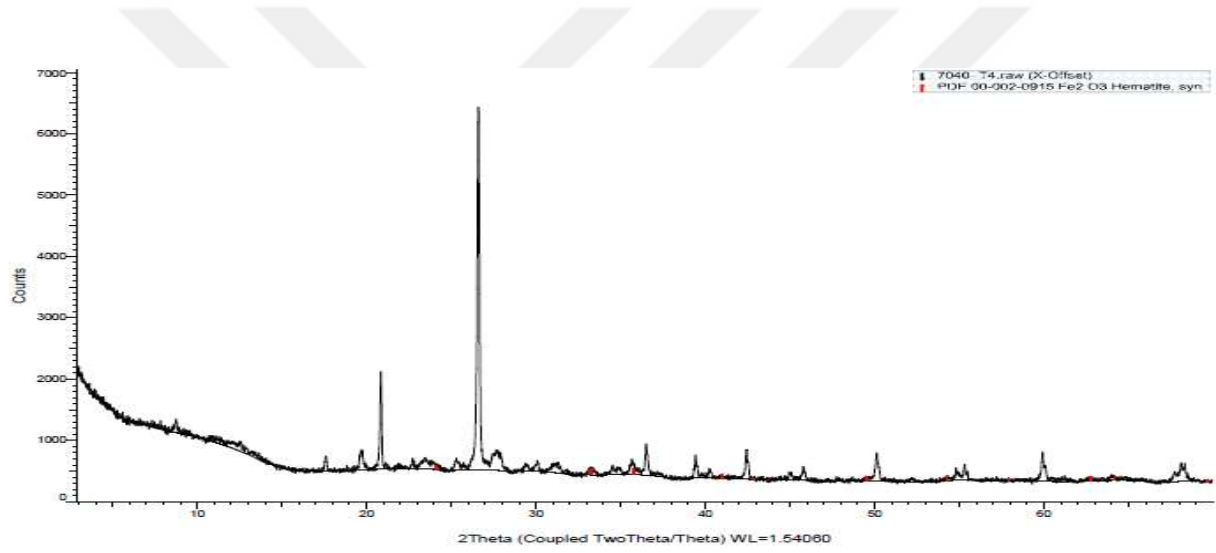
Şekil 4.19 T4 numunesinin muskovit minerali pikleri



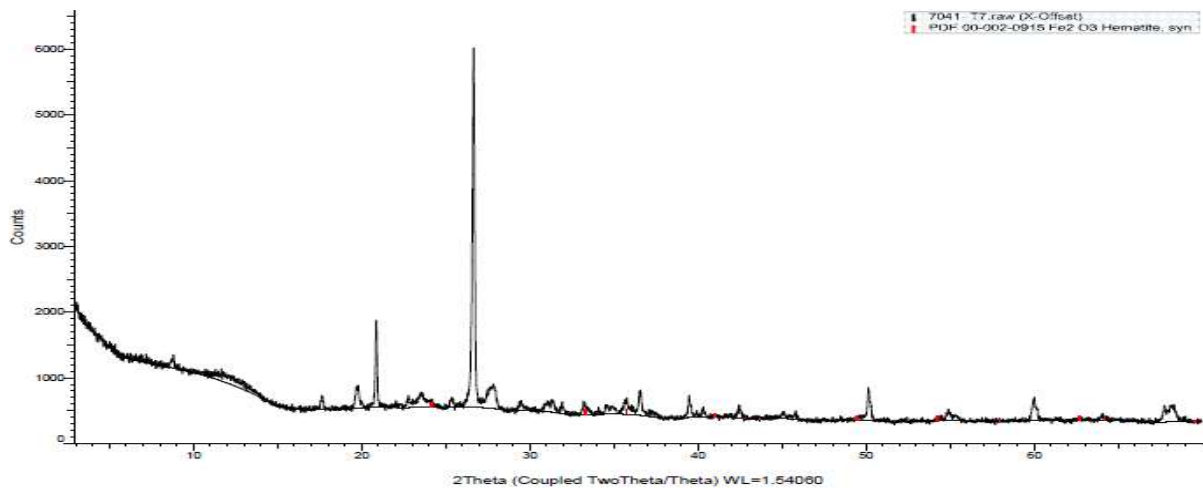
Şekil 4.20 T7 numunesinin muskovit minerali pikleri



Şekil 4.21 R numunesinin hematit minerali pikleri



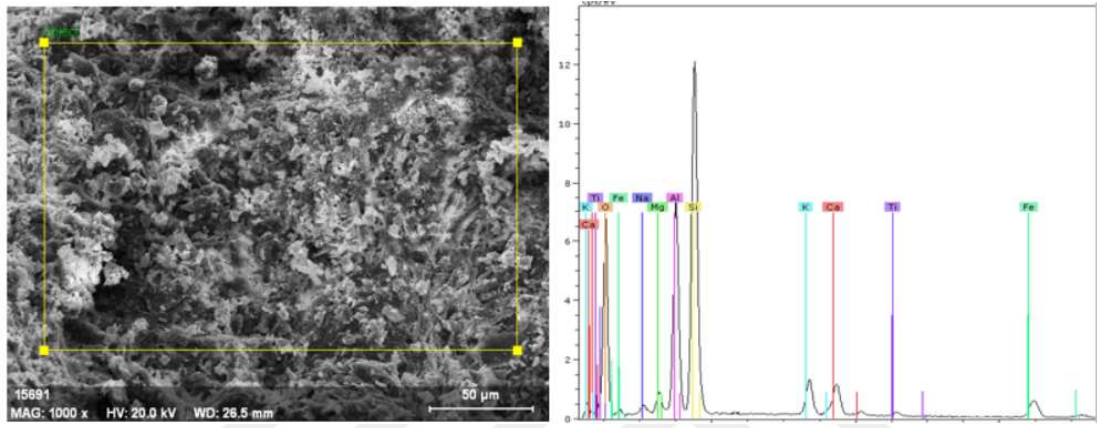
Şekil 4.22 T4 numunesinin hematit minerali pikleri



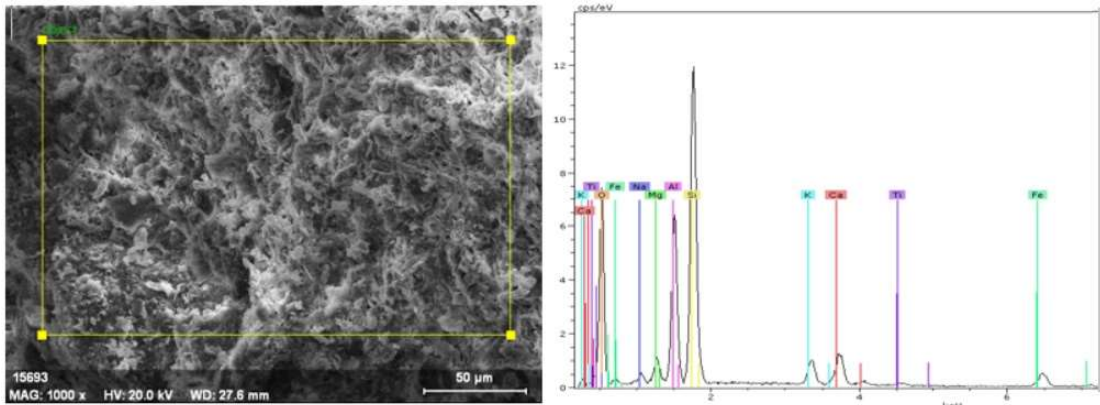
Şekil 4.23 T7 numunesinin hematit minerali pikleri

4.3.2 SEM Analizleri

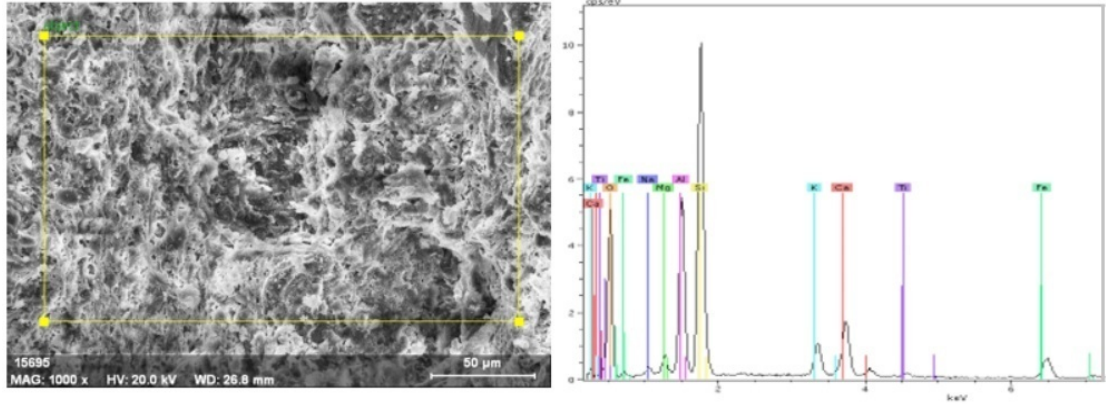
R, T4 ve T7 grubu temsili örneklerden alınan uygun ölçüdeki kırık yüzeyleri mikroyapı (SEM) analizleri yapılmak üzere hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 1.000 ve 10.000 kez büyütülerek mikroyapı görüntüleri karşılaştırılmıştır. Her bir örneğe ayrıca alan kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu örneklerle ait mikroyapı ve kimyasal analiz (EDX) analizleri aşağıda Şekil 4.24 - 4.29’da verilmiştir.



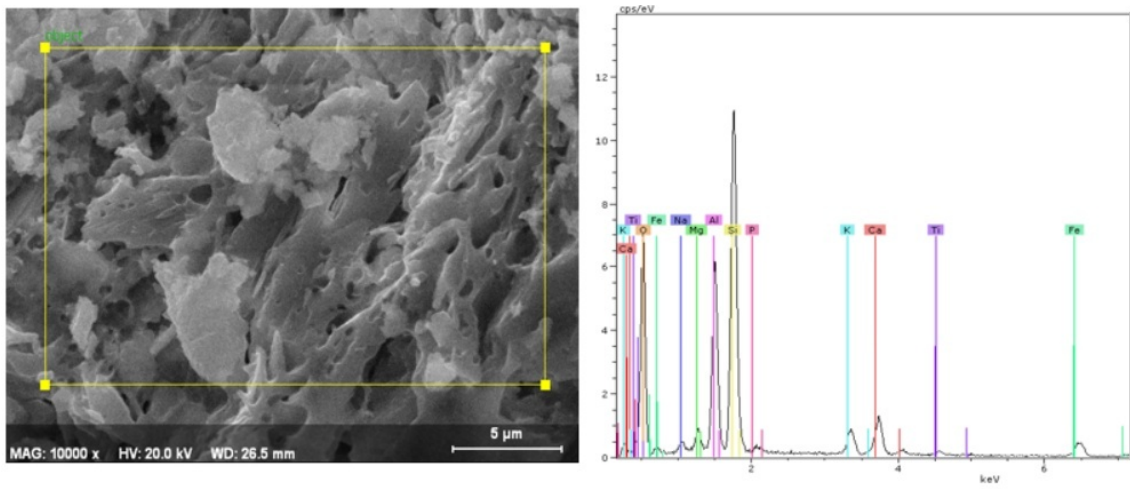
Şekil 4.24 R numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri



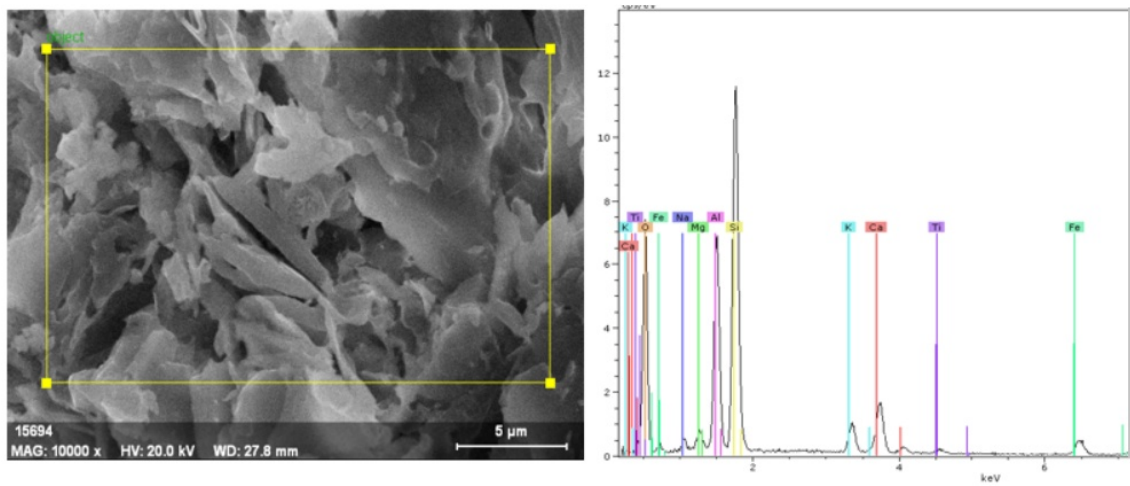
Şekil 4.25 T4 numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri



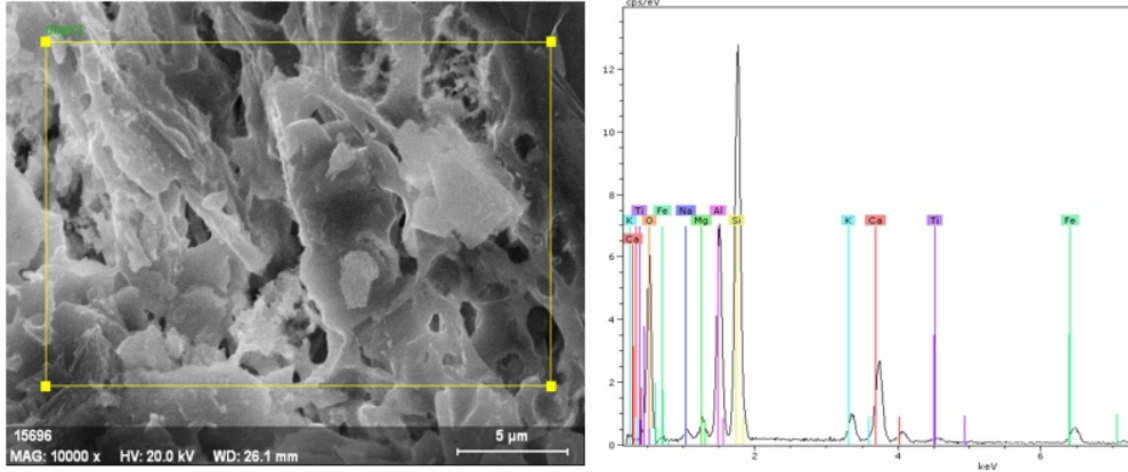
Şekil 4.26 T7 numunesinin 1000 x ve 50 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri



Şekil 4.27 R numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri



Şekil 4.28 T4 numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri



Şekil 4.29 T7 numunesinin 10000 x ve 5 µm SEM görüntüleri ve EDX analizleri

Yukarıda verilen mikroyapı incelemelerinden R kodlu örneğe oranla T4 ve T7 örneklerinde daha küçük ve az gözenek olduğu ve bu nedenle bu örneklerde yüzdesel su emme değerlerinin daha düşük, mukavemet değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, R kodlu örnekte daha düzensiz bir mikro yapının ve gözenek boyutunun olduğu, T4 ve T7 örneklerinde ise gözenek ve mikroyapıda daha homojen bir yapının olduğu görülmüştür. Tüm örneklerde kristal yapılar dallanmış iri yapıdır (10-25 µ boyutlarında). Az miktarda küçük boyutlu (yaklaşık 1 µ ve altı) kapalı gözenekler belirlenmiştir. Daha büyük boyutlu (yaklaşık 5 µ ve üzeri) gözenekler şekilsiz genelde düzgün konturlar içermemektedir. Özellikle iri gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olduğu ve bu nedenle de örneklerde su emme oranlarının %15' leri geçtiği düşünülmüştür.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmamıza konu olan şist ilavesinin, sırası ile şekillendirme, kurutma, pişirme ve nihai ürün özelliklerine olan etkileri bu bölümde net bir şekilde ifade edilmiştir.

Referans tuğla reçetesine ilave edilen şistin artan oranları ile beraber plastiklik suyu değerlerinde düşme olduğu görülmüştür. 1. seriyi oluşturan deney numunelerinin plastiklik suyu değerleri, 2. seriden bir miktar daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebinin de, 1. serideki şistlerin tane boyutlarının daha büyük olmasından ötürü, şekillendirme aşamasında boşluklu yapılar oluşturan şist tanelerinin arasına bağlayıcılık özellikleri yüksek kil tanelerinin girerek, şekillendirme için gerekli su miktarını arttırmış olması düşünülebilir. Kabul edilebilir yaş mukavemet değerini sağlamak kaydı ile düşük plastiklik suyu değeri, kurutma maliyetlerini düşürmek açısından arzu edilecek bir durumdur.

Kuru küçülme değerlerinde de artan şist katkısı ile beraber azalma olduğu görülmüştür ve bu beklenen bir durumdur. Şist, bağlayıcılık özelliği oldukça düşük bir hammadde olduğu için girdiği reçetelerde numunelerin plastiklik değerini düşürmekte ve küçülme değerlerinde de buna bağlı olarak bir düşüş olması beklenmekte idi. Hazırlamış olduğumuz farklı seriler açısından durum incelendiğinde, 1. seride ki numunelerin kuru küçülme değerleri, 2. seride ki numunelere göre nispeten bir miktar fazla çıkmıştır. Bu durumda yine şist katkısıyla bağlayıcılık değerinin düşmesi ile açıklanabilir.

Pişme küçülmeleri analiz edildiğinde, küçülmeden çok bir genleşme, bir büyüme olduğu gözlemlenmiştir ve bu büyüme oranları artan şist katkısı ile beraber artış göstermektedir. Şist tane boyutu küçüldükçe de genleşme miktarında ki artışında arttığı görülmüştür. Şist katkısı içermeyen referans numunelerde pişme küçülmesi değeri yaklaşık %0,6 olarak hesaplanmıştı. Hiçbir parametre değiştirilmeden sadece şist katkısı yapıldığından ötürü genleşme nedeninin şistten kaynaklı olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Literatür olarakta bu düşüncemizi destekleyecek çalışmaların olduğu görülmüştür.

Artan şist ilavesi ile şistin ateş zaiyatı değeri reçetede ki diğer killerden daha düşük olduğu için deney numunelerinde de ateş zaiyatı değeri düşmüştür. Şistin tane boyutunun daha küçük olduğu 2. seri deney numunelerinde ateş zaiyatı değeri 1. seriye göre daha az hesaplanmıştır. Bunun sebebi de 2. seride ki şistlerin daha ince olmasından ötürü birim alana düşen şist miktarının daha fazla olması söylenebilir.

Su emme ve porozite değerleri incelendiğinde artan şist katkısı ile beraber bir azalma olduğu görülmüştür. Buradan da anlaşıyor ki artan şist katkısı ile beraber numunelerin bünyelerinde ki boşluk oranı düşmektedir. Şist katkısız referans deney numunelerinde su emme ve porozite değerlerinin fazla olması ve şist katkısı ile beraber bu iki değer in düşüş göstermesi, reçetelerde şist dışında kullanılan killerin şistten daha fazla organik madde ve/veya faz dönüşümleri sonucu dekompozisyone neden olan bileşiklere sahip olması ve bundan ötürü sinterleme neticesinde daha fazla boşluklu yapılar oluşturması olarak açıklanabilir. Tane boyutu küçüldükçe de yapıda şist yoğunluğu arttığı için su emme ve porozite değerlerinde de azalma görülmüştür.

Birim hacim ağırlık değeri de numunelerin bünyelerindeki porozite miktarları ile ilişkilidir. Malzemenin mikro yapısında ne kadar boşluk var ise birim hacim ağırlık değerleri o nispette düşük olmaktadır. Buradan yola çıkacak olur isek, artan şist katkısı ile beraber porozite değerlerinin düştüğünü gördüğümüz için, malzemelerin yoğunluğunda da bir artış olduğu tespit edilmiştir. 2. seride daha ince şistler ile üretilen deney numunelerinin yoğunluğu, 1. seride ki numunelere göre daha yüksek çıksada anlamlı artışlar görülmemiştir. 3. seride ki deney numunelerinin yoğunluk değerleri ise, 1 ve 2. seride ki deney numunelerinde ki %20 şist katkısı ile benzerlik göstermiştir.

Artan şist katkısı ile beraber basınç mukavemeti değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca şistin tane boyut dağılımı düştükçe yani malzeme inceldikçe de basınç dayanımı artmaktadır. Bunun nedeni olarakta su emme analizi bahsinde değinildiği gibi, şist katkısı ile beraber, daha yoğun daha gözeneksiz bir bünye elde edilmiş olmasıdır. Şist tane boyutunun küçülmesi bu kompakt yapının oluşumuna daha da hizmet ettiği için, oransal olarak aynı miktarda şist katkılı numunelerde, daha ince şist kullanılanlarda dayanım daha fazla çıkmıştır.

XRD analizleri sonucunda kuvars, illit, muskovit ve hematit minerallerinin belirlenmiş olması literatürde gerçekleştirilen benzer çalışmalar, örnek reçetelerinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri ve ısıtım işlem sürecinde uygulanan sinterleme sıcaklığı ile süresi göz önüne alındığında beklenen olası fazlar olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Ancak, oluşum sıcaklığının 950-1200 oC aralığında olduğu bilinen anortit fazının örneklerin ısıtım işleminin gerçekleştirildiği 860 oC’de oluşmasının sinterleme sıcaklığının düşük olmasına karşın sinterleme süresinin 5 saat gibi uzun süre boyunca yapılmasının bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Binalarda uygun nitelikli yapı malzemelerinin seçilerek ısı yalıtım özelliği iyileştirilmiş ve ilgili standartlara (TS 825) uygun ısı iletim katsayıları düşük tuğlalar üretebilmek günümüzde son derece önem kazanmıştır. Bu çalışmamızda da üretilen ürünlerin teknik özelliklerini belirlemek adına çok sayıda test ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Testlerin çıktıları yorumlandığında numunelerin gözenek oranının düştüğü, yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Bu durum malzemenin ısı yalıtım özelliği ile ilgili olumsuz bir yaklaşımın olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bundan sonra yapılacak benzer nitelikteki çalışmalarda mutlaka ısı iletim katsayıları özelliklerinin de belirlenmesi bu çalışmamızdan elde edilen çıktılarından biri olduğu düşünülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Alan E, 2017, Hafif Turgutlu Tuğlası Üretimi İçin Uygun Katkı Malzemelerinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1, İzmir
- Akıncı Ö, 2015, Seramik Killeri ve Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 63, Ankara
- Berkgil M, 2019, Kırılmış Cam Elyaf ve Polipropilen Katkılı Tuğla Üretimi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 19-20, Malatya
- Bideci A, Bideci SÖ, 2008, Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Makalesi, 69, Edirne
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020, Tuğla-Kiremit Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu, Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi, 4, Ankara
- Çimen S, 2019, Bor Atığı ve Perlit Katkılı Üretilen Tuğlanın Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1, Kastamonu
- Er AC, 2013, Geleneksel Harman Tuğlası ve Üretimi, Mesleki Bilimler Dergisi, ISSN: 2146-7420
- Erkan ZB, 2002, Balıkesir-Sındırgı Düvertepe Bölgesi Döküştepe Mevkii Kaolin Cevherinin Zenginleştirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 13-16, İzmir
- Eroğlu M, Akyol AA, 2017, Antik Yapı Malzemesi Olarak Tuğla ve Kiremit: Boğsak Adası Bizans Yerleşimi Örnekleme, Gazi Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Sanat ve Tasarım Dergisi, 143-145, Ankara
- Esir Ö, 2005, Uçucu Külün Tuğla Killerinin Sinterleme Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1, Afyonkarahisar
- Karaman S, 2006, Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 125, Kahramanmaraş

- Keskin İ, 2020, Zemin Mekaniği, Kil Mineralleri ve Zemin Yapısı, Karabük Üniversitesi, INM 308, Hafta_2, Karabük
- Kuş Ü, 2012, Çorum Yöresi Dağ Toprağının Tuğla Kiremit Üretimine Uygun Hale Getirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3, Afyonkarahisar
- Küçük Ö, Uran Y, 2022, Taguchi Yöntemi Kullanılarak Hafif Genleşmiş Kil Üretiminin Optimizasyonu, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 33, 2.
- Levent M, 2012, Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1, Afyonkarahisar
- Liqun L, Keyao L, Weng F, Cheng L, Siyuan Y, 2020, Preparation Characteristics and Mechanisms of the Composite Sintered Bricks Produced from Shale Sewage Sludge Coal Gangue Powder and Iron Ore Tailings, Construction and Building Materials Volume 232
- Nafeth A, Monther A, 2018, Characterization and Utilization of Oil Shale Ash Mixed With Granitic and Marble Wastesto Produce Ligth Weight Bricks, Estonian Academy Publishers, 56-69
- Poyraz T, 2019, Bilecik İli Söğüt İlçesi ve Civarındaki Killerin Mühendislik Özellikleri ve Endüstriyel Açıdan Kullanımının Değerlendirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 32, Sakarya
- Sürül O, 2015, Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2, Zonguldak
- Tokgöz D, 2010, Hava Tabakalı Dış Duvarlar Tuğla Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 24, İstanbul
- TS EN 772-13, Kâgir Birimler – Deney Metotları – Bölüm 13: Kâgir Birimlerin Net ve Brüt Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini (Doğal Taş Hariç)
- TS EN 772-21:2011, Kâgir Birimler-Deney Metotları-Bölüm 18: Soğuk Su Emilimi İle Kil ve Silis Kum Taşı Kâgir Birimlerin Su Emme Tayini
- Xiang-Guo L, Yang L, Bao-Guo M, Shou-Wei J, Hong-Bo T, 2011, Influence of Sintering Temperature on the Characteristics of Shale Brick Containing Oil Well-Derived Drilling Waste, Environ Sci Pollut Res, 1618

Yalçınkaya Ç, 2023, Seramik ve Pişmiş Toprak Ürünler İnş2023 Yapı Malzemesi I,
Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir
Yüksel B, 2007, Konsolidasyon Süresince Kil Yapısındaki Değişimin Araştırılması,
İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 12, İstanbul

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.ekoyapidergisi.org/surdurulebilir-bir-yapi-malzemesi-tugla/>,
06.05.2024
- 2- <https://www.vandersanden.com/tr-tr/tugla-neden-tercih-edilmelidir-06.05.2024>
- 3- <https://emektugla.com.tr/blog/neden-tugla#> , 06.05.2024
- 4- <https://tr.wikipedia.org/wiki/şist>, 10.05.2024
- 5- <https://www.nkfu.com/sist-nedir-sist-kayaci-ozellikleri/> 10.05.2024
- 6- <https://www.ergagranit.com.tr/sist-ya-da-kil-tasi-sist/10.05.2024>

