



ETİ MADEN İŞLETMELERİ HİSARCIK BARAJI ATIKLARININ SERAMİK
SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Kürşad DURMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2018

ETİ MADEN İŞLETMELERİ HİSARCIK BARAJI ATIKLARININ SERAMİK
SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Kürşad DURMAZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Ağustos - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kürşad DURMAZ'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı “ETİ MADEN İŞLETMELERİ HİSARCIK BARAJI ATIKLARININ SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

27/08/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ahmet AYDIN
Bölüm Başkanı, Maden Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Ahmet AYDIN
Danışman, Maden Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet AYDIN
Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Nezahat EDİZ
Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. M. Baran TUFAN
Maden Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %5 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Kürşad DURMAZ

ETİ MADEN İŞLETMELERİ HİSARCİK BARAJI ATIKLARININ SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Kürşad Durmaz

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018”

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Barajındaki atıkların seramik sektörünün alt gruplarından olan kiremit ve tuğla sanayiinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu atıkların değerlendirilmesi hem sebep olduğu çevre kirliliğini azaltacak hem de söz konusu sektörlerde ikincil kaynak olarak kullanılmasıyla da söz konusu atıklar ekonomiye kazandırılmış olacaktır. Yapılan bu çalışmada; Hisarcık Atık Barajından alınan %11,30 B₂O₃ tenöründeki atık numunesinin mineralojik yapısında esas olarak kolemanit, kalsit ve illit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda ise kiremit-tuğla uygulamalarında kullanılmak üzere daha düşük B₂O₃ tenörlü kil elde etmek amacıyla dekrepitasyon metotlarından olan mikrodalga fırını ve kül fırını yöntemlerinden faydalanılmış ve optimum yöntem ve parametreler belirlenmiştir. Her iki yöntemle de tüm tane boyutlarında yapılan ön zenginleştirme çalışmaları sonuçlarına göre +0,5 mm tane boyutundaki atık numunesinin kül fırınında 500 °C sıcaklıkta 40 dakika süreyle dekrepite edilmesi sonucunda; %39,63 verimle %7,08 B₂O₃ tenörlü atık elde edilirken %60,37 verimle %23,87 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Daha sonra yapılan çalışmalarda %7,08 B₂O₃ tenörlü dekrepite edilmiş nihai atık numunesinin kiremit reçetelerine 820 °C sıcaklıkta ve %20 oranında eklenmesiyle en kaliteli kiremit örneği elde edilirken tuğla reçetelerine de yine dekrepite edilmiş nihai atık numunesinden 530 °C sıcaklıkta %10 oranında eklenmesiyle en kaliteli tuğla elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dekrepitasyon, Kil, Kiremit, Mikrodalga Enerjisi, Tuğla,

THE INVESTIGATION TO BENEFICATE OF HİSARCİK WASTE DAM TAILINGS IN CERAMIC INDUSTRY

Kürşad DURMAZ

Mining Engineering, M.S. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

SUMMARY

In this study beneficiation of tailings of Hisarcık dam in tile and brick industry subgroup of ceramic sector was investigated. Since, evaluation of those tailings gets benefit economically due to usage of related sectors as secondary source and to reduce environmental pollution. In this research, it is determined that the sample having 11,30% B_2O_3 grade taken from Hisarcık tailing dam has mostly colemanite, calcite and illite in the structure.

In the docimasy on the other hand, in order to use tile and brick applications, microwave energy and decrepitation methods were used to get lower B_2O_3 grade clay minerals and optimum method and parameters were determined. According to the results of both two pro-enrichment processes performed to all particle sizes, +0,5 mm sized tailing sample, at the 500 °C and a 40 minutes decrepitation time; 7,08% B_2O_3 graded tailing with 39,63% recovery and 23,87% B_2O_3 graded concentrate were obtained.

In tile and brick applications, while by adding 20% of 7,08% B_2O_3 graded sample at 820 °C in the tile prescriptions, the best quality tile specimen was obtained, and by adding 10% of 7,08% B_2O_3 graded sample at 530 °C in the brick prescriptions, the best quality brick specimen was obtained.

Keywords: Brick, Clay, Decrepitation, Microwave Energy, Tile,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana yardımcı olan engin bilgi ve birikimiyle beni yönlendiren ve bu tezin her sayfasında büyük emekleri olan danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Aydın'a, karşılaştığım zorluklarda benden desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Ömer Canıeren'e, akademik çalışmalarım başındayken yanımda olup sonradan aramızdan ayrılan rahmetli babama, dualarını benden esirgemeyen şefkat abidesi olan anneme, bu çalışmamın daha başındayken bile teşvikleriyle beni motive eden değerli ablam Av. Yıldız Durmaz Günel ve eniştem Av. Mehmet Sait Günel'e, deneylerin yapılmasında yardımcı olan Akdemir Kiremit Firması sahibi Mehmet Akdemir'e ve fabrika personellerinden İsmail Çavuş'a, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Açık İşletme ve Konsantratör birimindeki mesai arkadaşlarım Kadir Baş, Fatih Altın, Emir Numanoğlu ve Soner Karaçoban'a ve Laboratuvar birimindeki tüm mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca, manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen hayat yolculuğundaki değerli arkadaşlarım Said Sürmeci ve Kamil Berber'e ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BOR MİNERALLERİ, REZERV BÖLGELERİ, ÜRETİM SÜREÇLERİ, ÜRETİCİLER VE KULLANIM ALANLARI.....	6
2.1. Bor Mineralleri.....	6
2.1.1. Tinkal (Boraks)	6
2.1.2. Kolemanit.....	7
2.1.3. Üleksit	7
2.1.4. Hidroborasit	7
2.1.5. Pandemit	8
2.1.6. Propertit.....	8
2.2. Bor Madenleri Rezerv Bölgeleri	8
2.2.1. Türkiye	9
2.2.2. Amerika Birleşik Devletleri	10
2.2.3. Güney Amerika ülkeleri	11
2.2.4. Asya ve diğer ülkeler.....	11
2.3. Bor Mineralleri Üretim Sahaları, Üretimciler ve Karşılaştırmalar	12
2.3.1. Türkiye	13
2.3.2. Amerika Birleşik Devletleri	21
2.3.3. Güney Amerika	23
2.3.4. Asya ülkeleri ve diğer bölgeler	24
3. SERAMİK HAMMADDELERİ	26
3.1. Kil Grubu ($Al_2O_3.SiO_2.H_2O$).....	26
3.1.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması	28
3.1.2. Kil çeşitleri.....	29
3.2. Kaolin ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$)	31
3.3. Kuvars	31
3.4. Feldspat.....	32

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.5. Seramik Bünyelere Uygulanan Fiziksel ve Mekanik Testler	33
3.5.1. Kuruma küçülmesi, pişme çekmesi, plastisite suyu ve ateşte zayıt testleri.....	33
3.5.2. Su emme deneyi	34
3.5.3. Yoğunluk deneyi.....	34
3.5.4. Basınç dayanımı deneyi	35
3.5.6. Zararlı kireç ve manyezi deneyi.....	35
3.5.7. Dona dayanıklılık testi	35
3.6. Daha Önce Yapılan Benzer Çalışmalar	35
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
4.1. Materyal ve Metot.....	37
4.1.1. Malzeme karakterizasyon testleri.....	38
4.1.2. Mikrodalga fırın çalışmaları.....	42
4.1.3. Kül fırını çalışmaları	45
4.1.4. Kiremit-tuğla çalışmaları	46
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	48
5.1. Mikrodalga Deney Sonuçları	48
5.1.1. +0,5 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	48
5.1.2. -0,5+0,063 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri	50
5.1.3. -0,063 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	51
5.1.4. Mikrodalga Fırını Çalışmaları Sonuçları	53
5.2. Kül Fırını Deney Sonuçları	54
5.2.1. +0,5 mm tanecik boyutuna ait dekrepitasyon deneyleri.....	54
5.2.2. -0,5+0,063 mm Tanecik Boyutuna Ait Dekrepitasyon Çalışmaları	57
5.2.3. -0,063 mm tane boyutuna ait dekrepitasyon deneyleri	60
5.2.4. Kül fırını çalışmaları sonuçları.....	63
6. TUĞLA-KİREMİT ÇALIŞMALARI	65
6.1. Çalışma Yöntemi ve Numune Hazırlama.....	65
6.2. Kiremit-Tuğla Üretiminde Standartlar	69
6.3. Kiremit Numunelerine Uygulanan Testler ve Sonuçları	70
6.3.1. 820 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	70
6.3.2. 870 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	75
6.3.3. 920 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	79
6.3.4. Kiremit çalışmalarında elde edilen optimal sonuçlar	82
6.4. Tuğla Numunelerine Uygulanan Testler Ve Sonuçları	85
6.4.1. 530 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	85

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6.4.2. 580 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	88
6.4.3. 630 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar	91
6.4.4. Tuğla çalışmalarında elde edilen optimal sonuçlar	93
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	98
EKLER	

EK 1. B₂O₃ Analizi Yapılış Yöntemi

EK 2. Mikrodalga Fırını Deneylerinin Sonuçları

- Ek 2.1. Hisarcık atık barajı numunesi, +0,5 mm tane boyutu için analiz sonuçları
- Ek 2.2. Hisarcık atık barajı numunesi, -0,5+0,063 mm tane boyutu için analiz sonuçları
- Ek 2.3. Hisarcık atık barajı numunesi, -0,063 mm tane boyutu için analiz sonuçları
- Ek 2.4. 40 dakika sonunda 500 watt mikrodalga gücünde elde edilen atık malzemeler

EK 3. Kül Fırını Deneylerinin Sonuçları

- Ek 3.1. Hisarcık atık barajı numunesinin +0,5 mm tane boyutu için 40 dakika süre sonunda 500 °C'deki kül fırını deneyleri sonuçları

EK 4. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Analizleri

- Ek 4.1. Kiremit ve tuğla üretiminde kullanılan Eskişehir kilinin kimyasal analiz sonuçları
- Ek 4.2. Hisarcık atık barajı ham ürünü kimyasal analiz sonuçları
- Ek 4.3. Hisarcık atık barajı ham ürünü +0,5 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları
- Ek 4.4. Hisarcık atık barajı ham ürünü-0,5+0,063 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları
- Ek 4.5. Hisarcık atık barajı ham ürünü -0,063 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları
- Ek 4.6. Hisarcık atık barajı nihai atık numunenin kimyasal analiz sonuçları

EK 5. Deneylerde Hazırlanan Kiremit Numuneleri

- Ek 5.1. Hazırlanan yaş kiremit çamurları
- Ek 5.2. 106 °C de etüvde 4 saat bekletilen kiremit çamurunun kuruduktan sonraki hali
- Ek 5.3. 820 C'de pişen numunelerin mukavemet testinden geçtikten sonraki durumları
- Ek 5.4. 870 C'de pişen numuneler
- Ek 5.5. 920 °C'de pişen kiremit numunelerinin don testinden geçtikten sonraki durumları
- Ek 5.6. Mukavemet testlerinin yapıldığı pres makinası

EK 6. Deneylerde Hazırlanan Tuğla Numuneleri

- Ek 6.1. Hazırlanan yaş tuğla çamurları

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

- Ek 6.2. 106 °C de etüvde 4 saat bekletilen tuğla çamurunun kuruduktan sonraki hali
Ek 6.3. 530 °C'de pişen nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin görüntüleri
Ek 6.4. 580 °C'de pişen nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin görüntüleri
Ek 6.5. 630 °C'de pişen nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin görüntüleri

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. ABD'deki bor sahaları.....	10
2.2. Espey konsantratör tesisi akım şeması.....	16
2.3. Hisarcık konsantratör tesisi akım şeması.....	18
4.1. Eti Maden İşletmeleri Hisarcık atık barajı konumu.....	37
4.2. Hisarcık atık barajı numunesine ait TGA ve DTA analiz sonucu.....	40
4.3. Hisarcık atık barajı numunesine ait minerolojik (XRD) analiz sonucu.....	41
4.4. Dekrepatasyon çalışmalarında kullanılan mikrodalga fırını.....	44
4.5. Dekrepatasyon deneylerinde kullanılan kül fırını.....	46
5.1. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.....	48
5.2. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.....	49
5.3. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.....	50
5.4. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.....	51
5.5. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.....	52
5.6. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.....	53
5.7. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.....	56
5.8 +0,5 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.....	57
5.9. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.....	59
5.10 -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.....	60
5.11. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.....	62
5.12. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 450 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.....	63
5.13. Kül fırını deneylerinde elde edilen en yüksek ve en düşük B ₂ O ₃ değerleri.....	64
6.1. 820 °C'de pişen nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.2. 870 °C’de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.	77
6.3. 920 °C’de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri.....	2
2.1. Doğada yaygın olarak görünen ticari bor mineralleri	6
2.2. 2015 yılı Dünya bor rezervleri.....	8
2.3. Ülkelerin 2015 yılı bor üretim kapasiteleri	12
2.4. Eti maden bor kimyasalları ve eşdeğer ürün üretim kapasiteleri	13
2.5. Bandırma bor işletme müdürlüğü üretimleri ve kapasiteleri.....	20
3.1. Sıcaklık değişimine göre kuvars dönüşüm çizelgesi.....	32
4.1. Hisarcık Atık Barajı numunesinin kimyasal analiz sonucu.....	38
4.2. Hisarcık atık barajı numunesine ait elek ve B ₂ O ₃ analiz sonuçları	41
4.3. Mikrodalga deneylerinde kullanılan Hisarcık atık barajı numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımları.....	43
4.4. Mikrodalga deneyleri akış programı	45
5.1. +0,5 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları	55
5.2. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları ...	58
5.3. -0,063 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları	61
6.1. Kiremit sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numune grupları.....	66
6.2. Kiremit sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numunelerin kodları	67
6.3. Tuğla sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numune grupları	68
6.4. Tuğla sektörüne uygunluk araştırmalarının yapılacağı numunelerin kodları.....	69
6.5. 820 °C’de pişen kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.....	70
6.6. 870 °C’de pişen kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.....	75
6.7. 920 °C’de pişen nihai atık katkılı kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.....	79
6.8. Kuruma küçülmesi değerleri ve kuruma küçülmesinden sonra numunelerin ortalama olarak hacimleri.....	83
6.9. Pişme küçülmesi değerleri ve pişme küçülmesinden sonra numunelerin ortalama olarak hacimleri.....	84
6.10. Hazırlanan numunelere göre birim hacme düşen mukavemet değerleri	84
6.11. 530 °C’de pişen tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları	85
6.12. 580 °C’de pişen tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları	88
6.13. 630 °C’de pişen nihai atık katkılı tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Santigrad derece
λ	Lamda, XRD dalga boyu

Kısaltmalar

DPU	Dumlupınar Üniversitesi
XRF	X-Işınları Floresans
XRD	X-Işını Difraksiyonu

1. GİRİŞ

Madencilik gelişmiş tüm ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de ekonomik gelişmeyi sağlayan sektörlerin başında gelmektedir. Türk insanının doğal kaynak ve maden deyince kömürden sonra aklına ilk olarak bor madenleri gelmektedir. Bunun sebebi ise geçmişten beri gelmekte olan bor madenlerinin bir gün ülkemizi kalkındıracağı inancıdır. Çünkü ülkemiz bor madeni rezervinde %72 ile dünya birincisidir ve rezerv, nitelik ve çeşitlilik bakımından lider olduğumuz başka bir maden kaynağımız da yoktur. Fakat tüm bu zenginliğimize rağmen bor ürünleri, rafine bor üretimi ve ticareti bakımından ülkemiz olması gereken konumda değildir (Karakoç, 2004; Çelik, vd., 1998).

Bor, periyodik çizelgenin 3A grubunda yer alan ve metal olmayan tek element olup yarı iletken özelliğe sahiptir. Periyodik çizelgede “B” sembolüyle temsil edilen bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olup, özgül ağırlığı ise 2,34 gr/cm³tür. Ergime noktası 2300 °C ve kaynama noktası ise 4002 °C’dir. Tabiatta B¹⁰ ve B¹¹ olarak adlandırılan 2 farklı izotop halinde bulunmakta olup, görülme sıklığı B¹⁰ izotopu için %19,1-%20,3 arasında iken B¹¹ izotopu için ise %79,7-%80,9 arasındadır. Grubun diğer üyelerinden farklı olarak hiçbir zaman B³⁺ katyonu şeklinde görülmez ve bileşik yapılarında daima kovelant bağlar oluşturur. Bu sebeplerden dolayı aynı gruptaki alüminyum ve galyum elementlerinden fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklıdır. Atom yapısında birçok elementte görülmeyen eksik elektron olduğundan kararsız yapıdadır. Bu özelliği onu devamlı şekilde kararlı yapıya ulaşmak için farklı yolları izlemesine neden olmuştur. Hatta bu sebepten dolayı “frustrated element veya enfant terrible” (bezmiş, amacına ulaşamamış veya kural dışı çocuk) olarak da ifade edilmiştir (Ogitsu, vd., 2009). Böylece metal borür veya boran veya boratlar oluşturarak kararlı fakat komplike yapılar ortaya çıkmaktadır. Nötronları bünyesinde absorbe edebilme ve değişik fiziksel ve mekanik özellikler sergileyen çok çeşitli bileşikler oluşturabilme özellikleri onu çok farklı uygulamalarda kullanılabilme özelliği kazandırmıştır (TMMOB, 2003).

Borun bünyesinde birçok mineral yer alır. Fakat bor oksijene olan ilgisinden dolayı genelde oksijene bağlı bileşikler halinde borat ve boro silikatlar halinde bulunur. Bor yeryüzünde en yaygın olan 51. elementtir (Kılınç, vd., 2001; Güyagüler, 2001).

Bor toprakta suda ve kayalarda yaygın halde bulunan bir elementtir. Bor madeni ilk bakışta beyaz renkli çok sert bir cevher olarak göze çarpmakta olup öğütülüp toz haline getirildikten sonra ise koyu kahverengi-grimsi bir renk almaktadır.

Toprakta ortalama olarak 10-20 ppm arasında bulunan bor, deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı suda ise 0,01-1,5 ppm arasında değişen konsantrasyonlarda bulunur. Yüksek konsantrasyonlarda ve ticari önem taşıyan bor minerallerinin bileşimleri genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlı olan boratlar olup daha çok Türkiye ve ABD'deki volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerde bulunmaktadır (Kılınc, vd., 2001; TMMOB, 2003; Kılınc, 2004).

Bor elementinin bir takım fiziksel özellikleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri.

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10,811+0,003
Kaynama noktası °C	4002 °C
Erime noktası °C	2190+-20
Süblimleşme	2550
Mohs sertliği	11(modifiye edilmiş cetvel-elmas-15)
Vicker sertliği	5000 VHN
Yoğunluk(20 °C'de)	2,3 gr/cm ³ (amorf) 2,35 gr/cm ³ (α -rombohedral) 2,46 gr/cm ³ (β -rombohedral)
Görünüş	Beyaz, sarı, kahverengi, kristal
Atomik hacim	4,68 cm ³ /mol
Elektrik direnci (ohm.cm) (300 K'de)	750 (amorf) 7x10 ⁵ – 10 ⁷ (β -rombohedral)
Isı kapasitesi (J/K.mol) (300 K'de)	12,054 (amorf)
İyonik çapı	0.23 Å
Kristal yapısı	Rhombohedral

Bor yanıcı özelliğe sahiptir. Ancak tutuşması için gereken sıcaklık yüksektir. Bor yanması sonucunda emisyon açığa çıkartmadan katı ürün verebilmesi özelliği sayesinde katı yakıt hücresi olarak da kullanılabilir (Kılınc, 2004).

Ülkemizdeki bor rezervleri Kütahya-Eskişehir-Balıkesir-Bursa bölgelerinde bulunmaktadır. Bor mineralleriyle birlikte başta kil ve az miktarlarda da karbonat mineralleri bulunmaktadır (Çelik, vd., 1998; Koca, vd., 2004; Köse, vd., 1998). Bor zenginleştirilmesi bu yataklarda kurulu olan konsantratör tesislerinde kırma-eleme-yıkama işlemlerini takiben dağıtma+klasifikasyon metotlarının birlikte uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir (Veeramasuneni, vd., 1996; Sönmez, vd., 1996; Gül, vd., 2004; Gül, vd., 2006). Söz konusu işlemler sonucunda ise önemli miktarlarda kaba ve ince atıklar oluşmakta ve bu atıklar hem yer hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Aynı zamanda atıklarla beraber kaybedilen bor miktarı da göz ardı edilemeyecek kadar ticari önem taşımaktadır. Çünkü atık göletlerinde yaklaşık %10-28 B₂O₃ içerikli bor bulunmaktadır. Bir diğer bor üreticisi ülke olan ABD’de ise sadece %6 B₂O₃ içeren göl sularından yüksek kalitede bor ürünleri elde edilmektedir. Dolayısıyla her geçen gün miktarı artan bu atıkları kazanmak çevresel olarak fayda sağlayacağı gibi, geri dönüşümü sağlanarak sanayiye sunulması da ekonomik kazanç sağlayacaktır (Sönmez, vd., 1996; Erkal, vd., 1992; Yazar, vd., 1971; Köse, vd., 2003).

Doğada bulunan bor minerallerinin sayısı 230’dan fazladır. Bunların içinde ticari olarak en yaygın olanları ise kolemanit, tinkal, pandemit, üleksit, kernit, borasit, szaybelit ve hidroborasittir. Bor cevherleri dünya üzerinde belli başlı 4 bölgede toplanmış olup bunlar Türkiye, Rusya, Güney Amerika ve ABD’dir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; Kılınç, vd., 2001; İpekoğlu, vd., 1987; Özkan, vd., 1997). Bunlar, Türkiye’nin yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemer”, Doğu Rusya, Güney Amerika’daki “And Kemer” ve ABD’nin Kaliforniya eyaletinde yer alan “Morale Çölü”nde bulunmaktadır (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016). Her ne kadar bor cevheri bu 4 bölge de yoğunlaşmışsa da bor ticaretinin büyük kısmı 2 ana üretici olan Eti Maden ve Rio Tinto tarafından yapılmaktadır.

Bor madeninin dünyanın ve ülkemizin dikkatini çekmesi aslında dünyanın en büyük ordusuna sahip ABD’nin 1950’li yıllarda onu nükleer silahlanmadan sonra 2.en önemli stratejik malzeme olarak tanımlamasıyla başlamıştır. Söz konusu tanımlamaya göre bor stratejik bir maden olup geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve o tarihlerde (1958-1961) pazarlaması kontrol altına alınmıştır (DPT, 2001; Kimyamuhendisi, 2018; Bor Ltd, 2018).

Ülkemizde bor madenlerini işletme hakkına sahip olan Eti Maden’in şimdiki amacı katma değeri yüksek bor kimyasalları üreterek bor bileşiklerinin endüstride kullanılabilirliğini artırmaktır. Bunun için gerek Eti Maden kendi bünyesi içinde gerekse üniversiteler çok sayıda Ar-Ge çalışması yürütmektedir.

Bor cevherinin kullanımını artıracak en önemli buluş onun enerji kaynağı ya da taşıyıcısı olarak kullanılmasıyla sağlanacaktır. Bunun için en ideal olan düşünce hidrojen enerjisidir. Zira hidrojen enerjisi emisyonu olmadığından temiz bir enerji kaynağıdır hem de yüksek enerji verimliliği vardır. Fakat birçok pil, akü ve üretim aygıtında kullanılan hidrojenin eldesi, nakli ve depolanması oldukça güçtür. Çünkü hidrojen gaz halindeyken çok büyük hacim kaplamakta olup, sıvılaşması da ancak -252°C lerde mümkün olduğundan söz konusu cihazların verimleri düşüktür. Aynı zamanda hidrojenin patlayıcı bir gaz olması da hesaba katıldığında bu enerji çeşidinin depolanması ve naklinin ne kadar ciddi risk ihtiva ettiği daha iyi anlaşılmaktadır. Bor bileşiklerinin yüksek hidrojen taşıma özelliklerinden dolayı gelecekteki yakıt taşıyıcıları olabileceği gündeme gelmektedir (Kılınç, vd., 2001; Alp, vd., 1995; Bor Ltd, 2018).

Bilim adamlarına göre gelecekte petrol ve dizel yakıtların yerini alacak olan bor cevherlerinin %72 si ülkemizde olmasına rağmen, ülkemiz bu avantajını değerlendirememektedir. Gerek rafine bor ürünleri gerekse bor uç ürünlerinden elde edilen gelir potansiyelin oldukça altında kalmaktadır (Kılınç, vd., 2001; Güyagüler, 2001; Kılıç, 2004; Bor Ltd, 2018).

Aslında Türkiye Dünyanın en büyük bor üreticisi olarak dünya bor pazarını domino edip fiyatları belirleyici ülke olma potansiyeline sahiptir. Ancak ileri teknoloji eksikliğinden dolayı bu pazarın kontrolünü de teknolojik alt yapısını sağlamış olan gelişmiş ülkelerin sağladığını da belirtmek gerekir (Kılınç, vd., 2001; Kılıç, 2004; Alp, vd., 1995; Bor Ltd, 2018).

Seramik sektörü ise, hem sağladığı istihdam hem de ihracattaki etkin rolüyle Türkiye ekonomisi için önemli bir yere gelmiştir. Kuşkusuz sektörün bu başarısında kullanılan hammaddelerin yerli olmasının büyük katkısı vardır. Seramik çamurunda kullanılan hammaddelerin özellikleri çok önemlidir. Bir seramik bünyede istenilen performansı yakalayabilmek için kullanılan hammaddelerin etkilerini çok iyi tespit etmek ve karışım oranları bu etkilere göre belirlemek gerekmektedir. Dolayısıyla bir seramik bünyenin ana girdisi olan killerin de hem rezerv olarak hem de kalite olarak özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekir.

Ülkemizde son 30 yıldır yapılan tüm aramalara rağmen İstanbul/Şile bölgesinde bulunan kil yatakları kadar hem kalite hem de rezerv bakımından başka bir kaynak bulunamamıştır (Sipahi, vd., 2011). Bu konu ile ilgili olarak T.C Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan eylem raporunda söz konusu Şile bölgesinin sit alanı olarak kapatılması durumunda sektörün ciddi bir problem yaşayacağı öngörülmüş ve alternatif hammaddelerin araştırılmasına yönelik ar-ge çalışmalarının yapılması gündeme gelmiştir. Bu konu ile ilgili olarak da ikincil

hammadde kaynağı olarak tanımlanan atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar ortaya çıkmıştır.

Sanayi ve enerjinin hammaddesi olan doğal kaynaklardan ne kadar büyük oranda ne kadar verimli ve akılcı yöntemlerle yararlanabiliyorsa toplumlar o kadar gelişmiş ve kalkınmışlardır (Yamık, vd., 2004).

Yukarıda da belirtildiği üzere Eti Maden İşletmelerinin sahalarında bulunan bor cevherinin kalite iyileştirme işlemleri sonucunda her yıl sürekli olarak çok miktarda atık ortaya çıkmaktadır. Azımsanmayacak ölçekte bor atığı ve kil içeren bu atıkların seramik sektöründe değerlendirilmesi sağlayacağı ekonomik katkının yanında çevreninde korunarak doğa tahribatı ve buna paralel olarak hava, toprak ve su kirliliğini önlemeye de katkı sağlayacağı açıktır.

Seramik sektörü belli başlı alt sektörlerden oluşmaktadır. Bunlar;

- Seramik yer ve duvar karoları
- Banyo ve mutfaklarda kullanılan lavabolar, klozetler, rezervuarlar
- Tuğla-kiremit gibi inşaat malzemeleri
- Refrakter harç ve tuğla malzemeleri
- Çanak-tabak vb. gibi mutfak eşyalarıdır (OAİB, 2014).

Yapılan bu çalışmada, atık göletlerindeki kil+kolemanit içeren atıkların öncelikle birbirinden ayrılması hedeflenmiştir. Elde edilen konsantre borun tarım sektöründe kullanılmasının yanı sıra kilce zengin olan nihai atığın tuğla-kiremit üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. BOR MİNERALLERİ, REZERV BÖLGELERİ, ÜRETİM SÜREÇLERİ, ÜRETİCİLER VE KULLANIM ALANLARI

2.1. Bor Mineralleri

Bor ürünlerinin çeşitli uygulama alanları olup ülkelerin ekonomileri için önem taşımaktadır. Doğada yaklaşık 230 kadar farklı bor minerali bulunmakta olmasına rağmen bunların arasından çok az bir kısmı ticari öneme sahiptir. Borat grubuna ait olan bu mineraller arasında endüstriyel ve ticari önem taşıyanları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Garrett, 1998).

Çizelge 2.1. Doğada yaygın olarak görünen ticari bor mineralleri (Boren, 2018).

Mineral	Formül	B ₂ O ₃ içeriği
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8
İnyoit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	37,6
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50,5
Meyerhofferit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .7H ₂ O	46,7
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5
Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	48,8
Kernit	Na ₂ B ₁₄ O ₇ .4H ₂ O	51
Szaybelit	Mg ₂ B ₂ O ₅ .H ₂ O	41,4
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2

Yukarıdaki Çizelge 2.1'den de anlaşıldığı gibi sanayi de kalsiyum, sodyum ve magnezyum bazlı bor bileşiklerinden faydalanılmaktadır. Bunların arasından Türkiye'de en yaygın olarak bulunan bor mineralleri ise kalsiyum bazlı kolemanit, sodyum bazlı tinkal ve sodyum+kalsiyum bazlı üleksittir.

2.1.1. Tinkal (Boraks)

Tinkal (Boraks) buharlaşmanın olduğu ortamlarda oluşmakta olup renksiz ve saydam olarak gözükmemektedir. Ancak içeriğindeki diğer minerallerden dolayı pembe, sarımsı, gri gibi renklerde de görülebilmektedir. Tinkal mineralinin kimyasal bileşimi Na₂B₄O₇.10H₂O şeklindedir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka da üretilen tinkal cevherinin %60'ı yurt içinde tüketilmektedir. Sertliği 2- 2,5, özgül ağırlığı 1,7 gr/cm³ B₂O₃ içeriği %36,5'dir. Tinkal suyunu

kaybederek çok basit bir şekilde tinkalkonite dönüşmektedir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008).

2.1.2. Kolemanit

Kolemanit doğada renksiz, beyaz ve yarı şeffaf renklerinde görülebilmekte olup bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Kolemanit mineralinin kimyasal bileşimi $Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$ şeklindedir. Sertlik derecesi 4-4,5, özgür ağırlığı ise 2,42'dir. Diğer bor minerallerinden daha sert olması kristal formunu da etkilemektedir. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada ABD'de bulunur (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008).

Kolemanit minerali suda yavaş çözünürken HCl de daha hızlı çözünebilir. Hatta sıcak HCl' de çözeltili soğuyunca borik asit ayrılır. Kolemanit aynı zamanda kalsit mineraline de dönüşebilir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008; Balıkesir Üniv, 2018).

2.1.3. Üleksit

Ülkemizde Emet, Kırka ve Bigadiç'te dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve probertit ile birlikte bulunur. Üleksit mineralinin kimyasal bileşimi $NaCaB_5O_9.8H_2O$ şeklindedir. Eskişehir-Kırka'da borat yatakları içinde boraks, kolemanit ve inyonit ile kil tabakaları içinde ise kurnakovit ve inderit ile beraber bulunmaktadır. B_2O_3 , içeriği %43'tür (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008).

2.1.4. Hidroborasit

Hidroborasit mineralinin kimyasal bileşimi $CaMgB_6O_{11}.6H_2O$ şeklindedir. Kolemanitteki 2 CaO' da ki bir CaO yerine MgI geçmiş ve hidroborasit minerali oluşmuştur. Hidroborasit, yapısında hem kalsiyum hem de magnezyum bulundurduğundan magnezyum-kalsiyum hidrat boratıdır.

Monoklinik bir hücre yapısına sahip olup bir merkezden ışınsal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele çizgilerle birbirlerini kesen kümeler şeklinde görünürler ve lifsi yapıları sahiptirler. Beyaz renkte, bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Asitlerde kolayca erir. Soğuk suda hemen hemen çözünmez.

Ülkemizde en çok Emet ve Kestelek yörelerinde görülür. Kolemanit, üleksit bazen tünelit ile birlikte rastlanır. Sovyet Rusya'daki İnder bölgesinde geniş hidroborasit yatakları bulunmaktadır. Rusya bu hidroborasitle boraks ve borik asit üretimi yapmaktadır. Ayrıca

Kaliforniya ve Kafkasya’da da hidroborasit üretimi yapılmaktadır. (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008; Balıkesir Üniv, 2018).

2.1.5. Pandermit

Ülkemizde Bigadiç-Sultançayır ve Bigadiç yataklarında gözlenmekte olan pandermit mineralinin kimyasal bileşimi $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Sertlik derecesi 3-3,5 mohs arasında olup kalsit ve florit arasında bir değerdir. Beyaz renktedir. Toprağımsı bir parlaklığa sahiptir. Suda çözünmez ama asitlerde kolayca çözülür (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008).

2.1.6. Propertit

Ülkemizde Emet, İçdeköy ve Doğanlar bölgelerinde Dünyada ise ABD Kramer yataklarında görülür. Kimyasal formülü $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ şeklinde olup B_2O_3 içeriği %49,6’dır. Özgül ağırlığı 2,14 olup sertliği 3,5 tur. Renksiz, kirli beyaz ve açık sarımsı renklerde görülebilir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; DPT, 2008).

2.2. Bor Madenleri Rezerv Bölgeleri

Ticari önem taşıyan bor madenleri dünyanın yalnızca birkaç ülkesinde yoğunlaşmış durumdadır. Bu sebeple bu ülkeler için bor cevheri stratejik önem taşımaktadır.

Literatürde bor rezervleri ile ilgili çok farklı ilgiler bulunmaktadır. Ancak Eti Maden, USGS Mineral Commodity Summaries ve BOREN gibi güvenilir kaynaklara göre ülkelerin bor rezervleri Çizelge 2.2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. 2015 yılı Dünya bor rezervleri (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016).

ÜLKELER	Toplam Rezerv (Bin Ton)	Dağılım (%)
Türkiye	952 000	73,2
A.B.D.	80 000	6,1
Rusya	100 000	7,7
Çin	47 000	3,6
Şili	37 000	2,8
Sırbistan	24 000	1,8
Peru	22 000	1,7
Diğer ülkeler	39 000	3,1
TOPLAM	1 301 000	100

Çizelge 2.2'den de görüldüğü üzere dünya geneli bor rezervi dağılımında Türkiye'nin payı %73,2 iken en yakın takipçisi konumundaki Rusya'nın payı ise %7,7'de kalmaktadır.

2.2.1. Türkiye

Emet bor sahası: Emet borat yatakları 1956 yılında alman jeolog Dr. J. Gawlik tarafından keşfedilmiş olup 1958 yılında işletilmeye başlanmıştır. Bölgedeki en önemli bor sahaları Hamamköy, Hisarcık, Espey ve Killik ocaklarıdır. Bunlardan en büyüğü Hisarcık ocağı olup, günümüzde Hisarcık ve Espey ocaklarından üretim yapılmaktadır. Emette bulunan bor cevheri başlıca kolemanittir. Bununla beraber az miktarda üleksit, meyerhofferit veya hidroborasit de bulunur. Nadir görülen boratlardan olan veatchite $A(Sr_2 B_{11} O_{16}(OH)_5 \cdot H_2O)$, tunnelite $[SrB_6O_9(OH)_2 \cdot 2H_2O]$, teruggite $[Ca_4MgAs_2 B_{12}O_{22}(OH)_{12} \cdot 14H_2O]$ ve cahnite $[Ca_2B(OH)_4AsO_4]$ mineralleri de bu bölgede tespit edilmiştir. Emet'te tahmin edilen kolemanit rezervi miktarı yaklaşık olarak 424 milyon tondur (Helvacı, 1984).

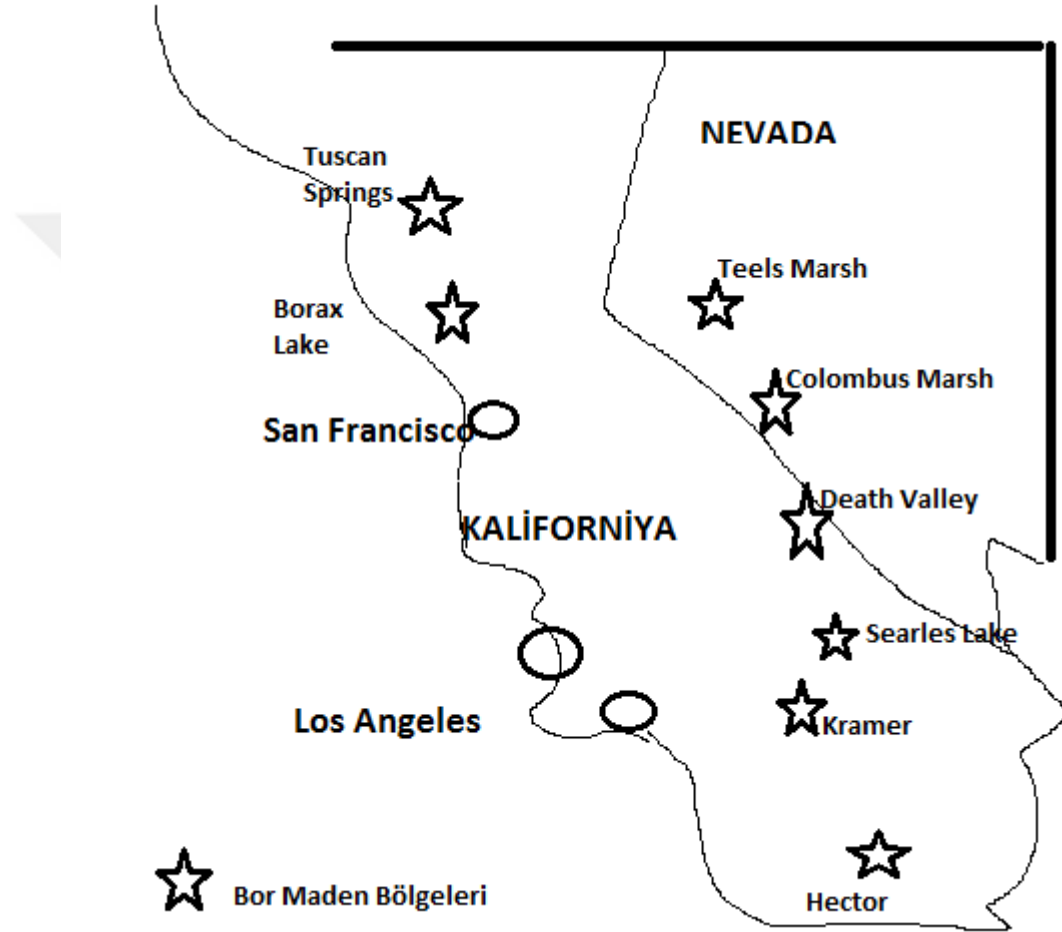
Kırka bor sahası: Kırka yerleşim olarak Eskişehir'in Seyitgazi ilçesine bağlı bir kasabadır. Bu bölgede 1960'lı yıllarda yapılan çalışmalarda önce kolemanit bulunmuş daha sonra yapılan kapsamlı çalışmalardan sonra sahanın dünyanın en büyük boraks yatakları olduğu tespit edilmiştir. Bölgenin boraks rezervinin en az 500 milyon ton olduğu (bor trioksit içeriği %25 olarak) olduğu bilinmektedir. Sahada çalışmalar 1975 yılında başlamıştır. Jeolojik yapılanmaya bakıldığında boraks (tinkal) yatakları üleksit tarafından, üleksitte kolemanit tarafından kuşatılmaktadır. Bölgede küçük miktarlarda da inyoit, kurnakovit, inderit, hidroborasit ve tinkalkonit bulunmaktadır (Helvacı, vd., 1993).

Bigadiç bor sahası: Bigadiç, Balıkesir ilinin güney doğusunda bulunan bir ilçe olup dünyanın en zengin üleksit ve kolemanit yatakları yer almaktadır. Söz konusu bor yataklarının 1950'li yıllarda ticari kullanımı başlamış olup 1960'lı yıllarda ise jeolojik taslağı hazırlanmıştır (Bekişoğlu, vd., 1962). Bölgede işletilen ocaklar Simav, Tülü ve Acep'tir. Tahmin edilen rezervi 935 milyon ton olarak gösterilmektedir (Garrett, vd., 1998). Bigadiç bor yatağı ülkemizdeki diğer bor yataklarından daha düşük miktarda arsenik ve sülfat içermektedir.

Kestelek bor sahası: Günümüzde işletilmeyen bu ocak ismini Bursa ilinin Mustafakemalpaşa ilçesine bağlı bir köyden almaktadır. Söz konusu ocaktaki toplam rezervin 4 milyon ton olduğu tahmin edilmekte olup başlıca cevher ise kolemanittir. Az miktarda da üleksit, probertit ve hidroborasitte bulunmaktadır (Garrett, vd., 1998).

2.2.2. Amerika Birleşik Devletleri

ABD, Türkiye'den sonra dünyanın en büyük ikinci bor rezervine sahip ülke konumundadır. Ülkenin bor yatakları Kaliforniya ve Nevada bölgelerinde olup çıkarılan cevherler tinkal ve kernittir. Ayrıca Searles Gölü'nde de önemli miktarda borat madeni bulunmaktadır.



Şekil 2.1. ABD'deki bor sahaları.

Searles Lake: Searles Lake Kaliforniya'nın San Bernardino ilçesinde Mojave Çölü'nde bulunan bir kapalı havza gölüdür. Ocakta çözelti madenciliği yapılmaktadır. Gölün ortalama kalınlığı 40 metre civarında olup ağırlıklı olarak soda külü üretilmektedir. Tesisin kapasitesi yaklaşık olarak 2 milyon tondur (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016).

Kramer Deposit: Kramer bölgesi Mojave Çölü'nün batısında yer alan Boron kasabasında yer alır. Söz konusu bölgede dünyanın ikinci en büyük borat yatakları bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 8 km uzunluğunda ve 1,6 km genişliğindeki bir bölgeyi kapsayan maden havzasında

sodyum ve kalsiyum bazlı bor mineralleri bulunmaktadır. Sadece sodyum borat içeren bölgenin uzunluğu 2,4 km olup genişliği ise 0,8 km'dir. Saflık derecesi yüksek olan boraks yatağının kalınlığı 17-69 metre arasında değişmektedir (Garrett, vd., 1998).

Death Valley: Burası güney Kaliforniya ile Nevada sınırında bulunan bir vadidir. Amerikan bor madenleri sanayisinde önemli roller oynamış olan söz konusu maden havzasında kolemanit, üleksit ve probertit bulunmaktadır. Ancak ocakta, 2005 yılından beri üretim yapılmamaktadır (Kistler, vd., 2006).

2.2.3. Güney Amerika ülkeleri

Güney Amerika'da maden bulunan sahaların sayısı yaklaşık olarak 30 olmakla beraber işletilen sahaların sayısı 15'tir. Bunların tümü de And Dağlarında ve Şili, Bolivya, Arjantin ve Peru sınırındadır. Bölgede çoğunlukla üleksit ve borasit bulunmakta olup az miktarda da kolemanit ve hidroborasit bulunmaktadır. Son yıllarda borik asit üretimi de yapılmaktadır. Güney Amerika'daki bor rezervine sahip ülkelerin sahaları ve cevher adları şöyledir (Kistler, vd., 2006).

- ✓ Şili, Salar De Aguas Calientes, Üleksit
- ✓ Şili, Salar De Quisquiro, Üleksit
- ✓ Şili, Salar De Surire, Üleksit
- ✓ Şili, Salar De Ascotan, Üleksit
- ✓ Şili, Salar De Atacama, Göl Suyu Arjantin, Salar Centenario, Üleksit
- ✓ Arjantin, Salar De Cauchari, Üleksit
- ✓ Arjantin, Salar De Pastos Grandes, Üleksit
- ✓ Arjantin, Tincalayu, Boraks
- ✓ Arjantin, Loma Blanca Deposit, Boraks
- ✓ Bolivya, Salar De Chalviri, Üleksit
- ✓ Bolivya, Salar De Uyuni, Göl Suyu
- ✓ Bolivya, Laguna Capina/Slar Pastos Grandes, Üleksit
- ✓ Bolivya, Rio Grande, Üleksit
- ✓ Peru, Laguna Salinas, Üleksit

2.2.4. Asya ve diğer ülkeler

Rusya, Kazakistan ve Çin de önemli bor yatakları mevcuttur. Rusya'da işlenen bor madeni başlıca %9-12 B₂O₃ içerikli datolit iken Çin'de daha çok magnezyum bazlı (Askarit) bor madenleri üretilmektedir. Cevherlerin tenör değerleri bor trioksit olarak %3-10 arındadır.

Tacikistan, Hindistan, İran ve Kuzey Kore'de de bor yatakları keşfedilmiş olup söz konusu ülkelerin önem teşkil eden üretimleri yoktur (Eti Maden, 2018).

Günümüzde ticari önem taşımayan ve çeşitli ülkelerde bulunan bor maden bölgeleri aşağıda özetlenmiştir. (Garrett, vd., 1998; Yünlü, 2016).

Hindistan: Keşmir bölgesindeki Puga vadisinde sıcak su kaynaklarından kaynaklanan dünyanın en eski ticari borat yatakları (kernit) mevcuttur.

Tacikistan: Tacikistan'ın güneyindeki dağlık bölgelerde bazı bor silikat (Örneğin: Danburit [$CaB_2Si_2O_8$]) yatakları mevcuttur.

Sırbistan: Son yıllarda bu ülkede zengin Lityum borat yatakları keşfedilmiş olup Rio Tinto firmasının bu yataklarla ilgilendiği bilinmektedir.

İtalya: Larderello şehrinde bulunan fümerollardan çıkan sudan borik asit elde edilmesi mümkündür.

İran: Zencan eyaletindeki Kara Göl yataklarında üleksit ve hidroborasit rezervleri bulunmaktadır.

2.3. Bor Mineralleri Üretim Sahaları, Üretimciler ve Karşılaştırmalar

Dünya üzerinde bor cevherlerini üreten ülke sayısı 10 civarındadır. Ancak başta Türkiye olmak üzere ABD ve Rusya'nın dünya bor pazarında belirgin şekilde hâkimiyeti söz konusudur. Türkiye'nin ise bor üretimi 1970'li yıllardan beri sürekli şekilde büyümüştür.

Çizelge 2.3. Ülkelerin 2015 yılı bor üretim kapasiteleri (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016; Roskill Information Services, 2006).

Ülke	(Kurulu Kapasite 1000 ton, B_2O_3 olarak)
Türkiye	1212
ABD	661
Rusya, Çin, Hindistan	492
Arjantin, Şili, Peru, Bolivya	379
Toplam	2744

Üretim 1970 yılında yalnızca 300 bin ton iken geçen yıllarla birlikte ülkeler bor üretim kapasitelerini de artırmış ve Çizelge 2.3'ten de görüldüğü gibi 2015 yılında toplam olarak 2744 bin ton seviyelerine ulaşmıştır.

2.3.1. Türkiye

Türkiye’deki yataklar dünyanın en büyük bor yatakları olup Batı Anadolu’da L şeklini andıran bir yapıdadır. Buna göre borat yatakları 150 km kuzey-güney doğrultusunda 300 km de doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır. Aşağıda Türkiye’deki bor rezervleri bölgesel olarak ele alınmıştır. Söz konusu bor yataklarının tümü açık işletme yöntemleriyle çalışmaktadır (Garrett, vd., 1998; Albayrak, vd., 1985). Eti Maden İşletmeleri 1998 yılından itibaren öğütme tesislerini, 2004 yılında Emet Borik Asit tesislerini, 2006 yılında Bandırma Bor oksit tesislerini, 2008 yılında da Kırka kalsine tinkal ve susuz boraks tesislerini devreye almıştır.

2015 yılı sonu itibariyle bor kimyasal ve eşdeğerleri üretim kapasitesi 2,186 milyon ton/yıla ulaşmıştır. Bununla beraber üretim miktarı ise 1,8 milyon tonda kalmıştır. Bunun en önemli sebebi ise 2015 yılında dünyadaki ekonomik durgunluk olarak gösterilebilir. Zira bor ve bor ürünleri sanayide birçok alanda kullanıldığı için bu sektörlerdeki durgunluk bor ve bor ürünleri üretimini de azaltmaktadır.

Eti Madenin ürünler bazındaki üretim kapasiteleri ise aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Eti maden bor kimyasalları ve eşdeğer ürün üretim kapasiteleri (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016).

Ürünler	Ton/Yıl
Boraks Dekahidrat (Bandırma)	115 000
Borik Asit (Bandırma)	95 000
Borik Asit (Emet)	290 000
Sodyum Perborat (Bandırma)	35 000
Bor Oksit (Bandırma)	2 000
Boraks Pentahidrat (Kırka)	840 000
Kalsine Tinkal (Kırka)	5 000
Öğütülmüş Kolemanit (Bigadiç)	700 000
Boraks Dekahidrat (Kırka)	80 000
Susuz Boraks (Kırka)	10 000
Zirai Bor (Bandırma)	8 000
Camsı Bor Oksit (Bandırma)	6 000
Toplam	2 186 000

Çizelge 2.4’ten de görüldüğü üzere Eti Maden bor kimyasalları ve eşdeğer ürünleri bakımından 2015 yılı itibariyle toplam olarak 2 186 000 tona ulaşmıştır.

Eti Maden özellikle 2000'li yılların başından itibaren katma değeri yüksek bor kimyasallarının üretim ve satışına hız vererek karlılığını artırma politikasına gitmiştir. Bu politikaya uygun olarak konsantre bor satışlarının payı azalırken, bor kimyasallarının satışı ise sürekli olarak artmıştır.

Eti Madenin 2000 yılındaki konsantre bor satışının oranı %47-48 iken bu oranın yıllar içinde sürekli olarak düşerek 2015 yılı itibariyle %3-4 seviyesine düştüğü görülmektedir. Diğer yandan bor kimyasallarının satışı ise 2000 yılında %53 iken yıllar içerisinde sürekli olarak artarak 2015 yılında %97'lik bir oranla zirve yapmıştır. (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016).

Emet Bor İşletme Müdürlüğü

İşletme Kütahya'ya 100 km mesafedeki Emet ilçesinde kuruludur. Bölgede ki maden varlığı 1956 yılında tespit edilmiş olup ilk işletme 1958 yılında Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Şantiye Şefliği adı altında kurulmuştur. Zamanla adı değişmiş ve en son 31.01.2004 tarihinde alınan kararla Emet Bor işletme Müdürlüğü adını almıştır. İşletmede bulunan üretim tesisleri şunlardır.

Espey Açık Ocak: Tüvenan cevheri örten tabaka yüklenici tarafından delme-patlatma yöntemleriyle temizlenir. Tüvenan cevher üretimi ise Nisan-Eylül ayları arasında 0., 1., 2., ve 3. zonlardan yapılmaktadır. Cevher gevşetme patlatmasını müteakip ekskavatörler yardımıyla kamyonlara yüklenmektedir. Buradan da cevherler ya stoklar bölgesine taşınmakta ya da direkt olarak konsantratör tesisine beslenmektedir.

Espey Konsantratör: Yıllık kapasitesi 600 000 ton olan Espey konsantratör tesisinde stoklardan ya da açık ocaktan gelen -500 mm boyutlu cevher önce siloya alınır. Silo altındaki paletli besleyici sayesinde 75 mm'lik kalibreli eleğe beslenen cevher -75 mm ve -500+75 mm olarak iki gruba ayrılır. Bunlardan -500+75 mm boyutundaki cevher çeneli kırıcıda -100 mm tane boyutuna indirgendikten sonra tromel yıkayıcıya beslenmektedir. -75 mm boyutundaki cevher ise bant konveyör yardımıyla 25 mm boyutlu kalibreli eleğe beslenerek gene iki farklı ürün elde edilir. 25 mm'nin altındaki boyutta olan cevher artık stokuna alınırken, -75+25 mm boyutundaki cevher kütüklü yıkayıcıya verilir. Kütüklü yıkayıcıdan çıkan cevher, elek açıklığı 3 mm ve 25 mm olan çift katlı titreşimli elekten geçirilerek 3 farklı ürüne ayrıştırılır. Bunlardan -75+25 mm boyutundaki cevherde tromel yıkayıcıya beslenir.

Çeneli kırıcıdan gelen -100 mm boyutundaki cevherle kütüklü yıkayıcıdan gelen -75+25 mm boyutundaki cevher tromel yıkayıcıda basınçlı suyla yıkanarak zenginleştirildikten sonra tromelin ucundaki eleklerle gelir. Buradaki 3 mm ve 25 mm elek açıklığından geçen cevherler

sonuçta -3 mm, -25+3 mm ve -100+25 mm olmak üzere üç gruba ayrıştırılır. Bunlardan -3 mm ve -25+3 mm boyutlu olanlar kendi stoklarına alınır. -100+25 mm boyutundaki cevher ise içinde kalsit, kil, kalker gibi gang mineralleri de bulunduğundan triyaj işlemine alınarak son kez zenginleştirilir.

Espey konsantratör tesisine 2017 yılı verilerine göre beslenen 600 000 ton tüvenan cevherden yaklaşık olarak 175 000 ton 25-100 mm, 10 000 ton 3-25 mm, 30 000 ton 0-3 mm konsantreleri elde edilirken yaklaşık olarak 75 000 ton malzeme de atık barajına atılmıştır. Geri kalan miktar ise pasa ve kaba atık olarak stoklanmıştır.



Hisarcık Açık Ocak: Tüvenan cevheri örten tabaka yüklenici tarafından delme-patlatma yöntemleriyle temizlenir. Tüvenan cevher üretimi ise Nisan-Eylül ayları arasında tavan, taban 0., 1., 2., ve 3. zonlardan yapılmaktadır. Cevher gevşetme patlatmasını müteakip ekskavatörler yardımıyla kamyonlara yüklenmektedir. Buradan da cevherler ya stoklar bölgesine taşınmakta ya da direkt olarak konsantratör tesisine beslenmektedir.

Hisarcık Konsantratör: Teorik olarak 180 ton/saat kapasiteli Hisarcık konsantratör tesisine stoktan ya da açık ocaktan nakledilen cevher önce 90 m³ kapasiteli stoka alınır. Buradan saatlik kapasitesi 180 ton olan ve 5⁰ olan paletli besleyici yardımıyla aynı kapasitedeki 13⁰ eğimli ve 75 cm elek açıklığı olan kalibreli eleğe beslenir. Bu ekipmandan sonra cevher -75 mm ve +75 mm olmak üzere iki gruba taksim edilmiş olur. +75 mm'lik ürün 100 t/h kapasiteli çeneli ve merdaneli kırıcıda önce -200 mm'ye sonra -100 mm boyutuna kırıldıktan sonra yıkama ünitesine gönderilir.

-75 mm'lik ürün ise elek açıklığı 25 mm olan 14⁰ eğimli ve 100 ton/saat kapasiteli ikinci bir elekten geçirilir. Bu ekipmanla birlikte cevher -25 mm'lik ince pasa ve +25 mm'lik ürün elde edilir. +25 mm'lik ürün yıkama ünitesine gönderilir.

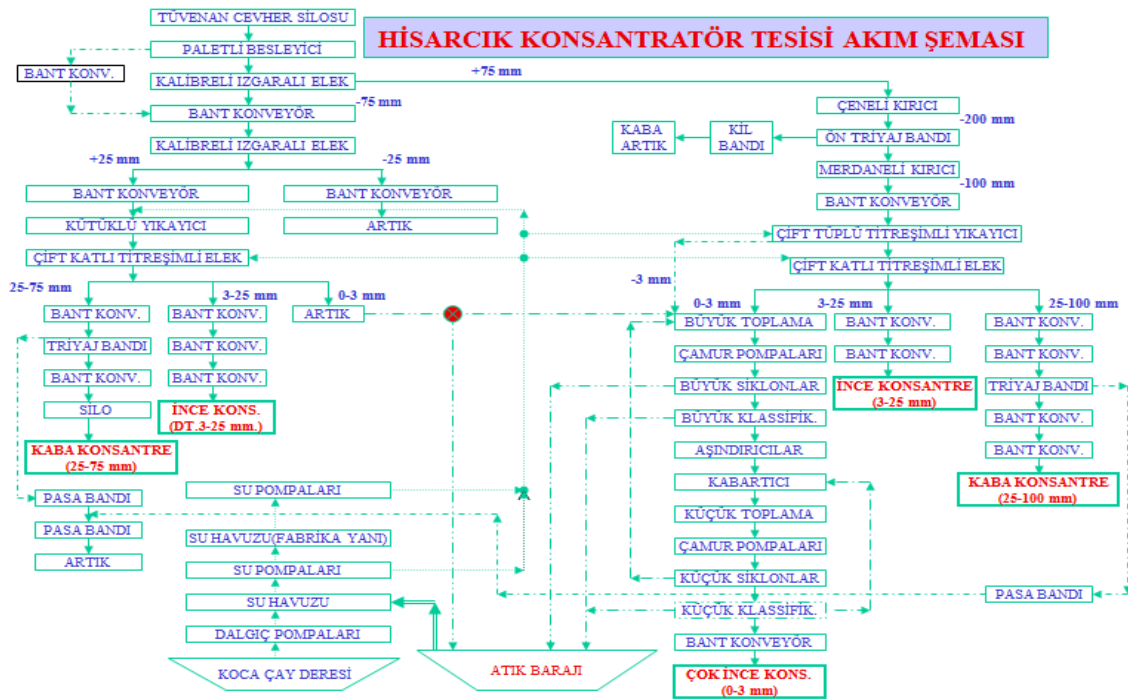
Merdaneli kırıcıdan çıkan -100 mm'lik ürün 2⁰ eğimli çift tüplü titreşimli yıkayıcı ile yıkanarak içindeki kilden temizlenir. Ürün içerisindeki ince tanecikler yıkayıcının gövdesinde bulunan 8 mm çapındaki elekten geçirilmek suretiyle 5 m³ kapasitedeki büyük toplama havuzuna aktarılır. Geride kalan iri parçalar ise yıkayıcıdan geçtikten sonra çift katlı titreşimli eleğe aktarılır. 100 ton/saat kapasiteli bu elekten sonra cevher -3 mm, -25+3 mm ve -100+25 mm olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

-100+25 mm boyutundaki cevher ayıklama işlemi için triyaj ünitesine gönderilir ve en son -100+25 mm boyutundaki konsantre cevher stok sahasına alınır.

Kalibreli elekten çıkan -75+25 mm boyutundaki ürün 100 ton/saat kapasitedeki kütüklü yıkayıcıya aktarılır. Kütüklü yıkayıcıda zenginleştirilen üründen şlam içeriği yüksek ve tenör oranı düşük olan kısımlar artık barajına, daha iri daha yoğun ve tenörce daha yüksek olan parçalar ise ikinci bir titreşimli eleğe (120 ton/saat) beslenir.

Çift katlı titreşimli elekten üç sınıf ürün elde edilir. Bunlardan -75+25 mm boyutunda olanlar triyaj ünitesine sevk edilir. -25+3 mm boyutundaki konsantre cevher ise düşük tenörlü olduğundan -25+3 mm düşük tenörlü ürün stok sahasına nakledilir. -3 mm boyutundaki ürün ise bypass sistemi sayesinde küçük toplama havuzlarına gönderilerek kırıcı ünitesinden gelen -3 mm cevherlerle birlikte zenginleştirilir ve -3 mm'lik konsantre ürün elde edilir.

Hisarcık konsantratör tesisine 2017 yılı verilerine göre beslenen yaklaşık 750 000 ton tüvenan cevherden yaklaşık olarak 280 000 ton 25-100 mm, 45 000 ton 3-25 mm, 30 000 ton 0-3 mm konsantreleri elde edilirken yaklaşık olarak 110 000 ton malzeme de atık barajına atılmıştır. Geri kalan miktar ise pasa ve kaba atık olarak stoklanmıştır. Şekil 2.3'te Hisarcık Konsantratör Tesisine ait akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hisarcık konsantratör tesisi akım şeması (Emet Bor İşletme Müdürlüğü Bilgi Notları).

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Eskişehir ili Seyitgazi ilçesi Kırka bucağının 4,5 km batısında yer almaktadır. Müessesenin demiryolu bağlantısı 23 km mesafedeki Değirmenözü istasyonundan yapılmakta olup çıkarılan cevher tinkaldir. Kırka işletmesinde ocak açık işletme yöntemiyle yılın 10 ayı (Ocak-Şubat hariç) boyunca çıkarılmakta olup ocak ve şubat aylarında ağır kış koşullarından dolayı cevher çıkarımı yapılmamaktadır.

Dünyanın en büyük boraks yatağı olan Kırka-Sarıkaya boraks yatağı 1950-1960'lı yıllarda girişimci Türk vatandaşlarının yaptığı araştırmalarla tespit edilmiştir. 1962 yılında ise bu yataklar bir İngiliz şirketi olan Türk Borax şirketinin eline geçmiştir. Şirketin 1968 yılında belgelerinin eksik olması sebebiyle ruhsatları iptal edilince söz konusu yatakların üç tanesi Etibank'ın uhdesine geçmiştir. Etibank, 1969 yılında işletme projelendirme çalışmalarına

başlamış ve 1970 yılında tesisin kurulmasına başlanmıştır.16 Haziran 1970 yılında Kırka Sodyum Tuzu Şantiye Şefliği adıyla kurulan müesseseye zamanla çeşitli yatırımlar yapılmıştır. Günümüzde işletmede tüvenan cevherin Açık Ocak Konsantratör tesisi ve Rafine borların üretildiği Pentahidrat tesisleri ve borlu deterjan üreten fabrikalar da bulunmaktadır.

Ocaktan %23 B₂O₃ tenörü ve %6-7 nemle çıkarılan cevher konsantratör tesisinden çıktıktan sonra %32 B₂O₃ tenörüne ulaşmaktadır. Tesiste yıllık olarak yaklaşık 840 000 ton konsantre boraks üretimi yapılmaktadır.

Elde edilen ürünler şunlardır.

- ✓ Tinkal (Boraks Dekahidrat Na₂B₄O₇.10H₂O; min. %36 B₂O₃)
- ✓ Etibor 48 (Boraks Pentahidrat Na₂B₄O₇.5H₂O; min. %48 B₂O₃)
- ✓ Etibor 68 (Susuz Boraks, Na₂B₄O₇; min. %68 B₂O₃)
- ✓ Kalsine Tinkal (min %52 B₂O₃)
- ✓ Etimatik Borlu Temizlik Ürünü

Boraks pentahidrat üretimi için konsantre cevher 98 °C'de çözündürülerek 66 °C'de kristal halde ürün elde edilirken boraks dekahidrat için kristalizasyon sıcaklığı 46 °C'dir.

Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü

1968 yılından beri üretim yapılan bu işletmede diğer işletmelerde üretilen bor mineralleri katma değeri yüksek rafine bor ürünlerine dönüştürülmektedir. Bandırma bor işletme müdürlüğündeki fabrikalar, ürünleri ve kapasiteleri aşağıdaki Çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Bandırma bor işletme müdürlüğü üretimleri ve kapasiteleri (Yünlü, 2016).

Fabrikalar	Ürünler	Kim. Formül	Kapasite (ton/yıl)
Boraks Fabrikası	Boraks Dekahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	200.000
	Boraks Pentahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	150.000
Borik Asit Fabrikası	Borik Asit	H_3BO_3	150.000
	Boraks Dekahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	100.000
Etidot-67 Fabrikası	Etidot-67	$\text{Na}_2\text{B}_6\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	8.500
Camsı Bor Oksit Ve Susuz Boraks Fabrikası	Bor Oksit	B_2O_3 (amorf, camsı)	6.000
	Susuz Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	10.000
Amorf Bor Oksit Fabrikası	Amorf Bor Oksit	B_2O_3	3.200 ton/yıl
Sodyum Perborat Fabrikası	Sodyum Perborat Tetrahidrat	$\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40.000
	Sodyum Perborat Tetrahidrat	$\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	9.000
	Boraks Dekahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	65.000
	Sülfürik Asit	H_2SO_4	240.000
Sülfürik Asit Fabrikası	Sülfürik Asit	H_2SO_4	240.000
Öğütülmüş Kolemanit	Öğütülmüş Kolemanit		225.000

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

İşletme müdürlüğü Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusunda Osmanca Köyü yakınlarında kurulu olup işletilen cevher üleksit ve kolemanittir. Maden kazanımı işletme uhdesindeki üç açık ocaktan (Tülü, Acep ve Simav) yapılmaktadır. Çıkarılan cevher ilki 1980 yılında 150.000 ton/yıl kapasiteli olarak kurulup daha sonra kapasite artırımlarıyla günümüzde 945.000 ton/yıl kapasiteye ulaşmış olan konsantratör tesisinde işlenmektedir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2016).

İşletmede daha çok öğütülmüş ürün ihraç edilmekte olup, kimyasal kullanılarak üretilen bir ürün grubu bulunmamaktadır. Başlıca üretimler şunlardır.

- ✓ Konsantre Bigadiç kolemanit (Parçacık boyutu 3-125 mm, 25-125 mm, 3-25 mm, 0,2-3 mm)
- ✓ Konsantre Bigadiç üleksit (Parçacık boyutu 3-125 mm, 0,2-3 mm)
- ✓ Öğütülmüş Bigadiç kolemanit (Parçacık boyutu ~75 μ ve 45 μ)
- ✓ Öğütülmüş Bigadiç üleksit (Parçacık boyutu Parçacık boyutu ~75 μ ve 45 μ)

Bor varlığının 1954 yılında keşfedildiği Kestelek 'teki Başmühendislik işletmesi de Temmuz 2010 tarihinde yapılan bir düzenleme ile Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne bağlanmıştır. Kestelek'te üretilen ana cevher ise %29 B₂O₃ içerikli kolemanittir. Açık ocak yöntemiyle yılda yaklaşık 200.000 ton olarak üretilen cevher buradaki konsantratörde zenginleştirilmektedir. Başlıca ürünler şunlardır.

- ✓ %36 B₂O₃ içerikli konsantre kolemanit
- ✓ %38 B₂O₃ içerikli konsantre kolemanit
- ✓ %42 B₂O₃ içerikli konsantre kolemanit

2.3.2. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde bor cevherleriyle üretim yapan başlıca iki firma olup bunlar;

- ✓ Rio Tinto Minerals
- ✓ Searles Valley Minerals firmalarıdır.

Ayrıca American Borate Company adında bir ticari kuruluş daha vardır. Fakat bu şirket Eti Maden ürünlerinin distribütörlüğünü yürütmektedir.

Rio Tinto Borax

Rio Tinto Minerals Şirketi çok büyük bir madencilik şirketi olup dünya üzerinde alüminyum, demir, bakır, elmas, altın gibi ürünlerin madenciliğini yapmaktadır. Rio Tinto Borax ise Rio Tinto Minerals grubunun bor cevherleriyle ilgilenen alt grubunun adıdır. Bu şirket, dünya rafine bor ihtiyacının %40'ını karşılamakta olup dünyanın en büyük ikinci borat yatakları olan Kramer Deposit bölgesindeki Boron kasabası ile Wilmington şehirlerinde faaliyet göstermektedirler.

Şirket, başlıca tinkal ve kernit üretmekte olup yılda yaklaşık olarak 3 milyon ton maden üretmekte ve bunun işlenmesi ile toplam da 1 milyon ton katma değeri yüksek ürünler üretmektedir.

Şirketin 2005 yılı rafine borat üretimi 540.000 ton, 2008 yılı üretimi 591.000 ton ve 2009 yılında da talep düşüklüğünden dolayı 411.000 ton olduğu bildirilmiştir (Roskill Information Services, 2006; Rio Tinto, 2016).

Şirketin işlettiği Boron ve Wilmington tesislerindeki ürettiği ürünler şu şekildedir.

Boron tesislerindeki üretimler

- ✓ Borik asit
- ✓ Bor trioksit
- ✓ Sodyum tetraborat
- ✓ Sodyum tetraborat, dekahidrat
- ✓ Sodyum tetraborat, pentahidrat

Wilmington tesisindeki üretimler

- ✓ Amonyum pentaborat, tetrahidrat
- ✓ Potasyum pentaborat, tetrahidrat
- ✓ Potasyum tetraborat, tetrahidrat
- ✓ Disodyum oktaborat, tetrahidrat
- ✓ Disodyum tetraborat, pentahidrat
- ✓ Sodyum tetraborat, dekahidrat
- ✓ Borik asit
- ✓ Sodyum metaborat, tetrahidrat (granül)
- ✓ Sodyum perborat, dehidrat (granül)
- ✓ Çinkoborat

Şirketin bunların dışında Avrupa’da da şu işletmeleri bulunmaktadır.

- ✓ Couderkerque (Fransa): Katma değeri yüksek borat ürünlerinin üretimi yapılmakta olup aynı zamanda Avrupa içi dağıtım merkezidir.
- ✓ Nules (İspanya): Öğütme tesisi, Arıtma tesisi, depo binalar
- ✓ Rotterdam (Hollanda): Avrupa içi dağıtım merkezi.

Searles Valley Minerals

1914 yılında “American Trona Corporation” olarak kurulan bu şirket ABD’nin ikinci büyük boraks üreticisi konumundadır. Searles Valley Minerals şirketinin işlettiği 3 saha bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Argus İşletmesi
- ✓ Trona İşletmesi
- ✓ Westend İşletmesi

Bunların arasında yalnız Trona ve Westend işletmelerinde bor ürünleri üretilmektedir. Firmanın “Three Elephant” markası altında;

- ✓ Borik asit
- ✓ Susuz boraks (ticari adı: Pyrobor)
- ✓ Boraks, Pentahidrat (ticari adı: V-BOR)
- ✓ Boraks, Dekahidrat
- ✓ Disodyum oktaborat, tetrahidrat
- ✓ Amonyum pentaborat
- ✓ Potasyum pentaborat
- ✓ Çinkoborat, ürünlerini piyasaya sürmektedir (Yünlü, 2016).

2.3.3. Güney Amerika

Arjantin: 2009 yılında 790.000 ton ile Güney Amerika'nın en büyük bor üreticisi olan Arjantin'de bor üretimi yapan belli başlı 5 şirket bulunmaktadır (U.S. Geological Survey, 2010).

- Borax Argentina S.A. : Bu şirket Campo Quijano tesisinde ayırma, kristalizasyon, santrifüjleme ve kurutma yöntemlerini kullanarak çeşitli rafine borat ürünleri ve borik asit üretimi, Sijes ocağından ise hidroborasit üretimi yapmaktadır (Orocobre, 2016).
- Procesadora de Boratos Argentinos S.A. : Loma Blanca bölgesinde açık ocak yöntemiyle üretim yapan bu şirketin yaklaşık %13 B_2O_3 tenörlü 20 milyon ton bor rezervi bulunmaktadır. Başlıca üretimi ise Sodyum borat ve sodyum kalsiyum konsantresi olup ürünlerin B_2O_3 içerikleri %50-60 arasındadır (Ferro, 2016).
- Manufacturas Los Andes: Bu firma Salar Diablillos ve Antuca kuru/yarı kuru göllerden üleksit cevherinin kazanmakta ve bu cevherden %56 B_2O_3 tenörlü borik asit üretimi yapmaktadır. Yatağın yüzey alanının Dört milyon m^2 ve cevher kalınlığının da 0,8-1,5 m civarında olduğu bildirilmektedir (Mandes, 2016).
- Ulex, Empresa Minera: Firma Sol de Manana açık ocağından %28 B_2O_3 tenörlü kolemanit ve hidroborasit cevherlerini çıkarmakta ve klasik zenginleştirme işlemlerinden sonra B_2O_3 tenörleri %40 kolemanit ve %37 hidroborasit üretmektedir (Ulex, 2016).
- Minera Santa Rita: 1970 yılında kurulan bu şirket bor madeni olarak üleksit kazanmaktadır. 2005 yılında ki borik asit satışı 27,6 ton olmuştur. Firma daha çok Çin

ve Brezilya'ya satış yapmakta olup, piyasaya sunduğu bor ürünleri şunlardır (Santaritasrl, 2016; U.S. Geological Survey, 2006):

- ✓ Susuz üleksit,
- ✓ Camsı Sodyum tetraborat,
- ✓ Dekahidrat Sodyum pentaborat,
- ✓ Dekahidrat Disodyum oktaborat,
- ✓ Tetrahidrat Borik Asit

Şili: 2009 yılında 580.000 ton/yıl ile Güney Amerika'nın en büyük ikinci büyük bor maden üreticisi konumunda olan Şili de maden kazanımı ve işleme 2 firma tarafından gerçekleştirilmektedir.

- Quiborax: Şilinin en büyük üleksit madeni ve borik asit üreticisi olup yıllık cevher üretimi 550.000 ton yıllık borik asit üretimi ise (2008 yılı) 80.000 ton civarındadır (Quiborax, 2016).
- SQM: Güney Amerika'nın önde gelen sodyum ve potasyum nitrat üreticisi olan bu şirketin 2005 yılı borik asit satışı 6300 ton olarak gerçekleştirilmiştir. Firma öncelikli olarak tarım uygulamalarına yönelik üretim yapmakta olup bunla ilgili "NutrientKit" adı altında bor ürünlerinin tarım uygulamalarını gösteren bir raporu da bulunmaktadır (Sqm, 2016).

Bolivya: Bor yatakları And dağlarının Antiplano bölgesinde olup, toplam rezervin ise yaklaşık olarak 7,7 milyon ton olduğu tespit edilmiştir. Bolivya'da bor üretimi başlıca iki firma tarafından yapılmaktadır.

- Tierra S.A., Sociedad Industrial: Firma yatak kalınlığı 2 metreyi bulan üleksit yatağından %45 B₂O₃ değerinde Kalsine üleksit ve %99,5 granül borik asit elde etmektedir (Tierra, 2016).
- Socomirg: Bu firmanın da başlıca ürünü %35 B₂O₃ değerindeki üleksittir (Bizearch, 2016).

2.3.4. Asya ülkeleri ve diğer bölgeler

Rusya: Türkiye ve ABD'den sonra dünyanın en büyük bor rezervine sahip olan bu ilkede başlıca bor minerali %8-10 B₂O₃ içeriğine sahip olan datolittir [CaBSiO₄(OH)]. Türkiye gibi

Rusya’da da bor üretimi tek bir firma tarafından yapılmakta olup firmanın ismi JSC Bor’dur. Dalnegorsk mevkiinde bulunan bor yatağı açık işletme yöntemiyle üretim yapmakta olup cevher konsantratör tesislerinde zenginleştirilir ve %16 B₂O₃ içeren konsantre ürün elde edilir. Firmaya ait 180.000 ton/yıl kapasiteli 2 adet Borik Asit fabrikası bulunmakta olup fabrikaların yaptıkları üretim 120.000 ton/yıl olarak bildirilmektedir (Roskill Information Services, 2010; U.S. Geological Survey, 2008). Ürünlerini daha çok Çin, Japonya, Güney Kore gibi uzak doğu ülkelerine ihraç etmektedir.

Çin: Dünya bor rezervinin yalnızca %4’üne sahip olan Çin’de B₂O₃ bazında yaklaşık 44 milyon ton civarında rezerv olduğu bildirilmektedir (Roskill Information Services, 2006). Başlıca üretim alanları Qinghai Kuru Gölü ve Liaoning bölgelerinde olup tenör değeri B₂O₃ bazında %3-8 aralığındadır. Çin sahip olduğu bu rezervle önemli bir üretici olmamakla beraber ithal ettiği borik asit ve rafine ürünlerle önemli tüketiciler arasında yer almaktadır. Çin’in borik asit ve rafine borat ithalatı 2000-2008 yılları arasında %40 oranında artmıştır (Baylis, 2010).

Kazakistan: Sovyetler Birliğinin yıkılmasıyla beraber Kazakistan’da bulunan bor madenleri uzunca bir süre kapalı kalmıştır. 2006 yılıyla beraber KazInvestNedry adında bir şirket Artyrav bölgesindeki bazı ocakları işletmeye başlamış olup yıllık 50.000 ton konsantre ürün üretimi yapmaktadır. Kazanılan bor içeriğinin B₂O₃ bazında %10, işlendikten sonra ise %40 civarına yükseldiği bildirilmektedir. (Eng, 2018).

Sırbistan: Bu ülkede Piskanja ve Jadar bölgelerinde önemli bor yatakları bulunmaktadır. Piskanja bölgesinde 7milyon ton kolemanit-üleksit bulunduğu tespit edilmiştir (Roskill Information Services, 2010). 2004 yılında ise Rio Tinto mühendislerince Jadar bölgesinde ekonomik değeri yüksek olan Jaderit [LiNaB₃SiO₇(OH)] yatakları bulunmuştur. Bu mineralde borun yanı sıra lityumunda bulunması mineralin kullanım alanını artırmaktadır. Söz konusu sahada araştırma-değerlendirme işlemlerini yürüten Rio-Tinto firması jaderit mineralinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalarını devam ettirmekte olup, “Jadar Lithium Borate” projesi kapsamında borik asit ve lityum karbonat üretimi yapmayı planlamaktadır (Roskill Information Services, 2010; Riotinto, 2018).

3. SERAMİK HAMMADDELERİ

Seramik üretiminin en önemli hammaddeleri kil, feldspat ve silikadır. Kil, feldspat ve silikanın bulunduğu inorganik bileşenlerinde bulunduğu çamura seramik bünye denir. Bu çamurda;

Kil; seramik çamurunun kuruduktan sonra kalıcı şekil almasını sağlayarak plastikliği belirler.

Feldspat; pişirmede ergime özelliğini sağlayarak kristallerin birbirine bağlanmasını sağlar. Ancak seramik çamurunda yüksek oranda feldspat bulunması halinde üründe deformasyon görülür.

Kuars; plastik olmayan bir hammadde olup plastikliğin ayarlanması ve pişirmeden sonra da bünye mukavemetini sağlar.

Seramik hammaddeleri özlü ve özsüz olmak hammaddeler olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Arcasoy, 1983).

Özlü Seramik Hammaddeler suyla yoğrulabilir ve dağılmadan kolayca şekil alabilirler. Aynı zamanda kurduklarında da şekillerini muhafaza edebilirler. Feldspatların asidik ortamda bozunması sonucu oluşan kaolin, bazik ortamda bozunmasıyla oluşan montmorilyonit ve bu minerallerin doğal etkenler sonucu taşınmasıyla oluşan bentonitler özlü seramik hammaddeleri olarak bilinir. Özlü seramik hammaddeleri de kendi aralarında özlülük derecesine göre sınıflandırılırlar. Bu sıralama tane iriliklerine ve yoğrulmaları için alabildikleri su miktarına göre belirlenir. En özlü hammaddeler sırasıyla montmorilyonit yapıdaki bentonit, çeşitli yapıdaki killer ve kaolenlerdir.

Özsüz Seramik Hammaddeler ise suyla kolayca şekil almayan, şekil alsalar bile bir dış etkiyle şeklini muhafaza edemeyip dağılan maddelere denir. Kuvars, feldspat, talk, manyezit ve dolomit gibi minerallerde bu gruba örnek verilebilir (Taşpınar, 1997).

3.1. Kil Grubu ($Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$)

Seramik bünyede dolgu malzemesi olarak kullanılan killer bünyenin istenilen şekli almasını sağlayan plastiklik bileşenleridir. Kilin ana kayacı jeolojik devirlerde oluşmuş olan feldspatlardır. Feldspatların da asidik ortamda bozulması sonucu kaolin oluşur. Kaolinin de rüzgâr, su vb. gibi doğal şartlarla bulunduğu ortamlardan farklı ortamlara taşınarak arazi

içerisindeki çukurlara dolup buralarda zamanla çökmesi ile de kil yatakları oluşur (Güner, 1987).

Aşınma ve taşınma zamanı kaolinleşme ve killeşmeye etki edecek olan kimyasal olayların tamamen olmasına imkân vermezse ortaya çıkan kil ve kaolinin kalitesi, tane inceliği, plastiklik, ateşe dayanım ve homojenleşme yönüyle düşük olur.

Kil çok ince taneli bir kayaç olup esas maddesi olan sulu alüminyum silikat demir ve alüminyum gibi elementleri de içerir. İnce taneler bazen 2-5 μ olduğunda gözle veya mikroskopla görülmeyecek kadar küçük olabilirler (Sarız, 1992).

Kil ve kaolin aynı kimyasal yapıya sahip olup aralarındaki tek fark kili plastikliğinin daha yüksek olmasıdır. Kil yataklarının oluşması sırasında kilin ateşe dayanıklılığını düşüren bazı bileşimler taşınmanın etkisiyle bünyeden ayrılır. Fakat taşınma esnasında kil yataklarına birtakım anorganik ve bitkisel malzemelerde girebilir. Bünyeye katılan metal oksitler, sülfatlar, karbonatlar, kömür ve humus gibi yabancı maddeler killerin saflığını, kalitesini ve beyazlığını bozucu etki yaparlar. Metal oksitler killerin ham ve pişmiş renklerini etkilerken, madensel tuzlarda kilin jeoloji özelliklerini bozarlar (Taşpınar, 1997).

Bazı killer tek cins kil mineralinden oluşurken bazıları da birkaç cins kil mineralinin karışımından meydana gelmektedir (Gök, 1983). Kaolin kilden daha az plastikliğe sahip olup sülfürik asitte tam olarak çözünebilir beyaz bir maddedir. Sertleşme sıcaklığı 800 C, erime sıcaklığı 1850 C ve yoğunluğu da 2,2-2,6 gr/cm³ tür. Bileşimi ise teorik olarak %46,54 SiO₂, %39,5 Al₂O₃, %13,69 H₂O şeklindedir (Kiper, 1997).

Killer, granit, gnays, feldspat, pegmatit gibi kayaçların Hipojerik ve Epijerik etkiler sonucu aliterasyonu ile olur.

Hipojenik Etkiler: Yer altındaki ısı ve kimyasal reaktiflerin etkisiyle oluşan ayrışmalar olup başlıca reaktifler karbondioksit (CO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) gazlarıdır. Bu gazlar ısının da etkisi ile ana kayaçlara etki yaparak dönüşümü sağlarlar.

Epijenik Etkiler: Yeryüzünde suların, havanın, kar ve yağmur gibi doğal etmenlerin etkisiyle oluşan değişimlerdir (Uz, 1990).

Kil mineralleri seramik bünyenin fiziksel özelliklerini önemli oranda etkiler. Bu özelliklerin başında su emme özelliği gelir. Kil mineralleri ince tabakacıklar şeklinde olduğundan suyla karıştırıldığında su bu tabakaların arasına girer. Şekil verilmeye çalışıldığında işte bu tabakalar birbiri üzerinde kayarak istenen şekil verilir. Plastiklik aynı zamanda tane boyutu

ile de ilgili olup aşırı ince ve dar tane boyutuna sahip olan killer daha az plastiktir. Kil minerallerinin su emmesi çamur hazırlarken şekil verme açısından iyidir. Fakat aldığı bu suyu pişirme esnasında bünyesinden atacağı için kuru ve pişme küçülmesinde artış meydana gelir. Yani masse hazırlamada ne kadar çok su emerse kuru ve pişme küçülmesi de aynı oranda çok olur.

Killerin erime sıcaklığı 1150-1785 C arasında değişir. Isıtılmasıyla asidik özellikleri ortadan kalkar ve ayrıca sertlikte artar ve büzülme ve sertlik sebebiyle bünyede bazı çatlaklar oluşur. Killer kurutulduklarında ya da pişirildiklerinde çok sertleşirler ve yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı hale gelirler. Ayrıca suyu ve elektriği geçirmediği için de çok çeşitli alanlarda kullanılabilirler.

Killer, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı kâğıt endüstrisinde, bitkisel yağların ve meyve sularının ağartılmasında, atık suların temizlenmesinde, ilaç, parfüm sabun ve kozmetik eşya endüstrilerinde, seramik yapımında ve inşaat malzemelerinde ve daha birçok alanda geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir (Falaras, vd., 2000; Murray, 1991).

3.1.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması

Killer taşınma esnasında oluştuklarından taşındığı yol üzerinde bulunan yabancı madde ve bitki artıklarını da bünyelerine dâhil etmişlerdir. Bununla birlikte demir oksitleri de yapılarına alarak çoğu kez kırmızı ve gri renkte görünürler.

Kil mineralleri amorf ve kristalli killer olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kristalli killer de birim hücredeki SiO_4 tetrahedraları ve Al_2O_3 oktahedraların dizilim şekline göre kendi aralarında beşe ayrılırlar.

1. Amorf killer: Allofen grubu

2- Kristal killer:

✓ İki tabakalı killer (Kaolinit Grubu)

Kaolinit (Yüzey ayrışması ürünü)

Dikit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

Nakrit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

Anoksit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

Halloysit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

Endellit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

✓ Genişleyen kafesli üç tabakalı killer (Montmorilyonit Grubu)

Montmorilyonit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

Nontronit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)

- Saponit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)
- Baddelit (Hidrotermal Ayrışma Ürünü)
- Hektorit (Yüzey ayrışması ürünü)
- Vermikülit (Yüzey ayrışması ürünü)
- ✓ Genişlemeyen kafesli üç tabakalı killer (İllit Grubu)
 - İllit (Yüzey ayrışması ürünü)
 - Profillit (Yüzey ayrışması ürünü)
- ✓ Zincir yapılı killer
 - Atapulgit (Yüzey ayrışması ürünü)
 - Sepiolit
- ✓ Karışık yapılı killer (Klorit grubu)

Kil mineralleri sahip oldukları kristal yapı ve tane boyutlarına göre farklı oranlarda fiziksel su tutabilirler. Bu suyun miktarı ve sıcaklığı kil mineralinin hakkında bir miktar bilgi verebilir (Kara, 2000). Örneğin kaolinitin absorbe suyunun 100 °C üzerinde buharlaştığı bilinir. Buharlaşan su miktarı taneciğin boyutu ile de ilintilidir. Tane boyutu inceldikçe killer bünyelerinde daha fazla fiziksel su tutar. Bazı kil minerallerinde bu su tabakalar arasında absorblandığı için, buharlaştırılması için daha yüksek sıcaklıklar gerekmektedir (Kara, 2000; Worrall, 1986).

Kil minerallerinin sahip olduğu kimyasal (kristal) su ise gene sıcaklık yükseldikçe bünyeden atılır. Ancak bu reaksiyon sıcaklık artış oranına bağlı olarak yalnız belli bir sıcaklık aralığında görülür. Örneğin kaolinit hidroksil grubundaki suyunu 450 C civarında kaybeder. Ancak bu sıcaklıkta bünye suyunu tamamen kaybetmesi uzun zaman alır. Ancak 550 C de yarım saat içinde kristal suyun çoğu bünyeden atılmış olur (Kara, 2000; Worrall, 1986).

3.1.2. Kil çeşitleri

İnce seramik killeri, Gre Killeri, Refrakter killer, Tuğla-Kiremit Killeri ve Bentonitler başlıca kullanılan kil çeşitleridir.

İnce seramik killeri

Literatürde ball clay olarak tanımlanan bu gruptaki killer kaolinit türü killerin alt grubudur. Bu çeşit killeri plastiklik oranları yüksek olup, pişirilince beyaza yakın renkler alırlar. Genellikle kaolinit minerali ile oluşmuş olup nadiren de montmorilyonit minerali içerebilirler.

Yataklardan çıkarıldıkları gibi kullanılırlar. Ülkemizde Söğüt ve Bilecik Yöresi killeri bu tür killere aittir.

Refrakter killer

Refrakter killerin Al_2O_3 oranları yüksektir. Fakat demir oksit ve alkali oksitlerde bu tür killerde bulunmamalıdır. 2 önemli türü vardır.

Şamot kili, sert yapıda bir kil olup alüminyum oranı yüksektir. Kömür yataklarının katmanlarında bu tür killere rastlanır

Bağlama kili ise refrakter ve plastik killerdir. Şamot killerinin şekillendirilmesinde kullanılır.

Gre killeri

Bu grup killer yaklaşık 1250 C civarında pişince camsılaşan ve pişince de krem rengi alan killere aittir. Genellikle yer ve duvar karoları, kaba gre ürünleri üretiminde kullanılır. Ülkemizde İstanbul, Bilecik ve Kütahya taraflarında bulunur.

Tuğla-kiremit Killeri

Bu kil grubu delikli tuğla ve kiremit gibi ürünlerin üretiminde kullanılırken, içeriğindeki demir içerikleri sebebiyle de piştiklerinde genellikle kırmızı ve kahve renkte görünürler. Bu killer gerekli dayanımı sağlayacak sıcaklığa (950-1100 °C) kadar pişirilirse bu kil grubu yüzeyde ya da yüzeye yakın olarak bulduklarından fazla miktarda safsızlıklar içerirler.

Bentonitler

%85'i montmorilyonit olan ve ince tanecili yapıya sahip killere bentonit adı verilmektedir. Doğada beyazdan pembeye, yeşilden griye kadar değişik renklerde görülebilen montmorilyonit minerali toprağımsı gevrek veya kompakt kitleler halinde bulunur ve oldukça yumuşaktır. Yoğunluğu 1,7 ile 2,7 arasındadır. Bentonitlerin su ile hacimleri 10-30 kat artabilir. Şişme ve diğer özellikleri 320 °C'nin üzerinde kaybolur. Malzemenin plastisitesini ve kuru dayanımını artırır (Doğan, 1985).

Seramikte kullanılan bentonitler, pişme rengi beyaz olan ve ateşe dayanımı yüksek ve bağlayıcı özelliği olan bentonitlerdir.

3.2. Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Granit ve diğer volkanik kayaların yerlerinde bozuşmaları sonucu oluşan kaolinit ağırlıklı killere kaolin denilir. Yoğunluğu 2,2-2,6 arasında olan kaolin demir ve magnezyum bileşikleri ile farklı renkler alabilmektedir (Uz, 1994).

Ergime sıcaklığı 1760 °C olan kaolin doğada beyazımsı-yeşilimsi-sarımsı gibi renklerde toprak şeklinde görülmektedir (Önem, 1997).

Kaolinde aranan en önemli teknolojik özellik ateşe dayanıklılığıdır. Bu dayanıklılığı düşüren oksitler, alkaliler, manganez ve silis bileşikleri kaolinin yapısından uzaklaştırılarak mineral refrakterliği artırılabilir. Ayrıca kaolinin kalitesi pişme rengini etkileyen oksitlerin yanı sıra, yıkama ile atılabilen kuvars ve feldspat oranıyla da ilişkilidir. Kaolin yataklarının çoğunda kaolinit mineralinin oranı %50'nin altındadır. Bazı endüstri kolları bu kaolini olduğu gibi de kullanmaktadır.

Seramik sanayisinde pişme rengi beyaz olan kaolinler tercih edilmektedir. Refrakter malzeme olarak kullanılan bu madde ergime derecesine göre

- ✓ 1530 °C- 1605 °C.....Düşük derecede refrakter
- ✓ 1605 °C- 1650 °CYarı refrakter
- ✓ 1650 °CYüksek derecede refrakter olarak sınıflandırılır.

Seramikte eritici malzeme olarak kullanılan feldspat ve kuvars 1150 C civarında erirken kaolini bağlarlar ve sinterleşmeyi gerçekleştirirler. Normalde erime ile sinterleşme arasındaki zamanın uzun olması istenir. Fakat karbonatlar bu zamanı kısalttıkları için kaolin içinde istenmeyen maddelerdendir.

Bir porselen yapıda yaklaşık olarak %50 kaolin, %25 feldspat ve %25 oranında kuvars bulunur. Kaolin içindeki demir oranı %1'den fazlaysa beneklenmeye sebep olacağından bu tarz kaolinler pek tercih edilmez. Seramik yapıda kullanılacak kaolinin kuruma ve pişme küçülmesinin belli oranlarda olması istenir.

3.3. Kuvars

Yeryüzünün bilinen kısmının %25'ini oluşturan kuvars, oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyum atomunun bir bileşimidir. Kimyasal formülü SiO_2 olup, özgül ağırlığı 2,65 ve sertliği 7'dir. Saf kuvars %46,7 Si ve %53,3 O₂ içerir (Arcasoy, 1983).

Bir seramik yapıda, plastikliği sağlayıp dolgu özelliği de olan kil mineraliyle beraber, kuvars gibi plastik olmayan ve seramik yapıyı yüksek sıcaklıkta da ayakta tutacak bir hammadde de bulunmalıdır. Kuvars yapının kuruma esnasındaki küçülmesini azaltır, plastikliği düzenler ve pişme esnasında bünyeyi bozmadan gaz çıkışına izin verir (Sarıız, vd., 1992).

Hammadde olarak kullanılan kuvarsın ısıl davranışının üretim aşamalarında önemle takip edilmesi gerekir. Çünkü sıcaklık arttıkça kuvarsın hacmi büyür dolayısıyla yoğunluğu düşer. Aşağıdaki çizelgede saf kuvarsın geçirdiği modifikasyonlar ve yoğunluk değişimlerinin sıcaklıkla ilişkileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Sıcaklık değişimine göre kuvars dönüşüm çizelgesi (Seramikanka, 2018).

Faz	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)
B- kuvars	573	2,65
A- kuvars	573-870	2,60
α -tridimit	970-1470	2,32
A-Kristabolt	1470-1670	2,31

Seramik bünyede kuvarsın hacminde değişiklikler olacağından çatlamalara meydan vermemek için ani sıcaklık değişimlerinden yavaş geçmek gerekir. Sırlarda kuvars camı haline gelen kuvarsın uzama kat sayısı düşük olduğu için sır çatlamalarını önler. Bisküvideki kuvars oranı yüksekse, soğuma sırasında bisküvideki çekme sırdan yüksek olacağından böyle ürünler bombeli olurlar. Maseye ilave edilen mermer, feldspat ve dolomit gibi mineraller kuvarsın bu etkisini önler.

Özetle seramik bünyede kuvars katkısının amaçları şunlardır.

- ✓ Kuvars katkısı arttıkça çamurun bağlayıcılığı ve kuru direnci azalır.
- ✓ Pişmiş çamurda gözeneklilik ve su emme oranı artar.
- ✓ Kuru ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma olur. Kuvars katkısı çok artarsa küçülme yerine büyüme olur.

3.4. Feldspat

Feldspatlar yerkabuğunu yaklaşık olarak %60-65 ini oluşturan sodyum, kalsiyum, potasyum, lityum ve bazen de baryum ve sezyum ve bu elementlerin birleşimi ile oluşan susuz alümina silikatlardır (Maden Mühendisleri Odası, 2010). Magmatik ve metaformik kayaların

%90'ı, bazı tortul kayaçlarında %10'u feldspatlardan oluşmaktadır. Sertlik derecesi 6-6,5 mohsdur ve özgül ağırlığı 2,5-2,76'dır.

Feldspatlar kimyasal bileşim ve yapıları açısından iki ana gruba ayrılmaktadırlar;

i) Plajiyoklaz Feldspatlar

- ✓ Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Oligoklaz $(\text{Na}, \text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Andezin $(\text{Na}, \text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Labrador $(\text{Na}, \text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Bitovnit $(\text{Na}, \text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

ii) K-Feldspatlar veya Alkali Feldspatlar

- ✓ Mikroclin KAlSi_3O_8
- ✓ Sanidin KAlSi_3O_8
- ✓ Ortoklaz KAlSi_3O_8

Ticari öneme sahip olan feldspat mineralleri ise şunlardır;

- ✓ Ortoklaz (Or); Potasyum alüminyum silikat, KAlSi_3O_8
- ✓ Albit (Al); Na- alüminyum silikat, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- ✓ Anortit (An); Kalsiyum alüminyum silikat, $\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$

Seramik ve cam sanayisi için feldspatların erime sıcaklıklarının büyük önemi vardır. Genel olarak feldspat minerallerinin erime sıcaklıkları şöyledir:

- ✓ Potasyum feldspat: 1200-1250 °C
- ✓ Sodyum feldspat: 1150-1225 °C
- ✓ Kalsiyum feldspat: 1500-1550 °C aralıklarındadır (Maden Mühendisleri Odası, 2010).

3.5. Seramik Bünyelere Uygulanan Fiziksel ve Mekanik Testler

3.5.1. Kuruma küçülmesi, pişme çekmesi, plastisite suyu ve ateşte zayıt testleri

Hazırlanan tuğla ve kiremit örneklerinin kuruma küçülmesi, pişme küçülmesi, plastisite suyu ve ateşte zayıt değerleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır (Türk Standartları Enstitüsü, 1986).

$$\text{Eşitlik 1: \%Kuruma Küçülmesi} = \frac{(\text{Yaş Uzunluk} - \text{Kuru Uzunluk})}{\text{Yaş Uzunluk}} * 100$$

$$\text{Eşitlik 2: \%Pişme Çekmesi} = \frac{(\text{Kuru Uzunluk} - \text{Pişmiş Uzunluk})}{\text{Kuru Uzunluk}} * 100$$

$$\text{Eşitlik 3: \%Plastiklik Suyu} = \frac{(\text{Yaş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık})}{\text{Kuru Ağırlık}} * 100$$

$$\text{Eşitlik 4: \%Ateşte Zayıyat} = \frac{(\text{Kuru Ağırlık} - \text{Pişmiş ağırlık})}{\text{Kuru Ağırlık}} * 100$$

3.5.2. Su emme deneyi

Numuneler 105 °C'lik etüvde değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlığı bulunur (1.Tartım). Bu şekilde kurutulan numune oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra bir kaba uzunluğu düşey olacak şekilde konur ve yarısına kadar su eklenir. 1 saat sonra numunenin uzunluğunun $\frac{3}{4}$ 'üne kadar 2 saat sonra da tamamı su içinde kalacak şekilde su ilave edilir ve böyle 1 saat daha bekletildikten sonra kap içindeki tuğla-kiremit numunesiyle beraber 2 saat ocakta kaynatılır. Kaynama bittikten sonra ocağın altı kapatılır ve numune kap içinde su ile beraber soğumaya bırakılır. Soğuyan numune sudan çıkarılarak bir sünger ile silinir ve tekrar tartılır (2.Tartım).

$$\text{Eşitlik 5: \%Su Emme} = \frac{(2.\text{Tartım} - 1.\text{Tartım})}{1.\text{Tartım}} * 100$$

TS 705'e göre bu değer %18'i geçmemelidir (Çelik, vd., 2003).

3.5.3. Yoğunluk deneyi

Hazırlanan numuneler 105 °C etüvde değişmez kütleyle kadar kurutulduktan sonra tartılır (m) . Daha sonra bu numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulur ve boyutları ölçülerek hacmi belirlenir (V). Yoğunluk (d) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (Türk Standartları Enstitüsü, 1986).

$$\text{Eşitlik 6: } d = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3$$

Numunelerin yoğunluk değerleri TS 705'e göre 1801-2000 kg/m³ arasında olmalıdır (Çelik, vd., 2003).

3.5.4. Basınç dayanımı deneyi

Piştirme sonucu elde edilen numunelere basınç deneyleri uygulanır. Bu test özellikle inşaat endüstrisinde taşıyıcı olarak kullanılacak tuğlalar için önemlidir. Tipi ne olursa olsun bir tuğlanın görünüm ve diğer özelliklerinden önce taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi gerekir (Yamık, vd., 2004). Numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki eşitlikten yola çıkılarak hesaplanabilir. Burada F numuneleri kıran yük değerini, A; numunelerin alanını, P ise basınç dayanım değerini ifade etmektedir (Türk Standartları Enstitüsü, 1986).

$$\text{Eşitlik 7: } P = \frac{F}{A}; \text{ kgf/cm}^2$$

TS 705'e göre basınç değerleri minimum 4,5 MPa olmalıdır. Ayrıca deprem yönetmeliğine göre ise minimum 5 Mpa olmalıdır (Çelik, vd., 2003).

3.5.6. Zararlı kireç ve manyezi deneyi

Bu test kiremit örnekleri için yapılır. Pişmiş numuneler bir kaba konarak içine oda sıcaklığında su eklenir. Numuneler tamamen suyun içerisinde kalacak şekilde 24 saat bekletilir. Daha sonra bir ısı kaynağında kaynatılan numuneler 2 saat boyunca kaynar şekilde tutulduktan sonra kaptan çıkarılmadan oda sıcaklığına kadar soğutmaya bırakılır. Soğuyan örnekler gözle muayene edilerek herhangi bir pullanma, dağılma, çatlama vs. oluşup oluşmadığına bakılır. İnceleme sonuçlarından şüphe duyuluyorsa zararlı kireç ve manyezit deneyinden çıkmış örnekler basınç dayanımı testinden geçirilir (Türk Standartları Enstitüsü, 1986).

3.5.7. Dona dayanıklılık testi

Numuneler bir su kabının içerisine yerleştirilir ve uzunluğunun ¼'ü kadar derinlikte olacak şekilde su eklenir. 1 saat sonra yarısına 1 saat sonra da ¾'ü ve 24 saatin sonunda ise tamamı su altında kalacak şekilde su eklenir. Örnekler bu şekilde 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra, sudan çıkarılır ve bekletilmeden -15 °C'deki derin dondurucuya konur. 2 saat boyunca derin dondurucuda kalan numuneler donun çözülmesi için su içinde 1 saat bekletilir. Bu döngü 25 sefer tekrar edilir. Her defasında numunelerde bozukluk, çatlama herhangi bir hasar olup olmadığı gözle kontrol edilir (Türk Standartları Enstitüsü, 1986).

3.6. Daha Önce Yapılan Benzer Çalışmalar

Bor atıklarının tuğla-kiremit üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili daha önceden de yapılmış çalışmalar vardır. Uslu ve Aral boraks atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliğini

araştırmış ve yaklaşık 800-850 °C pişme sıcaklığında tuğla ağırlığının %30'una kadar boraks atığı katkısının tuğlaların mukavemetlerini artırdığını, su emme, kuru küçülme ve pişme küçülmesi değerlerini ise düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Uslu ve Arol,2004).

Kurama ve arkadaşları da boraks atıklarının kiremit üretiminde değerlendirilmesi için çalışmalar yapmış ve boraks atıklarının kiremit özelliklerini belli parametrelerde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir (Kurama vd.,2007).

Elbeyli ve arkadaşları da boraks atığından tuğla üretilmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmada öncelikle liç prosesi ile atıktaki %14,09 B₂O₃'lük tenör miktarı düşürülmüştür. Daha sonra ise çeşitli oranlar ve pişme sıcaklıklarında reçeteler hazırlanmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda %10'luk boraks atığının tuğlaya katılması ve 1000 °C'de pişirilmesi optimum parametre olarak belirlenmiştir (Elbeyli vd., 2004).

Kavas ve Emrulloğlu yaptıkları çalışmada Seydişehir çamuru ile Kırka boraks atıklarını belli oranlarda harmanlamış ve mukavemeti yüksek kaliteli tuğlalar elde etmişlerdir (Kavas ve Emrulloğlu, 1999).

Bor atıklarının pomza ile birlikte tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştıran bir diğer çalışmada ısı yalıtımı kuvvetli ve düşük yoğunlukta tuğla üretilbileceği sonucuna ulaşılmıştır (Demir ve Orhan, 2002).

Kolemanit atığının tuğla üretiminde kullanılmasıyla ilgili yapılan bir başka çalışmada tuğla kiline ham ve kalsine edilmiş kolemanit atığı ilave edilmiştir. ham kolemanit atığının tuğla örneklerde çatlama ve kırılmalara sebep olduğu gözlemlenirken 700 °C'de kalsine edilmiş kolemanit atıklarının %45 oranına kadar tuğla reçetelerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Şahin, 2008).

T. Kavas ve arkadaşları tarafından "Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör Atıklarının Tuğla Üretiminde Ergitici Eleman Olarak Kullanılabilirliği" adlı araştırmada Afyon tuğla toprağına 800 °C pişme sıcaklığında %10 oranında konsantratör şlam atığı ve %15 oranında konsantratör kil pestili eklendiğinde 900 °C pişme sıcaklığında elde edilen mukavemet değerlerine ulaşıldığı, su emme değerlerinin düştüğü, birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Materyal ve Metot

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numuneler, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor işletme Müdürlüğü Hisarcık Atık Barajından (Şekil 4.1) numune alma şartlarına uygun olarak alınmıştır.



Şekil 4.1. Eti Maden İşletmeleri Hisarcık atık barajı konumu.

Atık barajının değişik konumlarından alınan yaklaşık 500 kg ağırlığındaki numune işletme laboratuvarına getirilip bir hafta boyunca dinlendirilmiş ve etüvde 106 °C de yaklaşık 4 saat kurutulmuştur.

Numune daha sonra numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak, elek analizi, kimyasal analiz, mineralojik analiz (XRD), dekrepitasyon, mikrodalga deneylerinde ve kiremit hammaddesine katkı maddesi olarak kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Emet Bor işletme Müdürlüğüne bağlı Hisarcık Konsantratör tesisine ait atıkların endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için öncelikle atık numunesindeki kil ile konsantre edilebilen kısmın birbirinden ayrıştırılmasına çalışılmıştır. Bunun yapılmasına sebep ise kolemanit atığının daha önceden yapılan çalışmalarda karo malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanımının olumsuz sonuç vermesi ve dekrepite ya da kalsine edildikten sonra

kullanımın mümkün olabileceği düşüncesidir (Batar, vd., 2007). Bunun için hem mikrodalga fırın hem de klasik kül fırını ile dekrepitasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen dekrepite ürün değişik tane boyutlarındaki bor tenörlerine göre değerlendirilmiştir. Yüksek tenörlü cevher borik asit fabrikasına gönderilmek için gruptan ayrılmıştır. Daha sonra ise optimum sıcaklık ve sürede yüksek kil oranı elde edilen numune, tuğla-kiremit toprağına farklı oranlarda katkı maddesi olarak karıştırılarak kiremit ve tuğla numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmayı tamamlaması adına herhangi bir ön işlem görmeyen numunelerden de karışım hazırlanarak eşit şartlarda tuğla-kiremit örnekleri hazırlanmış ve onların da sonuçları gözlemlenmiştir.

4.1.1. Malzeme karakterizasyon testleri

Malzeme karakterizasyon testleri kapsamında Hisarcık Atık Barajı numunesinin kimyasal, ısıl, mineralojik ve tane boyutu özellikleri incelenmiştir. Malzemenin ısıl özellikleri ile mineralojik özellikleri daha önceden bu konu ile ilgili çalışma yapan Mesut Ak'a ait Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık ve Espey Konsantratör Atıklarının Mikrodalga Enerjisi Yardımıyla Zenginleştirilebilirliğinin araştırılması adlı yüksek lisans tez çalışmasından alıntılanmıştır.

Kimyasal inceleme

Emet Bor İşletme Müdürlüğü laboratuvarında Rigaku-ZSX Primus 2 marka ve modeldeki spektrofotometre cihazı kullanılarak yapılan kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hisarcık atık barajı numunesinin kimyasal analiz sonucu.

İçerik	Değer (%)	İçerik	Değer (%)
B ₂ O ₃	11,3	Fe ₂ O ₃	2,65
SiO ₂	39,3	K ₂ O	2,96
CaO	13,1	As ₂ O ₃	1,52
MgO	16	SrO	0,67
Al ₂ O ₃	5,88	TiO ₂	0,28
SO ₄	1,04	K.K.	4,85

Hisarcık atık barajı numunesinin %11,30 B₂O₃ içerdiği görülmüştür. Aynı zamanda %39,30 SiO₂, %13,10 CaO, %16,00 MgO, %5,88 Al₂O₃, %2,65 Fe₂O₃ içermektedir. Söz konusu numunenin kızdırma kaybı değeri ise %4,85 olarak hesaplanmıştır.

Isıl özellikler

Termo Gravimetrik Analiz (TGA) yönteminde kontrollü bir şekilde arttırılan veya azaltılan sıcaklık sonucunda numunenin kütlesindeki değişimler sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenir. Elde edilen sıcaklık kütle eğrilerine termogram veya termal bozunma eğrileri denilir. Sıcaklığın artırılması ile meydana gelen kütle kayıpları su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıdır.

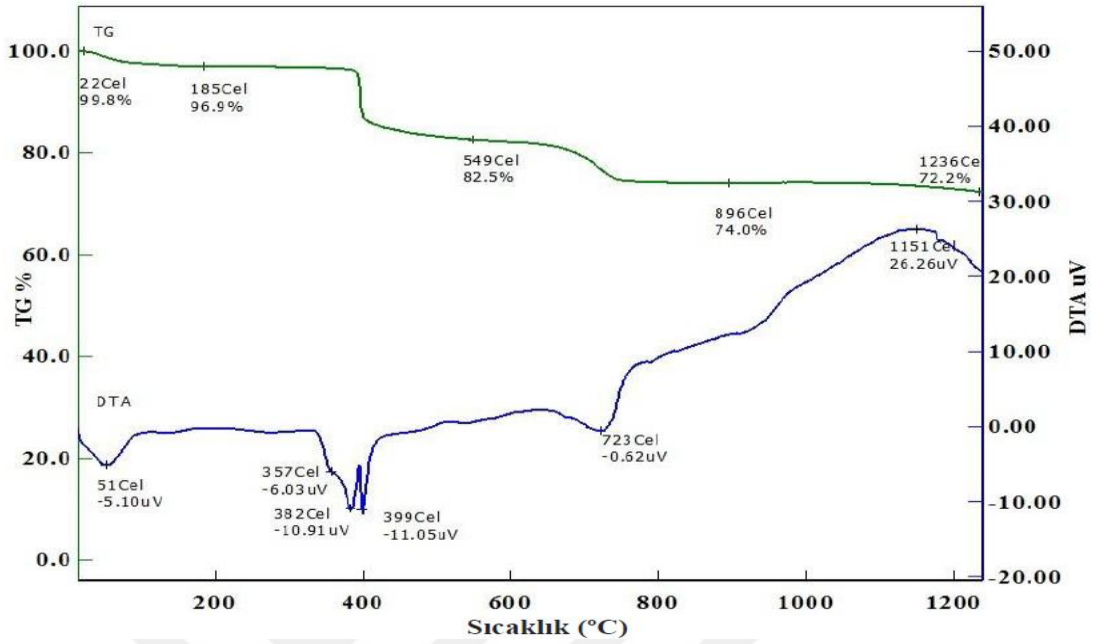
Termogravimetri cihazının bileşenleri; hassas bir terazi, iyi bir fırın, sıcaklık ve kütle değişimlerini otomatik olarak kaydeden bir sistem, inert gazlı bir temizleyici ve analiz sırasında gaz kesebilen veya değiştirebilen parçalarıdır.

Sistemdeki fırın sıcaklığı 25 ile 1600 °C arasında olması koşuluyla, sıcaklığın istenilen sürelerde istenildiği kadar arttırılabilecek şekilde programlanabilir. Netice olarak sıcaklık artışı ile kütle kaybı tespit edilerek meydana gelen ya da gelebilecek oksitlenme, buharlaşma, süblimleşme ve desorpsiyon gibi reaksiyonlar incelenebilir. Bu TGA yöntemi özellikle polimer maddelerin parçalanma mekanizması hakkında bilgi vermesi yönüyle bu çeşit maddelerde kullanımı uygundur.

Diferansiyel termal analiz (DTA) yönteminde ise numuneye ve termal olarak inert olan farklı bir maddeye aynı sıcaklık programı uygulanır. İkisi arasındaki fark, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu iki maddenin ısısı düzgün bir şekilde arttırılır. DTA, TGA'daki gibi sadece kütle kaybına bağımlı olmadığı için daha geniş bir kullanım alanı vardır. Isının absorblandığı veya açığa çıktığı her numuneye uygulanabilir.

Diferansiyel termal analiz yöntemi inorganik maddelerin silikatların, killerin, oksitlerin, seramiklerin incelenmesinde; organik maddelerin erime, kaynama ve parçalanma sıcaklıklarının tespit edilmesi ve polimerlerde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişikliklerin incelenmesi amacı ile kullanılmaktadır.

Aşağıda Hisarcık atık barajına ait DTA ve TGA analiz sonuçları bulunmaktadır. Bu analizlerin yapılmasındaki amaç Hisarcık baraj numunesinin ısı uygulaması sırasında bünyeden uzaklaşan suyun miktarını, bozunmanın sıcaklığını, bozunma ve kristallenmenin mekanizmasını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Atık numunesinin TGA ve DTA eğrileri Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Hisarcık atık barajı numunesine ait TGA ve DTA analiz sonucu (Ak, 2011).

Şekil 4.2'deki TGA analiz sonuçlarından görüldüğü üzere Hisarcık baraj numunesinde bulunan higroskopik su 185 °C'ye kadar %3,1'lik kütle kaybı ile bünyeden ayrılmıştır. Grafikte de görüldüğü üzere numunenin kütlelerinde 380 °C'ye kadar ciddi bir değişim olmamıştır.

DTA eğrisinden 380-400 °C arasında 2 endotermik tepkimenin varlığı görülmüş ve numune 382-399 °C arasında 2 noktada pik değer vermiştir. Her 2 reaksiyonda TGA eğrisinden anlaşılacağı üzere 390 °C de birbiri üzerine binmiş ve bu sıcaklıkta kütlelerin yaklaşık olarak %8,33'ü kaybedilmiştir.

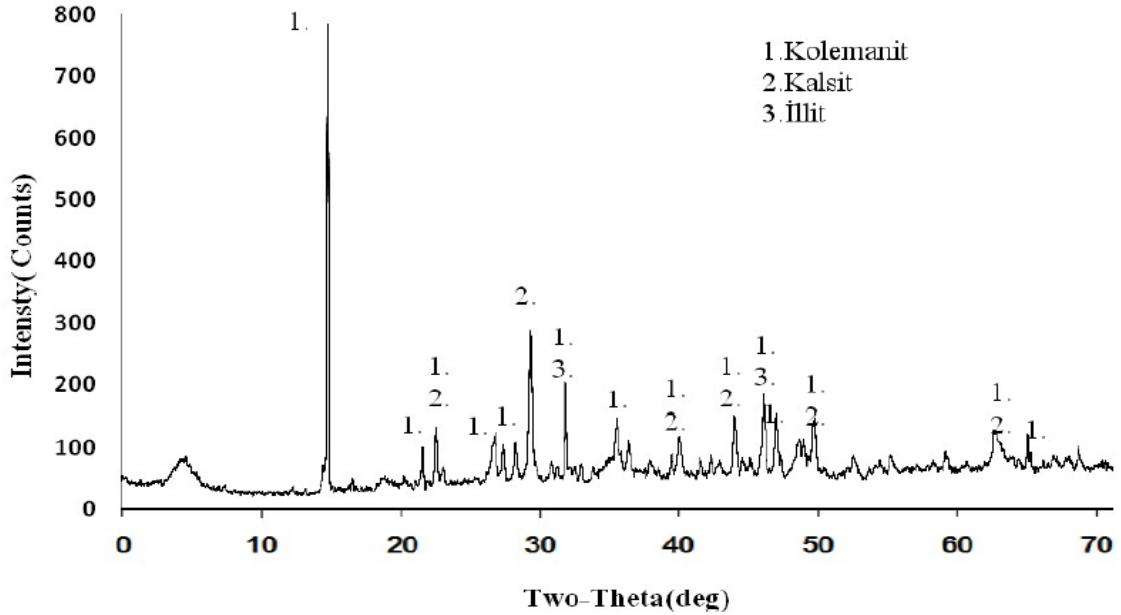
Numune 185-549 °C arasında yapısındaki serbest kristal suyu uzaklaştırmakta iken 549-896 °C aralarında ise polianyonların içindeki (OH)⁻ formundaki suyu bünyesinden uzaklaştırmaktadır.

DTA eğrisinde görülen 723 °C'deki 3. pikten sonra numune kristalleşmeye başlamıştır. TGA ve DTA eğrilerinden 896-1236 arasında numunenin ağırlığında bir değişim olmadan kristalleşmeye devam ettiği gözlemlenmiş olup 1236 °C ye kadar kaybedilen toplam kütle oranı %27,8 olarak tespit edilmiştir.

Mineralojik özellikler

Alınan numunenin mineralojik özelliğinin tespiti için yapılan çalışma Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Analiz, bölüm laboratuvarında

bulunan Rigaku Miniflex Brand marka XRD cihazı ile $\text{Cu } \alpha$ ($\lambda=1,54 \text{ \AA}$) ışınması kullanılarak yapılmış olup sonuçlar Şekil 4.3. te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Hisarcık atık barajı numunesine ait minerolojik (XRD) analiz sonucu (Ak, 2011).

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere Hisarcık Atık barajından alınan numunenin XRD sonuçlarına göre numunede k Colemanit, kalsit ve illit bulunmaktadır. Söz konusu analiz kimyasal analiz ile uyumludur.

Tane boyutu incelemeleri

Deneyleerde kullanılan Hisarcık Atık Barajı numunesinin tane boyutunu belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Söz konusu analize ait sonuçlar ve her fraksiyona ait B_2O_3 dağılımları Çizelge 4.2'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hisarcık atık barajı numunesine ait elek ve B_2O_3 analiz sonuçları.

Elek·Boyutu(mm)	Ağırlık·(%)	ΣEÜ·(%)	ΣEA(%)	B ₂ O ₃ ·(%)	ORT.
+3	-	-	-	-	9,81
-3+2	19,89	19,89	100,00	9,32	
-2+1	14,65	34,54	80,11	9,59	
-1+0,5	12,72	47,26	65,46	10,82	
-0,5+0,25	11,16	58,42	52,74	12,79	11,98
-0,25+0,15	9,95	68,37	41,58	12,11	
-0,15+0,103	9,33	77,70	31,63	11,56	
-0,103+0,063	9,71	87,41	22,30	11,31	
-0,063	12,59	100,00	12,59	14,70	14,70
TOPLAM	100,00			11,30	

Çizelge 4.2'den de görüldüğü gibi numunenin yaklaşık olarak %100'ü 3 mm'nin altındadır. B₂O₃ dağılımında ise tenörleri birbirlerine yakın olduğu için numune +0,5 mm, -0,5+0,063mm ve -0,063 mm olmak üzere 3 fraksiyona ayrılarak deneyler yapılmıştır.

4.1.2. Mikrodalga fırın çalışmaları

Daha önce kolemanit atıklarının zenginleştirilmesi çalışmalarında çok defa kullanılan mikrodalga fırını bu çalışmada da kullanılmıştır. (Akçıl vd., 1993; Aydın, 2012). Çünkü mikrodalga fırını ile zenginleştirme yöntemi diğer ısı yöntemlere göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Temassız ısıtma,
- Enerji aktarımı,
- Hızlı ısıtma,
- Malzeme seçici olarak ısıtma,
- Hacme dayalı ısıtma,
- Hızlı çalıştırma ve durdurma,
- Isınmanın numunenin iç yapısından başlaması,
- Yüksek otomasyon ve verimliliğidir (Bütüner, 2016).

Hisarcık Atık barajına ait numuneler B₂O₃ dağılımında tenörleri birbirlerine yakın olduğu için +0,5 mm, -0,5+0,063mm ve -0,063 mm tane gruplarına ayrılmıştır. Mikrodalga deneylerinde kullanılan Hisarcık atık barajı numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımları. Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mikrodalga deneylerinde kullanılan Hisarcık atık barajı numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımları.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣEÜ (%)	ΣEA (%)	B ₂ O ₃ (%)
+0,5	47,26	47,26	100	9,81
-0,5+0,063	40,15	87,41	52,74	11,98
-0,063	12,59	100	12,59	14,70
Toplam	100			

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere +0,5 mm boyutundaki atık toplam atığın ağırlıkça %47,26'sını oluştururken ortalama tenör değeri %9,81 B₂O₃ olarak tespit edilmiştir. -0,5+0,063 mm boyutundaki atık toplam atığın ağırlıkça %40,15'ini oluştururken ortalama tenör değeri %11,98 B₂O₃ olarak tespit edilmiştir. -0,063 mm boyutundaki atık ise toplam atığın ağırlıkça %12,59'unu oluştururken ortalama tenör değeri %14,70 B₂O₃ olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre tane boyutu incelendiğinde tenör değerlerinin arttığı görülmektedir.

Mikrodalga deneylerinde kullanılan fırın 2450 MHz sabit frekans özelliğinde olup çıkış gücü maksimum 700 watt olan Beko marka MD 1500 modelinde olan bir mikrodalga fırındır. Dekrepitasyon çalışmalarında kullanılan mikrodalga fırının resmi Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Dekrepitasyon çalışmalarında kullanılan mikrodalga fırını.

Deneyleerde mikrodalga fırına içinde yaklaşık olarak 110 gr numune eklenmiş olan erlenler konulmuştur. Bu erlenlerin uzunluğunun kalsine olan malzemeyi dışarı taşırmayacak kadar yeterli uzunlukta olmasına dikkat edilmiştir. Numune her ne kadar fırının içerisindeki tabla vasıtasıyla dönmekte olsa da mikrodalga enerjisinin fırının içerisinde her noktaya eşit dağılmadığı varsayılmış ve numune belli aralıklarla karıştırılmıştır.

Numuneler fırında 40 dakika boyunca farklı güç değerlerinde (350,500,700 watt) mikrodalga enerjisine tabi tutulduktan sonra fırından alınıp desikatör içerisinde soğutulmuştur. Daha sonra -0,063 mm boyundaki cevher 75 mikronluk elekte, -0,5+0,063 mm ve +0,5 mm grubundaki numuneler ise 150 mikronluk elekte elenmiştir. Elek üstü grupta daha çok koyu renklerde tanecikler kaldığı gözlemlenirken, elek altındaki taneciklerin renginin de beyazın tonlarında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, numunelerde kütle kaybı da gözlemlenmiş olup, bunun sebebi olarak da mineralin yapısında bulunan kapiler su ile uçucu gazların bünyeden ayrılması olarak yorumlanmıştır.

Mikrodalga fırını ile yapılan deneylerin akım şeması Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Mikrodalga deneyleri akış programı.

Tane Boyutu (mm)	Deney Süresi (dk)	Mikrodalga Gücü (watt)	Ürünler
+0,5	40	350,500,700	Konsantre
			Atık
-0,5+0,063	40	350,500,700	Konsantre
			Atık
-0,063	40	350,500,700	Konsantre
			Atık

Çizelge 4.4'ten de görülebileceği gibi her üç tane boyutundaki numuneler 40 dakika sabit süre boyunca 350,500 ve 700 watt mikrodalga enerjisine maruz bırakılmışlardır. Mikrodalga fırınındaki deneylerin 40 dakika sabit süreyle yürütülmesinin sebebi daha önce bu yöntemle yapılan çalışmalarda optimum parametrenin 40 dakika sonunda elde edilmesi ve bu süreden sonra numunelerde camsılaştırmanın oluşmaya başlamasıdır (Ak, 2011). Elde edilen kalsine numuneler ise daha sonra uygun eleklerle elenerek elek üstü atık, elek altı ise konsantre olarak elde edilmiştir.

4.1.3. Kül fırını çalışmaları

Dekrepitasyon çalışmaları fotoğrafı Şekil 4.5'te verilen ve Emet Bor İşletme Müdürlüğü Laboratuvarlarında bulunan Protherm marka fırının içerisinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler porselen krozelere yerleştirildikten sonra 200-300-400-450-500-550-600-700 ve 800 °C sıcaklıklarda 20-30-40 ve 50 dakikalık sürelerde farklı ısı enerjilerine tabi tutulmuştur. Sonra numuneler fırından alınıp desikatör içerisinde soğutulmuştur. Daha sonra -0,063 mm boyundaki cevher 75 mikronluk elekte, -0,5+0,063 mm ve +0,5 mm grubundaki numuneler ise 150 mikronluk elekte elenmiştir. Elek üstü grupta daha çok koyu renklerde tanecikler kaldığı gözlemlenirken, elek altındaki taneciklerin ise renginin beyazın tonlarında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, numunelerde kütle kaybı da gözlemlenmiş olup, bunun sebebi olarak da mineralin yapısında bulunan kapiler su ve uçucu gazların bünyeden ayrılması olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.5. Dekrepitasyon deneylerinde kullanılan kül fırını.

4.1.4. Kiremit-tuğla çalışmaları

Bu çalışmada Hisarcık Atık Barajındaki killerin kiremit ve tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Bunun için kiremit çalışmalarında Kütahya Akdemir Kiremit Fabrikasının kiremit üretiminde kullandığı Eskişehir kiline değişik oranlarda (%5, %10, %15, %20, %25) önceki çalışmalarda dekrepite edilmiş bor atığı ilave edilerek kiremit kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı şekilde dekrepite edilmeyen farklı boyutlardaki bor atıkları da %15 oranında

katılarak kiremit bünyesindeki etkileri incelenmiştir. Kiremit çalışmaları 820 °C, 870 °C ve fabrikadaki standart kiremit üretiminin yapıldığı sıcaklık olan 920 °C'de yapılmıştır.

Tuğla çalışmalarında ise aynı fabrikanın tuğla üretiminde kullandığı Seyitömer kiline değişik oranlarda (%5, %10, %15, %20, %25 ve %30) önceki çalışmalarda dekrepite edilmiş bor atığı ilave edilerek tuğla üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı şekilde dekrepite edilmeyen farklı boyutlardaki bor atıkları da %15 oranında eklenerek tuğla bünyesindeki etkileri incelenmiştir. Tuğla çalışmaları ise 530 °C, 580 °C ve Fabrikanın tuğla üretimi yaptığı sıcaklık olan 630 °C de yapılmıştır.



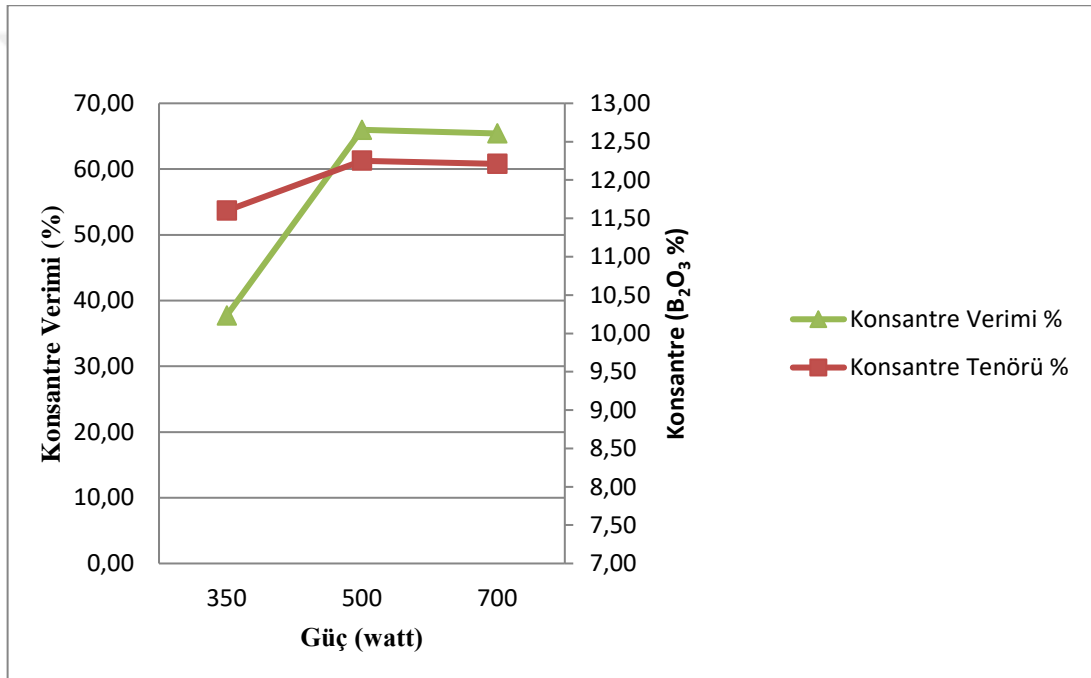
5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Mikrodalga Deney Sonuçları

Mikrodalga fırını ile 3 farklı tane boyutundaki malzemeler 40 dakika boyunca farklı mikrodalga gücü ve enerjisine maruz bırakılarak zenginleştirilmeye çalışılmıştır.

5.1.1. +0,5 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri

+0,5 mm tanecik boyutu için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.



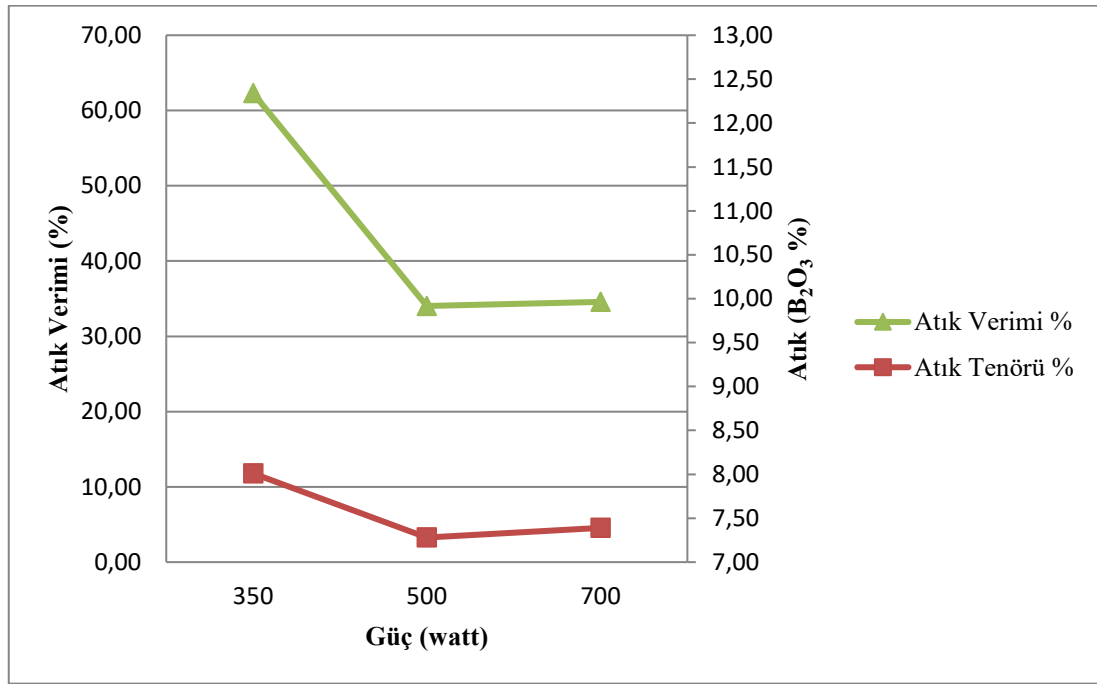
Şekil 5.1. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %37,70 verim ile %11,60 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %65,97 verim ile %12,25 B₂O₃, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %65,42 verim ile %12,21 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.

Konsantre ürün verimi 500 watt değerine kadar artmış daha sonra ise yatay bir seyir göstermiştir. Aynı şekilde konsantre ürün B₂O₃ tenörü de 500 watt’a kadar artmış daha sonra yatay bir seyir göstermiştir.

+0,5 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en yüksek oranda elde edilen konsantre tenörü %12,25 ile 500 watt güçte olmuştur. Yine aynı şekilde en yüksek konsantre ürün verimi %65,97 ile 500 watt güçte elde edilmiştir.

Şekil 5.2'de +0,5 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları verilmiştir.



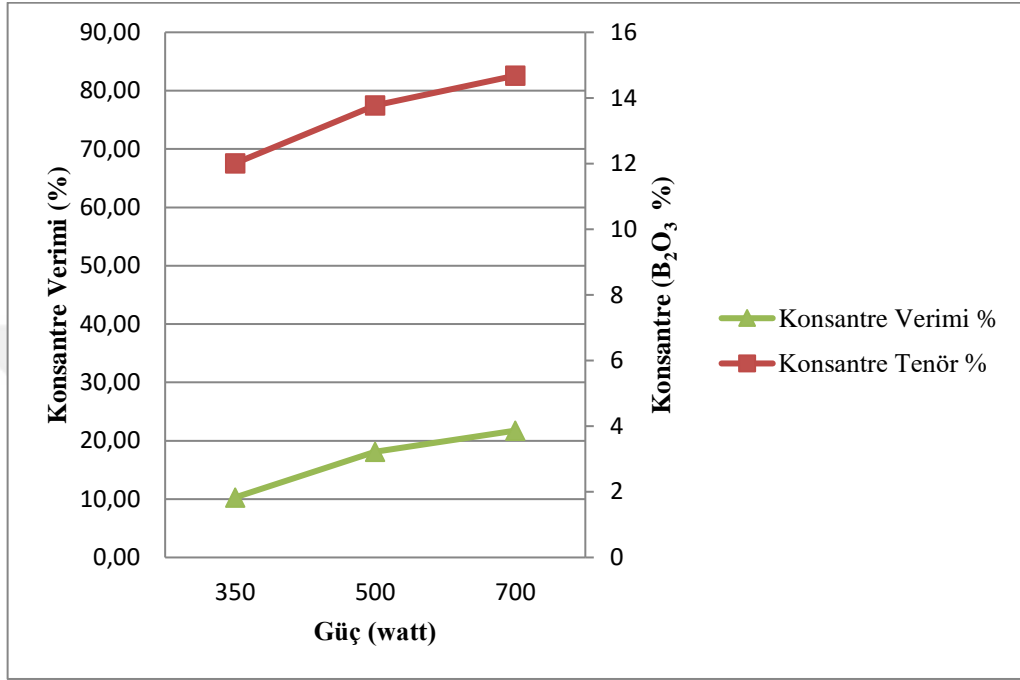
Şekil 5.2. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.

Şekil.5.2.'de görüldüğü gibi +0,5 mm boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %62,30 verim ile %8,01 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %34,03 verim ile %7,28 B₂O₃, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %34,58 verim ile %7,39 B₂O₃ tenörlü atık ürün elde edilmiştir.

+0,5 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en düşük olarak elde edilen atık tenörü %7,28 ile 500 watt güçte olmuştur. 500 watt mikrodalga güçteki atık verimi %34,03 olmuştur.

5.1.2. -0,5+0,063 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri

-0,5+0,063 mm tanecik boyutu için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.



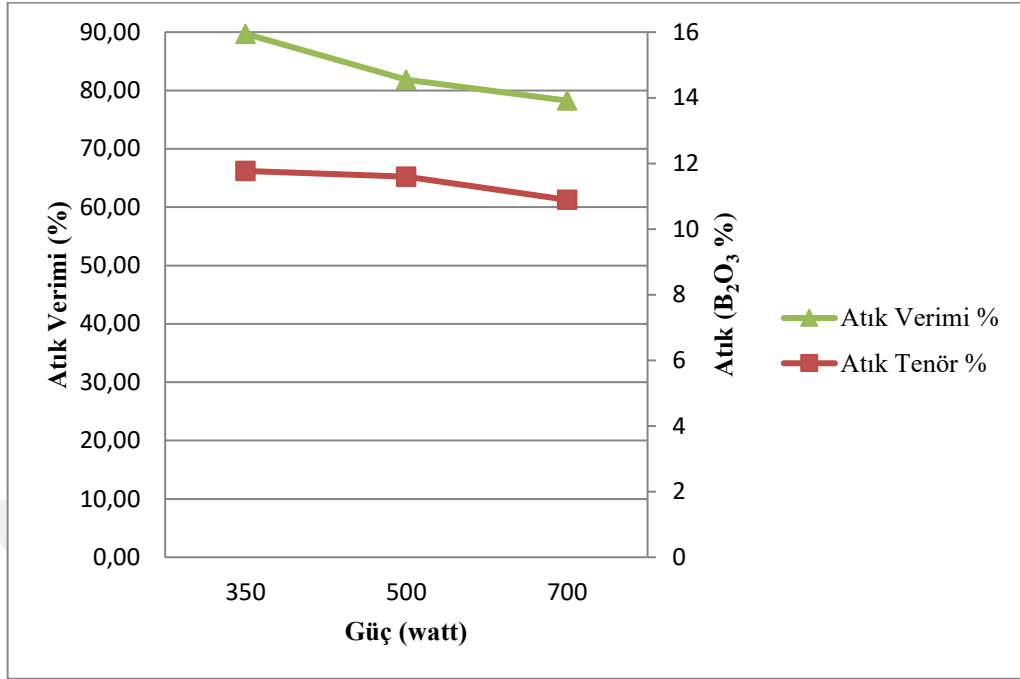
Şekil 5.3. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi -0,5+0,063 mm boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %10,29 verim ile %12,01 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %18,12 verim ile %13,77 B₂O₃, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %21,74 verim ile %14,68 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.

Konsantre ürün verimi ve konsantre ürün tenörü 700 watt değerine kadar artmıştır.

-0,5+0,063 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en yüksek oranda elde edilen konsantre tenörü %21,74 verim ile %14,68 B₂O₃ tenörüyle 700 watt güçte olmuştur. Yine aynı şekilde en yüksek konsantre ürün verimi %21,74 ile 700 watt güçte elde edilmiştir.

Şekil 5.4'te -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.4. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.

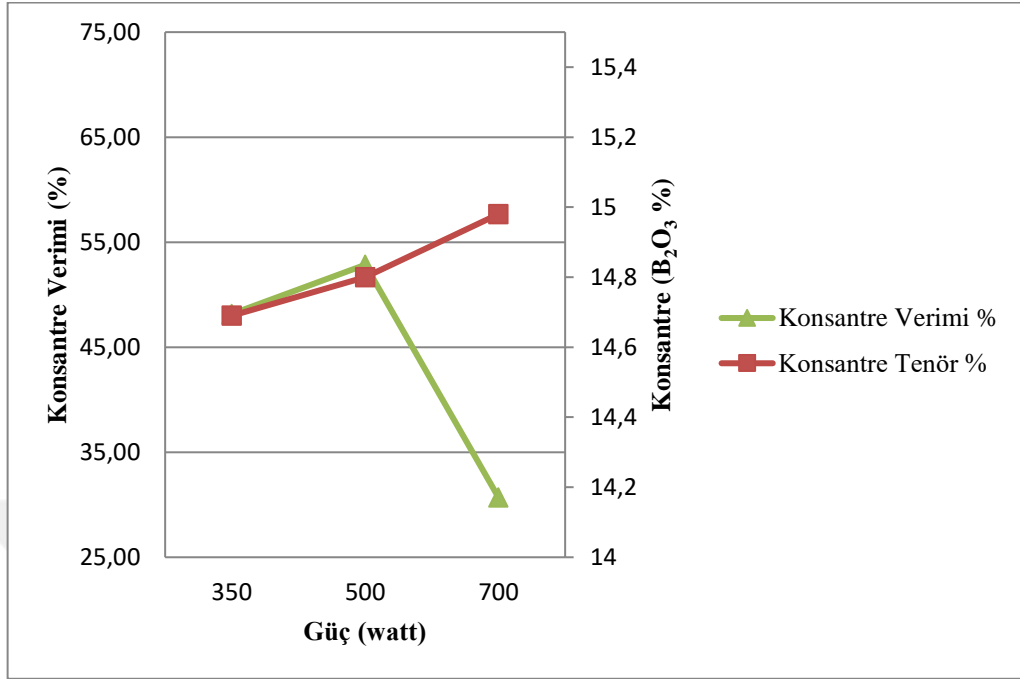
Şekil 5.4.'te görüldüğü gibi -0,5+0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %89,71 verim ile %11,77 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %81,88 verim ile %11,6 B₂O₃, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %78,26 verim ile %10,89 B₂O₃ tenörlü atık ürün elde edilmiştir.

Atık ürün verimi ve atık ürün B₂O₃ tenörü sürekli olarak düşmüştür.

-0,5+0,063 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en düşük olarak elde edilen atık tenörü %10,89 ile 700 watt güçte olmuştur. 700 watt mikrodalga güçteki atık verimi %78,26 olmuştur.

5.1.3. -0,063 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri

-0,063 mm tanecik boyutu için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.



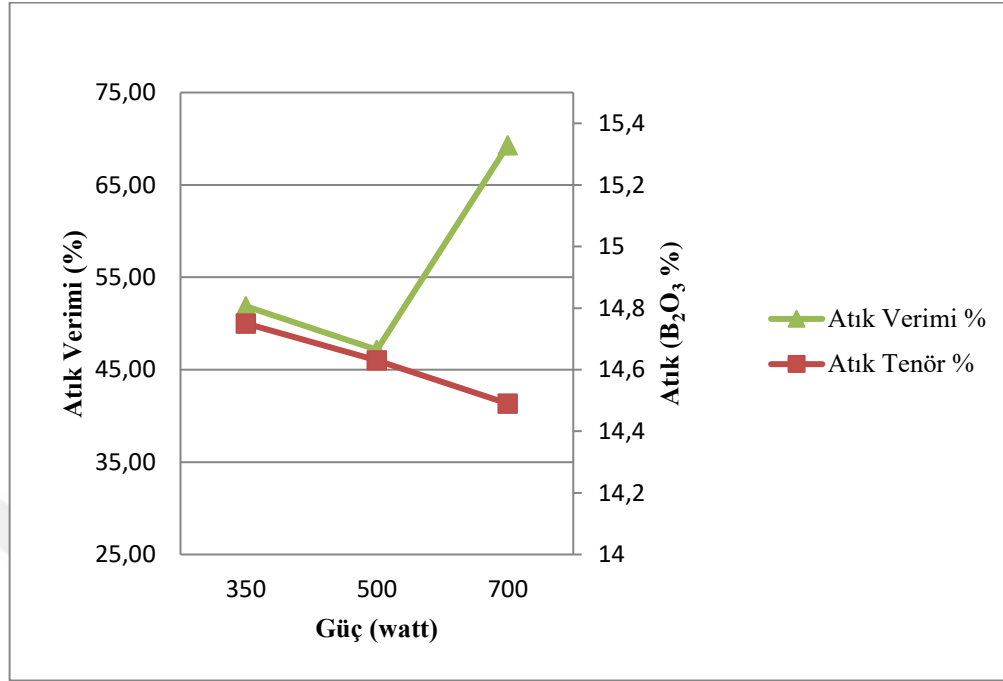
Şekil 5.5. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı konsantre ürün sonuçları.

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi -0,063 mm boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %48,15 verim ile %14,69 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %52,85 verim ile %14,80 B₂O₃, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %30,70 verim ile %14,98 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.

Konsantre ürün verimi 500 watt, konsantre ürün tenörü ise 700 watt değerine kadar artmıştır.

-0,063 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en yüksek oranda elde edilen konsantre tenörü %14,98 ile 700 watt güçte olmuştur. En yüksek konsantre ürün verimi ise %52,85 ile 500 watt güçte elde edilmiştir.

-0,063 mm boyutu için Besleme tenörünün %14,70 B₂O₃ olduğu düşünüldüğü zaman bu boyut için mikrodalga fırını çalışmalarının verimsiz olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.6. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin 40 dakika süre boyunca değişen mikrodalga güçlerine bağlı atık ürün sonuçları.

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi -0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 350 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %51,85 verim ile %14,75 B₂O₃, 500 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %47,15 verim ile %14,63, 700 watt mikrodalga güçte 40 dakika boyunca mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %69,30 verim ile %14,49 B₂O₃ tenörlü atık ürün elde edilmiştir.

Atık ürün B₂O₃ tenörü sürekli olarak düşmüştür.

-0,063 mm tane boyutunda 40 dakika mikrodalga süresi boyunca en düşük olarak elde edilen atık tenörü %14,49 ile 700 watt güçte olmuştur.

5.1.4. Mikrodalga Fırını Çalışmaları Sonuçları

Tuğla-kiremit çalışmalarında katkı maddesi olarak kullanılmak üzere yüksek kil içerikli atık bor ürününü elde etmek amacıyla 350,500 ve 700 watt ile yapılan tüm mikrodalga fırını çalışmaları dikkate alındığında, en düşük B₂O₃ tenörlü atığın %7,28 ile +0,5 mm tane boyutu için 500 watt güç değerinde elde edildiği saptanmıştır. Söz konusu parametrelerdeki verim ise %34,03 olarak tespit edilmiştir.

5.2. Kül Fırını Deney Sonuçları

Kül fırını deneyleri kapsamında Hisarcık atık barajına ait numunenin belirlenen her üç tane boyutunda değişen sıcaklık ve sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen sıcaklık değerleri 200-300-400-450-500-550-600-700-800 °C'lerdir. Belirtilen sıcaklık değerlerinde her üç tane boyutlu malzeme de 20-30-40-50 dakika süresince standart kül fırınında tutulmuş ve malzeme konulan kapların üzeri numunelerin dağılmaması için kapatılmıştır. Dekrepatasyon sonunda numunenin koyu kahverenginden beyaz renge dönüştüğü saptanmıştır.

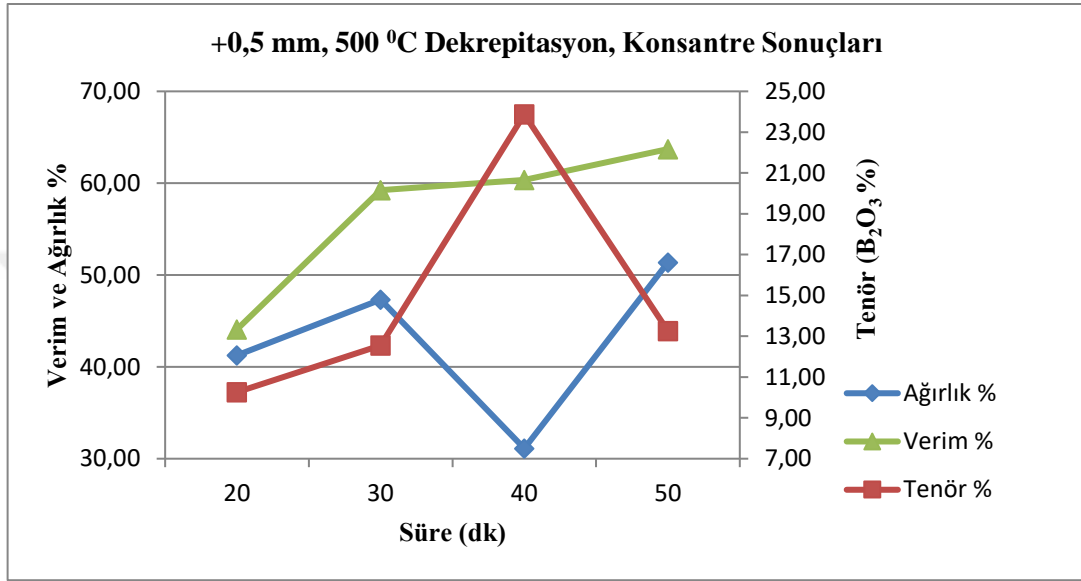
5.2.1. +0,5 mm tanecik boyutuna ait dekrepatasyon deneyleri

+0,5 mm tane boyutunda yapılan kül fırını deneylerinin analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. +0,5 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları.

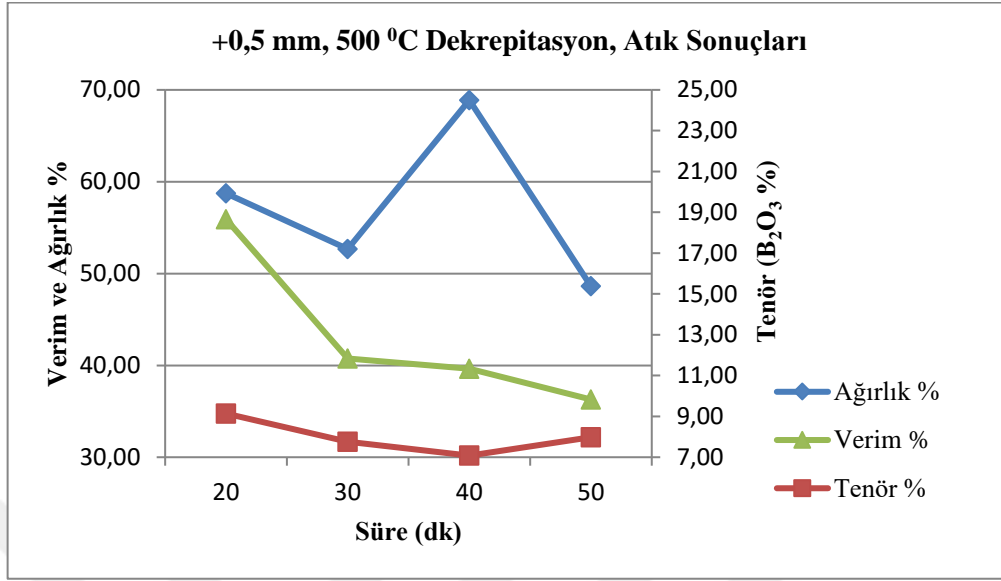
Sıcaklık (OC)		20 Dakika		30 Dakika		40 Dakika		50 Dakika	
		Konsantr	Atık	Konsantr	Atık	Konsantr	Atık	Konsantr	Atık
200	Ağırlık (%)	14,51	85,49	18,76	81,24	22,51	77,49	28,73	71,27
	Tenör (B2O3)	9,58	10,01	9,65	9,98	9,66	9,91	9,78	9,90
	Verim	13,97	86,03	18,25	81,75	22,07	77,93	28,48	71,52
300	Ağırlık (%)	18,11	81,89	20,56	79,44	31,20	68,80	39,03	60,97
	Tenör (B2O3)	9,95	8,55	10,30	8,45	10,24	8,23	10,21	7,86
	Verim	20,47	79,53	23,98	76,02	36,07	63,93	45,40	54,60
400	Ağırlık (%)	19,82	80,18	29,05	70,95	40,13	59,87	51,19	48,81
	Tenör (B2O3)	10,40	8,67	10,82	8,28	15,51	7,55	16,67	7,21
	Verim	22,87	77,13	34,86	65,14	57,93	42,07	70,80	29,20
450	Ağırlık (%)	35,35	64,65	41,56	58,44	43,15	56,85	58,42	41,58
	Tenör (B2O3)	10,31	9,77	10,56	9,65	15,60	7,20	14,11	7,87
	Verim	36,59	63,41	43,76	56,24	62,19	37,81	71,58	28,42
500	Ağırlık (%)	41,25	58,75	47,33	52,67	31,12	68,88	51,38	48,62
	Tenör (B2O3)	10,26	9,14	12,55	7,76	23,87	7,08	13,26	7,98
	Verim	44,08	55,92	59,24	40,76	60,37	39,63	63,72	36,28
550	Ağırlık (%)	44,01	55,99	44,89	55,11	47,52	52,48	48,25	51,75
	Tenör (B2O3)	10,22	9,20	12,48	7,96	14,50	7,25	12,76	8,11
	Verim	46,61	53,39	56,08	43,92	64,43	35,57	59,46	40,54
600	Ağırlık (gr)	47,78	52,22	49,23	50,77	50,03	49,97	50,56	49,44
	Tenör (B2O3)	10,11	9,63	10,50	7,70	10,75	7,57	9,75	8,55
	Verim	48,99	51,01	56,94	43,06	58,71	41,29	53,84	46,16
700	Ağırlık (%)	48,10	51,90	48,63	51,37	48,77	51,23	48,65	51,35
	Tenör (B2O3)	9,97	9,80	9,88	9,69	10,28	7,81	9,92	7,50
	Verim	48,53	51,47	49,12	50,88	55,62	44,38	55,62	44,38
800	Ağırlık (%)	47,01	52,99	42,21	57,79	32,06	67,94	25,41	74,59
	Tenör (B2O3)	9,79	9,89	10,75	8,55	9,09	9,40	9,87	9,91
	Verim	46,76	53,24	47,87	52,13	31,33	68,67	25,33	74,67

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi +0,5 mm tane boyutundaki numuneler için 200,300,400,450,500,550,600,700 ve 800 °C’lerde yapılan dekrepitasyon işlemlerinin sonucunda konsantre ürün için optimal parametre 500 °C de dekrepitasyon sıcaklığında 40 dakika dekrepitasyon süresi olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. +0,5 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepitasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi +0,5 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 500 °C de dekrepitasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Konsantre ürün B₂O₃ tenör değerleri 20. dakikanın sonunda %10,26, 30. dakikanın sonunda %12,55, 40. dakikanın sonunda %23,87, ve 50. dakikanın sonunda ise %13,26 olarak bulunmuştur. Konsantre ürün tenörü ısıya maruz kalma süresinin uzamasıyla artmış ancak 40.dakikadan sonra düşmeye başlamıştır. Konsantre ürün verimleri ise 20. dakikanın sonunda %44,08, 30. dakikanın sonunda %59,24, 40. dakikanın sonunda %60,37, ve 50. dakikanın sonunda ise %63,72 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.8 +0,5 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekreпитasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi +0,5 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 500 °C dekreпитasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Atık ürün tenör değerleri 20. dakikanın sonunda %9,14, 30. dakikanın sonunda %7,76, 40. dakikanın sonunda %7,08 ve 50. dakikanın sonunda ise %7,98 olarak bulunmuştur. Atık ürün verimleri ise tenör değerlerinin düşmesine paralel olarak; 20. dakikanın sonunda %55,92, 30. dakikanın sonunda %40,76, 40. dakikanın sonunda %39,63 ve 50. dakikanın sonunda ise %36,28 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre +0,5 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesinin 500°C de ki dekreпитasyon sıcaklığında zenginleştirme işlemlerine tabi tutulması sonucundaki en düşük tenör 40 dakikalık sürenin sonunda %39,63 verimle %7,08 B₂O₃ değeri olmuştur.

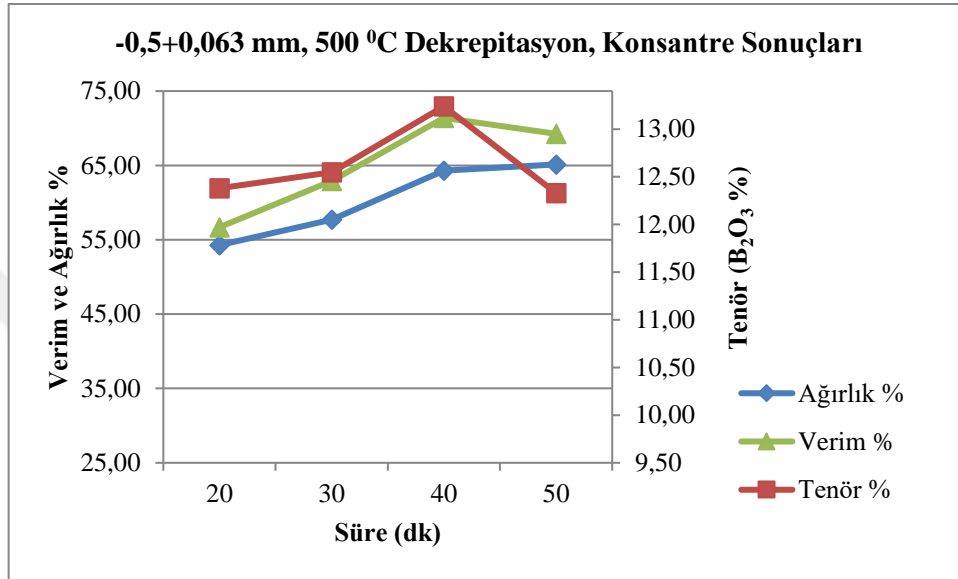
5.2.2. -0,5+0,063 mm Tanecik Boyutuna Ait Dekreпитasyon Çalışmaları

-0,5+0,063 mm tane boyutunda yapılan kül fırını deneylerinin analiz sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları.

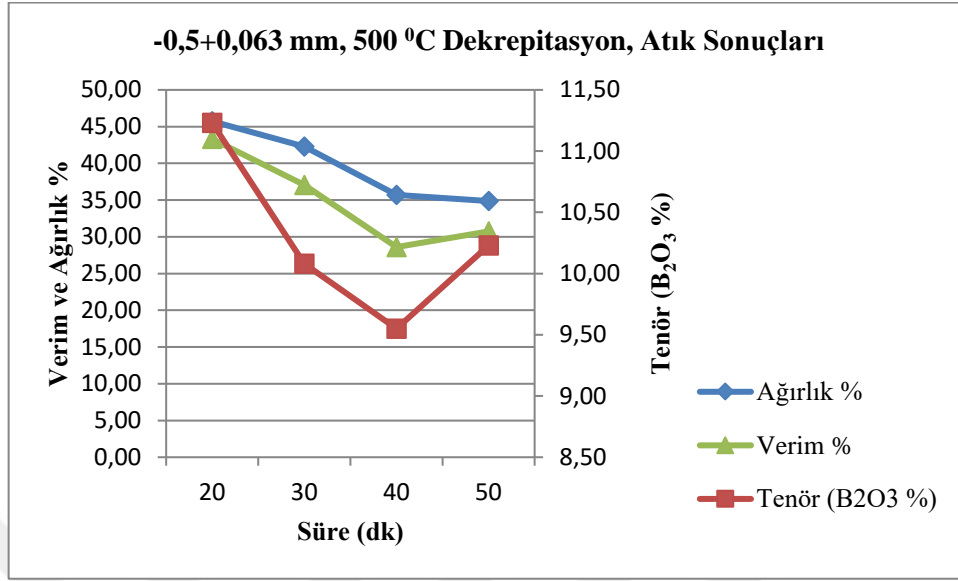
Sıcaklık 0C		20 Dakika		30 Dakika		40 Dakika		50 Dakika	
		Konsantr	Atık	Konsantr	Atık	Konsantr	Atık	Konsantr	Atık
200	Ağırlık (%)	48,22	51,78	51,25	48,75	52,32	47,68	52,55	47,45
	Tenör (B203)	11,56	12,76	12,00	12,61	11,98	12,03	11,97	11,77
	Verim	45,76	54,24	50,01	49,99	52,22	47,78	52,97	47,03
300	Ağırlık (%)	51,17	48,83	62,56	37,44	59,96	40,04	54,41	45,59
	Tenör (B203)	12,12	12,40	12,14	12,33	12,42	11,90	12,21	12,02
	Verim	50,60	49,40	62,20	37,80	60,98	39,02	54,80	45,20
400	Ağırlık (%)	53,31	46,69	57,10	42,90	48,77	51,23	30,31	69,69
	Tenör (B203)	12,10	12,15	12,68	11,23	12,55	9,61	11,98	11,66
	Verim	53,21	46,79	60,05	39,95	55,42	44,58	30,88	69,12
450	Ağırlık (%)	53,57	46,43	57,79	42,21	67,39	32,61	69,03	30,97
	Tenör (B203)	12,30	11,77	12,39	11,25	12,88	9,60	12,99	9,88
	Verim	54,66	45,16	60,13	40,05	73,49	26,51	74,56	25,44
500	Ağırlık (%)	54,28	45,72	57,70	42,30	64,29	35,71	65,13	34,87
	Tenör (B203)	12,38	11,23	12,55	10,08	13,24	9,55	12,33	10,23
	Verim	56,69	43,31	62,94	37,06	71,40	28,60	69,24	30,76
550	Ağırlık (%)	56,50	43,50	64,52	35,48	66,42	33,58	59,51	40,49
	Tenör (B203)	12,36	10,32	12,56	9,91	13,20	9,55	12,19	10,10
	Verim	60,87	39,13	69,74	30,26	73,22	26,78	63,95	36,05
600	Ağırlık (gr)	56,52	43,48	58,35	41,65	62,06	37,94	57,41	42,59
	Tenör (B203)	12,75	10,46	12,86	9,96	12,80	9,90	12,85	10,30
	Verim	61,31	38,69	64,40	35,60	67,90	32,10	62,71	37,29
700	Ağırlık (%)	58,87	41,13	45,65	54,35	54,17	45,83	50,32	49,68
	Tenör (B203)	12,97	11,20	13,00	11,25	13,01	11,88	11,56	12,45
	Verim	62,37	37,63	49,25	50,75	56,42	43,58	48,47	51,53
800	Ağırlık (%)	55,63	44,37	28,59	71,41	48,89	51,11	40,03	59,97
	Tenör (B203)	11,32	12,01	11,31	12,51	11,85	12,01	11,90	11,96
	Verim	54,17	45,83	26,58	73,42	48,55	51,45	39,91	60,09

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi -0,5 mm tane boyutundaki numuneler için 200,300,400,450,500,550,600,700 ve 800 °C’lerde yapılan dekrepitasyon işlemlerinin sonucunda konsantre ürün için optimal parametre 500 °C de dekrepitasyon sıcaklığında 40 dakika dekrepitasyon süresi olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepitasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi -0,5+0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 500 °C dekrepitasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Konsantre ürün tenör değerleri 20.dakikanın sonunda %12,38, 30. dakikanın sonunda %12,55, 40. dakikanın sonunda %13,24 ve 50.dakikanın sonunda %12,33 değerine ulaşmıştır. Konsantre ürün verim değerleri ise 20.dakikanın sonunda %56,69, 30. dakikanın sonunda %62,94, 40. dakikanın sonunda %71,40 ve 50.dakikanın sonunda %69,24 değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.10 -0,5+0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi -0,5+0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 500 °C dekrepatasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Atık ürün tenör değerleri 20.dakikanın sonunda %11,23, 30. dakikanın sonunda %10,08, 40. dakikanın sonunda %9,55 ve 50.dakikanın sonunda %10,23 değerine ulaşmıştır. Atık ürün verim değerleri ise 20.dakikanın sonunda %43,31, 30. dakikanın sonunda %37,06, 40. dakikanın sonunda %28,60 ve 50.dakikanın sonunda %30,76 değerine ulaşmıştır.

Bu sonuçlara göre -0,5+0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesinin 500 °C de ki dekrepatasyon sıcaklığında zenginleştirme işlemlerine tabi tutulması sonucundaki en düşük tenör 40 dakikalık sürenin sonunda %28,60 verimle %9,55 B₂O₃ değeri olmuştur.

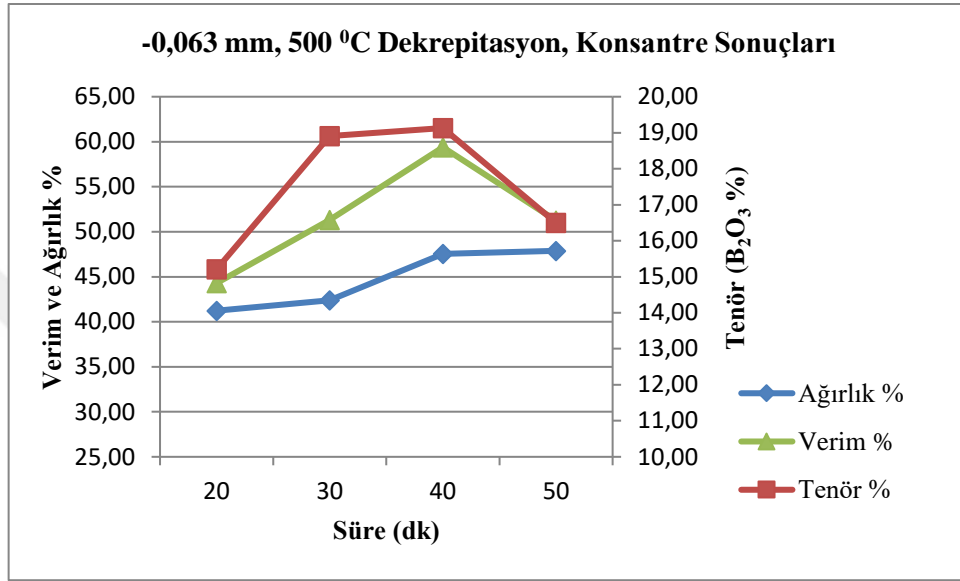
5.2.3. -0,063 mm tane boyutuna ait dekrepatasyon deneyleri

-0,063 mm tane boyutunda yapılan kül fırını deneylerinin analiz sonuçları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. -0,063 mm tane boyutundaki numunelerle yapılan kül fırını deneylerinin sonuçları.

Sıcaklık (°C)		20 Dakika		30 Dakika		40 Dakika		50 Dakika	
		Konsantre	Atık	Konsantre	Atık	Konsantre	Atık	Konsantre	Atık
200	Ağırlık (%)	22,18	77,82	21,19	78,81	25,52	74,48	31,19	68,81
	Tenör (B2O3)	13,50	14,89	14,46	14,22	15,03	14,49	15,10	14,44
	Verim	20,53	79,47	21,47	78,53	26,22	73,78	32,16	67,84
300	Ağırlık (%)	23,35	76,65	28,78	71,22	38,50	61,50	39,03	60,97
	Tenör (B2O3)	14,20	14,03	15,15	13,56	15,36	13,30	16,10	12,98
	Verim	23,57	76,43	31,10	68,90	41,96	58,04	44,26	55,74
400	Ağırlık (%)	25,65	74,35	26,66	73,34	31,99	68,01	40,08	59,92
	Tenör (B2O3)	14,23	15,22	15,55	13,99	15,46	14,23	15,11	14,65
	Verim	24,39	75,61	28,78	71,22	33,82	66,18	40,82	59,18
450	Ağırlık (%)	35,56	64,44	48,65	51,35	59,90	40,10	60,89	39,11
	Tenör (B2O3)	15,00	14,61	16,63	13,09	18,39	11,42	15,52	12,90
	Verim	36,17	63,83	54,62	45,38	70,64	29,36	65,19	34,81
500	Ağırlık (%)	41,23	58,77	42,40	57,60	47,55	52,45	47,88	52,12
	Tenör (B2O3)	15,21	13,42	18,91	13,21	19,13	11,86	16,50	14,42
	Verim	44,29	55,71	51,31	48,69	59,39	40,61	51,25	48,75
550	Ağırlık (%)	42,02	57,98	45,66	54,34	45,69	54,31	46,11	53,89
	Tenör (B2O3)	15,53	14,22	15,66	13,72	18,10	11,30	19,40	11,13
	Verim	44,18	55,82	48,96	51,04	57,40	42,60	59,86	40,14
600	Ağırlık (gr)	48,66	51,34	55,30	44,70	60,78	39,22	61,29	38,71
	Tenör (B2O3)	14,97	12,80	14,86	12,56	16,33	11,28	15,33	14,61
	Verim	52,57	47,43	59,41	40,59	69,17	30,83	62,42	37,58
700	Ağırlık (%)	45,45	54,55	50,51	49,49	56,55	43,45	59,97	40,03
	Tenör (B2O3)	17,78	12,35	17,48	14,45	15,31	14,56	14,97	12,49
	Verim	54,54	45,46	55,25	44,75	57,78	42,22	64,23	35,77
800	Ağırlık (%)	40,00	60,00	68,18	31,82	65,23	34,77	58,50	41,50
	Tenör (B2O3)	15,56	15,02	16,17	14,09	15,56	15,10	14,88	15,03
	Verim	40,85	59,15	71,09	28,91	65,91	34,09	58,26	41,74

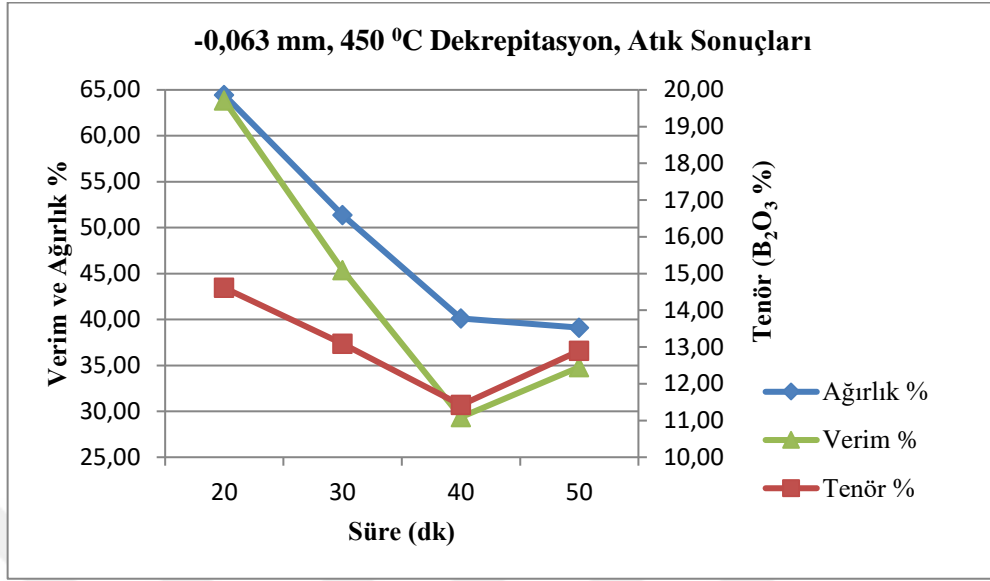
-0,063 mm tane boyutundaki numuneler için 200,300,400,450,500,550,600,700 ve 800 °C’lerde yapılan dekrepitasyon işlemlerinin sonucunda konsantre ürün için optimal parametre 500 °C de dekrepitasyon sıcaklığında 40 dakika dekrepitasyon süresi olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 500 °C dekrepitasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen konsantre ürün sonuçları.

Şekil 6.5’te görüldüğü gibi -0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 500 °C de dekrepitasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Konsantre ürün tenör değerleri 20.dakikanın sonunda %15,21, 30. dakikanın sonunda %18,91, 40. dakikanın sonunda %19,13’e yükselmiş ve 50. dakikanın sonunda bir miktar düşerek %16,50 B₂O₃ değerine inmiştir. Konsantre ürün verim değerleri ise 20.dakikanın sonunda %44,29, 30. dakikanın sonunda %51,31, 40. dakikanın sonunda %59,39 ve 50.dakikanın sonunda %51,25 değerine ulaşmıştır.

-0,063 mm tane boyutundaki numuneler için 200,300,400,450,500,550,600,700 ve 800 °C’lerde yapılan dekrepitasyon işlemlerinin sonucunda atık ürün için optimal parametre 450 °C de dekrepitasyon sıcaklığında 40 dakika dekrepitasyon süresi olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



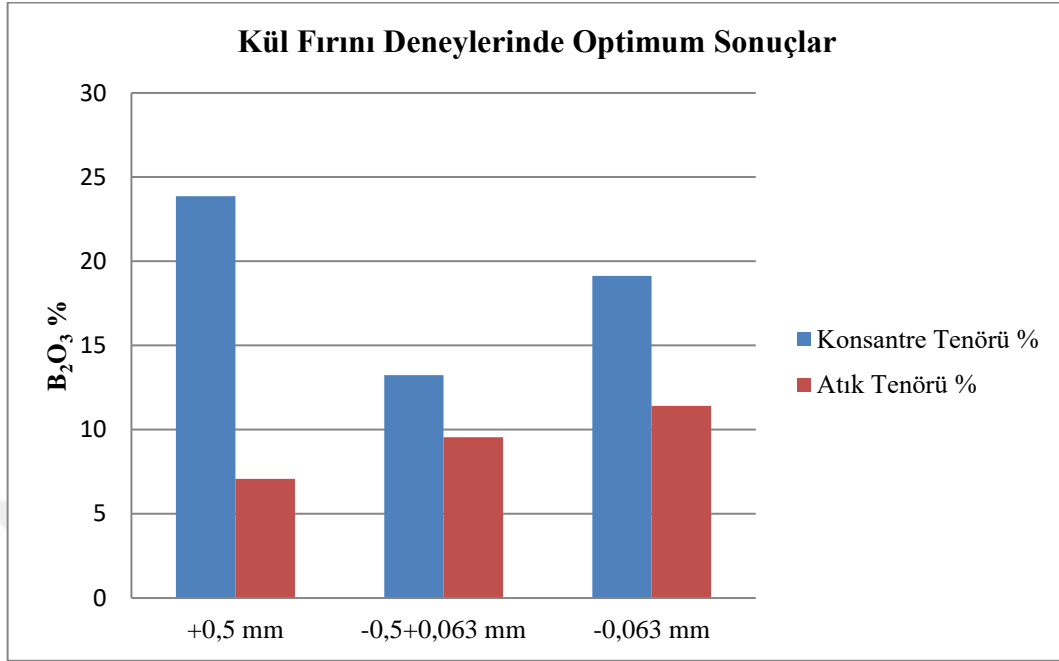
Şekil 5.12. -0,063 mm tane boyutundaki numunenin değişen sürelerde 450 °C dekrepatasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen atık ürün sonuçları.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi -0,063 mm tane boyutundaki Hisarcık baraj numunesi 450 °C de dekrepatasyon sıcaklığında değişen süreler boyunca ısı enerjisine maruz bırakıldığında; Atık ürün tenör değerleri 20.dakikanın sonunda %14,61, 30. dakikanın sonunda %13,09, 40. dakikanın sonunda %11,42’e düşmüş ve 50. dakikanın sonunda bir miktar artarak %12,90 B₂O₃ değerine yükselmiştir. Atık ürün verim değerleri ise 20.dakikanın sonunda %63,83, 30. dakikanın sonunda %45,38, 40. dakikanın sonunda %29,36 ve 50.dakikanın sonunda %34,81 değerine ulaşmıştır.

Hisarcık Atık barajı -0,063 mm boyutlu malzemeyle yapılan tüm dekrepatasyon işlemlerinde esas amaç tuğla-kiremit çalışmalarına kaynak olabilecek yüksek kil ve düşük bor içerikli malzeme elde etmek olduğu için 450 °C de ki 40 dakika süre ile yapılan dekrepatasyon çalışması optimum parametre olarak belirlenmiştir. Bu parametrede elde edilen kilin B₂O₃ tenörü %11,42, verimi ise %29,36 olmuştur.

5.2.4. Kül fırını çalışmaları sonuçları

Atıklardan konsantre ürün elde etmek ve tuğla-kiremit çalışmalarına katkı maddesi olarak kullanılmak üzere yüksek kil içerikli atık bor ürünü elde etmek amacıyla 200,300,400,500,600,700 ve 800 °C’lerde yapılan tüm dekrepatasyon çalışmaları dikkate alındığında elde edilen en yüksek ve en düşük tenör değerleri aşağıdaki Şekil 5.13’te verilmiştir.



Şekil 5.13. Kül fırını deneylerinde elde edilen en yüksek ve en düşük B_2O_3 değerleri.

Şekil 5.13'te verildiği gibi en düşük B_2O_3 tenörlü atık, +0,5 mm tane boyutunda, 500 °C'de ve 40 dakikalık dekrepitasyon süresi sonucunda %7,08 B_2O_3 tenör ve %39,63 verimle elde edilirken en yüksek tenörlü konsantre ise aynı tane boyutunda ve aynı parametrelerde %23,87 B_2O_3 tenör ve %60,37 verimle elde edilmiştir.

6. TUĞLA-KİREMİT ÇALIŞMALARI

6.1. Çalışma Yöntemi ve Numune Hazırlama

DPT, 2001 raporlarına göre killerin ortalama olarak %42-64 SiO₂, %15-20 Al₂O₃ ve %0,7-9,5 CaO değerlerine sahip olması istenmektedir. Ayrıca K₂O içeriğinin %0,6-1,7 ve Fe₂O₃ değerinin ise %2,8-7 arasında olması istenmektedir (DPT, 2001; Arkun, 1980).

Bu çalışmada ise, tuğla-kiremit katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılan Hisarcık barajı bor atıkları numunesinin minerolojik içeriği X-Işınları kırınımı (XRD) testiyle belirlenmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimleri ise XRF sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Fiziksel ve teknolojik özelliklerinin tespit edilmesi için ise numuneler belirli oranlarda Akdemir Tuğla ve Kiremit Fabrikasında kiremit hammaddesi olarak kullanılan ve temsili olarak alınan numune önce laboratuvar şartlarında oda sıcaklığında 2 gün bekletildikten sonra Etüvde 106 °C'de 2 saat kurutularak hazırlanmış ve torbalara konulmuş. Benzer şekilde Hisarcık atık barajından alınan numunede hazırlanarak belirli oranda karıştırılıp homojenlendirilmiş ve su ile yoğrularak 65*80*15 mm'lik tahta kalıplarda basit el presi uygulanarak şekillendirilmiştir.

Şekillendirilen numuneler 24 saat dinlendirildikten sonra 106 °C sıcaklığında etüvde 4 saat boyunca kurutulmuş ve sonra kiremit uygunluğu için 820 °C, 870 °C ve 920 °C'lerde, tuğla uygunluğu için ise 530 °C, 580 °C ve 630 °C'lerde pişirilmiştir.

TSE 4790'daki deney metotlarına göre yapılan analizler sonucunda killerin yoğrulma suyu, pişme küçülmesi, kuruma küçülmesi ve su emme miktarları belirlenmiştir. Pişirilen numuneler ise pişme rengi, sertlik, zararlı kireç bulguları mukavemet ve dona dayanım testlerine tabi tutulmuştur.

Kiremit üretimi için yapılan çalışmaların akım şeması Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kiremit sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numune grupları.

Sıcaklık 0C	Miktar %	Hisarcık Baraj Besleme	+ 0,5 mm Malzeme	- 0,5+0,063 mm Malzeme	+ 0,063 mm Malzeme	Nihai Atık
820	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X
870	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X
920	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X

Yapılan çalışmalar Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi nihai atık (+0,5 mm boyutundan elde edilen dekrepite bor atığı) üzerinden detaylandırılmış olup diğer grup örneklerinde sonuçlarını gözlemek amacıyla %15 oranında Eskişehir kili ile harmanlanıp karıştırılmış ve hazırlanan karışımlar kiremit yapımı için 820 0C, 870 0C ve 920 0C’lerde pişirilmiştir.

Kiremit üretimi için yapılan çalışmalarda numunelere verilen kodlar Çizelge 6.2’ de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kiremit sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numunelerin kodları.

Sıcaklık OC	Miktar %	Hisarcık Baraj Besleme	+ 0,5 mm Malzeme	- 0,5+0,063 mm Malzeme	+ 0,063 mm Malzeme	Nihai Atık
820	0					0.1-0.2-0.3
	5					1.1-1.2-1.3
	10					2.1-2.2-2.3
	15	A3.1-A3.2-A3.3	B3.1-B3.2-B3.3	C3.1-C3.2-C3.3	D3.1-D3.2-D3.3	3.1-3.2-3.3
	20					4.1-4.2-4.3
	25					5.1-5.2-5.3
870	0					0.4-0.5-0.6
	5					7.1-7.2-7.3
	10					8.1-8.2-8.3
	15	A9.1-A9.2-A9.3	B9.1-B9.2-B9.3	C9.1-C9.2-C9.3	D9.1-D9.2-D9.3	9.1-9.2-9.3
	20					10.1-10.2-10.3
	25					11.1-11.2-11.3
920	0					0.7-0.8-0.9
	5					13.1-13.2-13.3
	10					14.1-14.2-14.3
	15	A15.1-A15.2-A15.3	B15.1-B15.2-B15.3	C15.1-C15.2-C15.3	D15.1-D15.2-D15.3	15.1-15.2-15.3
	20					16.1-16.2-16.3
	25					17.1-17.2-17.3

Kiremit üretimi için hazırlanan numunelere takibi kolaylaştırmak için Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi çeşitli kodlar verilmiştir. Buna göre Hisarcık Baraj Besleme katkı olan numuneler ‘A’, + 0,5 mm malzeme katkı olanlara ‘B’, - 0,5+0,063 mm malzeme katkı olanlara ‘C’, - 0,063 mm malzeme katkı olanlara ‘D’ kodu verilmiş olup, nihai atık katkı olanlara ise harf kodu verilmemiştir. Numuneler katkı oranlarına göre de 1’den 17’ye kadar adlandırılmış ve her gruptan üç (3) adet numune hazırlanmıştır. Ön çalışmalarda deney gruplarında yer alan ve 6,12,18 numaralar ile kodlanan %50 nihai atık katkı kiremit örneklerinde karşılaşılan deformasyonlardan dolayı raporlamada yer verilmemiştir.

Tuğla numuneleri de aynı şekilde hazırlanmış olup yapılan çalışmaların akım şeması Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Tuğla sektörüne uygunluk araştırmalarının yapıldığı numune grupları.

Sıcaklık °C	Miktar %	Hisarcık Baraj Besleme	+ 0,5 mm Malzeme	- 0,5+0,063 mm Malzeme	+ 0,063 mm Malzeme	Nihai Atık
530	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X
	30					X
580	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X
	30					X
630	0					X
	5					X
	10					X
	15	X	X	X	X	X
	20					X
	25					X
	30					X

Yapılan çalışmalar Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi nihai atık üzerinden detaylandırılmış olup diğerk grup örneklerinden de sonuçlarını gözlemek amacıyla %15 oranında Eskişehir kili ile harmanlanıp karıştırılmış ve hazırlanan karışımlar 530 °C, 580 °C ve 630 °C'lerde gözlem amacıyla pişirilmiştir.

Tuğla üretimi için yapılan çalışmalarda numunelere verilen kodlar Çizelge 6.4' te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Tuğla sektörüne uygunluk araştırmalarının yapılacağı numunelerin kodları.

Sıcaklık OC	Miktar %	Hisarcık Baraj Besleme	+ 0,5 mm Malzeme	- 0,5+0,063 mm Malzeme	+ 0,063 mm Malzeme	Nihai Atık
530	0					T0.1-T0.2-T0.3
	5					T1.1-T1.2-T1.3
	10					T2.1-T2.2-T2.3
	15	TA3.1-TA3.2-TA3.3	TB3.1-TB3.2-TB3.3	TC3.1-TC3.2-TC3.3	TD3.1-TD3.2-TD3.3	T3.1-T3.2-T3.3
	20					T4.1-T4.2-T4.3
	25					T5.1-T5.2-T5.3
	30					T6.1-T6.2-T6.3
580	0					T0.4-T0.5-T0.6
	5					T7.1-T7.2-T7.3
	10					T8.1-T8.2-T8.3
	15	TA9.1-TA9.2-TA9.3	TB9.1-TB9.2-TB9.3	TC9.1-TC9.2-TC9.3	TD9.1-TD9.2-TD9.3	T9.1-T9.2-T9.3
	20					T10.1-T10.2-T10.3
	25					T11.1-T11.2-T11.3
	30					T12.1-T12.2-T12.3
630	0					T0.7-T0.8-T0.9
	5					T13.1-T13.2-T13.3
	10					T14.1-T14.2-T14.3
	15	TA15.1-TA15.2-TA15.3	TB15.1-TB15.2-TB15.3	TC15.1-TC15.2-TC15.3	TD15.1-TD15.2-TD15.3	T15.1-T15.2-T15.3
	20					T16.1-T16.2-T16.3
	25					T17.1-T17.2-T17.3
	30					T18.1-T18.2-T18.3

Tuğla üretimi için hazırlanan numunelere takibi kolaylaştırmak için Çizelge 6.4'te görüldüğü gibi çeşitli kodlar verilmiştir. Buna göre Hisarcık Baraj Besleme katkılı olan numuneler 'TA', + 0,5 mm malzeme katkılı olanlara 'TB', - 0,5+0,063 mm malzeme katkılı olanlara 'TC', - 0,063 mm malzeme katkılı olanlara 'TD', nihai atık katkılı olanlara 'T' kodu verilmiştir. Numuneler katkı oranlarına göre de 1'den 18'e kadar adlandırılmış ve her gruptan üç (3) adet numune hazırlanmıştır.

6.2. Kiremit-Tuğla Üretiminde Standartlar

Hisarcık atık barajından elde edilen 5 farklı numunenin fiziksel ve teknolojik özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla yoğrulma suyu, kuruma ve pişme küçülmesi, sertlik, pişme rengi, kireç bulgusu ve dona dayanım ve mukavemet testleri TS 4790 maddesinde belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

TS 4790 maddesine göre; tuğla-kiremit üretiminde kullanılması planlanan killerin;

- Pişme küçülmesi \leq % 10
- Kuruma küçülmesi \leq % 10
- Su emme miktarı %8-18
- Yoğrulma suyu %25-35

- Pişme rengi=koyu kırmızı
- Pişme sonrası sertlik= 3-5 (Mohs Skalasına göre)
- Kireç bulgusu =YOK
- Dona Dayanım= DAYANIKLI olması istenmektedir (Yılmaz, vd. 2007).

6.3. Kiremit Numunelerine Uygulanan Testler ve Sonuçları

6.3.1. 820 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

820 °C’de pişen nihai atık katkılı kiremit numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.5’te gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.5. 820 °C’de pişen kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.

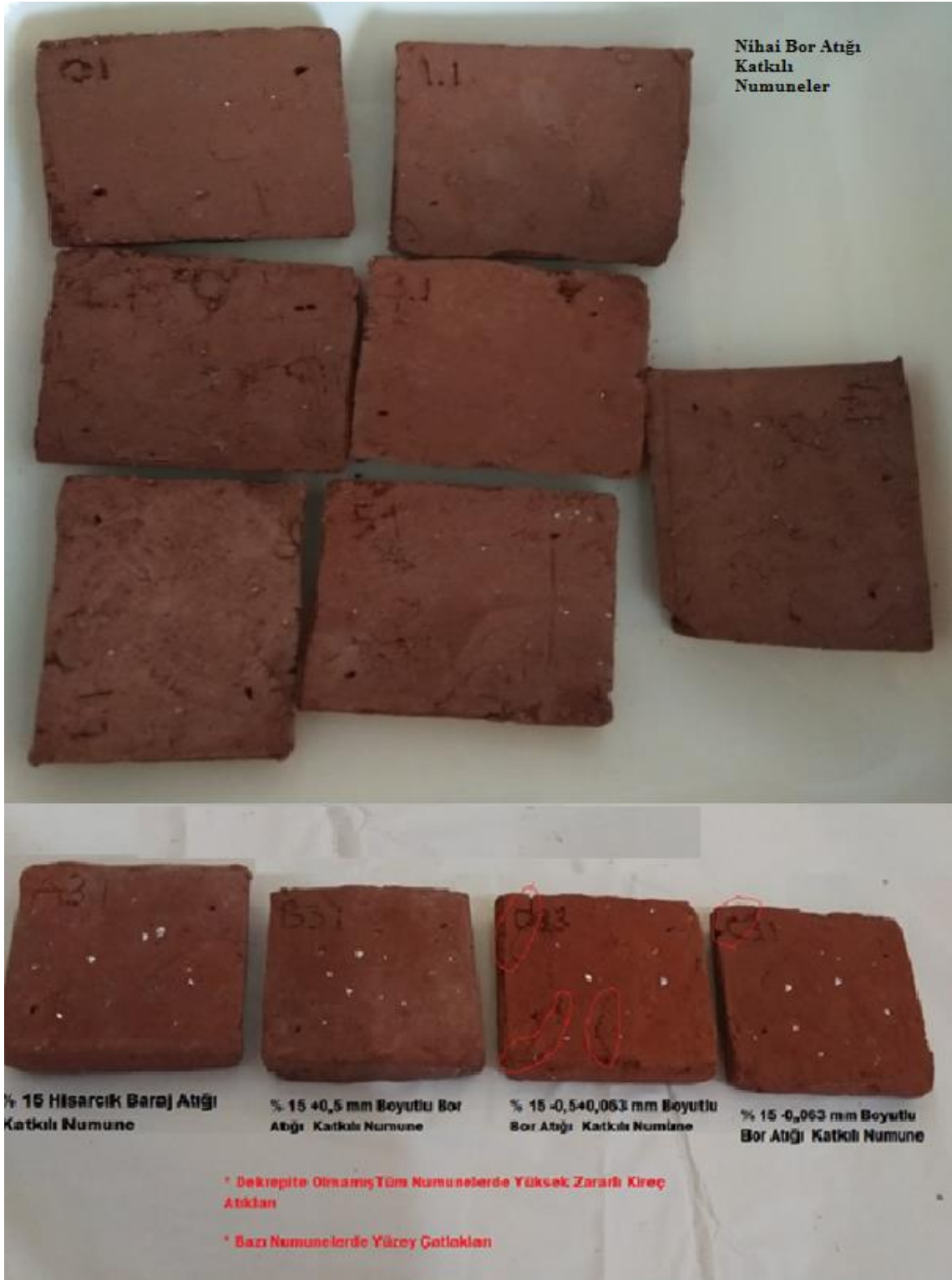
	Numune adı	Kuruma Küçülmesi %	Pişme Küçülmesi %	Plastisite Suyu %	Ateşte Zayıt	Su Emme %	Zararlı Kireç Bulgusu	Dona Dayanım	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	0.1	7,14	1,54	24,77	8,21	12,33	Yok	✓	11,33	1,70	Açık Kırmızı
	0.2										
	0.3										
% 5 Bor Atığı	1.1	5,24	0,00	20,64	7,86	12,65	Yok	✓	15,00	1,70	Açık Kırmızı
	1.2										
	1.3										
% 10 Bor Atığı	2.1	5,71	0,00	21,12	7,96	14,49	Yok	✓	34,33	1,68	Açık Kırmızı
	2.2										
	2.3										
% 15 Bor Atığı	3.1	5,71	1,01	21,93	8,22	15,83	Yok	✓	34,50	1,68	Açık Kırmızı
	3.2										
	3.3										
% 20 Bor Atığı	4.1	5,71	2,53	22,59	8,23	16,28	Yok	✓	35,00	1,67	Açık Kırmızı
	4.2										
	4.3										
% 25 Bor Atığı	5.1	6,19	2,54	24,40	8,42	16,32	Yok	✓	35,50	1,63	Açık Kırmızı
	5.2										
	5.3										
Hisarcık Baraj Besleme (%15)	A3.1	6,19	0,00	22,84	9,03	22,45	Var	✓	25,00	1,77	Açık Kırmızı
	A3.2										
	A3.3										
+0,5 mm Malzeme (%15)	B3.1	7,14	0,51	20,95	9,23	19,42	Var	✓	41,50	1,80	Açık Kırmızı
	B3.2										
	B3.3										
-0,5 +0,063 mm Malzeme	C3.1	6,67	0,51	23,32	8,25	18,12	Var	Yüzeysel Çatlak	13,30	1,75	Açık Kırmızı
	C3.2										
	C3.3										
+0,063 mm Malzeme (%15)	D3.1	5,71	0,25	24,15	8,30	23,32	Var	Yüzeysel Çatlak	6,67	1,57	Açık Kırmızı
	D3.2										
	D3.3										

Çizelge 6.5'teki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numune için %7,14 olmuşken %5 nihai atık katkılı numunelerde %5,24, %10, %15 ve %20 nihai atık katkılı numunelerde %5,71, ve %25 nihai atık katkılı numunelerde %6,19 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %6,19, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %7,14, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %6,67 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %5,71 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai bor atığı katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları kuruma küçülmesi değerini az miktarda düşürmüştür.
- Pişme küçülmesi değerleri referans numune için %1,54 olmuşken %5 ve %10 nihai atık katkılı numunelerde %0,00, %15 nihai atık katkılı numunelerde %1,01, %20 nihai atık katkılı numunelerde %2,53 ve %25 nihai atık katkısında ise %2,54 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber pişme küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %0, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %0,51, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %0,51 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %0,25 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai bor atığı katkı oranı %15'e kadar referans numuneye göre pişme küçülmesi değerini düşürürken katkı oranı arttıkça pişme küçülmesi değeri artmaya devam etmiştir. Ancak hazırlanan tüm karışımlar TSE'ye göre istenen maksimum %10'luk pişme küçülmesi değerinin altında kalarak standartlara uygun sonuç vermiştir.
- Plastiklik suyu değerleri referans numune için %24,77 olmuşken %5 nihai atık katkısında %20,64, %10 nihai atık katkısında %21,12, %15 nihai atık katkısında %21,93, %20 nihai atık katkısında %22,59 ve %25 nihai atık katkısında %24,40 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %22,84, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %20,95, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %23,32 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %24,15 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları plastiklik suyu değerlerini bir miktar düşürmüş olsa da katkı oranı arttıkça plastiklik suyu değeri de yükselmiştir.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %8,21 olmuşken %5 nihai atık katkısında %7,86, %10 nihai atık katkısında %7,96, %15 nihai atık katkısında %8,22, %20 nihai atık katkısında %8,23 ve %25 nihai atık katkısında %8,42 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %9,03, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %9,23, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı

numunelerde %8,25 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %8,30 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ateşte zayıt değerlerini bir miktar düşürmüş olsa da katkı oranı %20'den fazla olunca ateşte zayıt değeri de referans numuneye göre yüksek çıkmıştır. Dekrepite olmayan bor atığı katkıları ise ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmiştir.

- Su emme değerleri referans numune için %12,33 olmuşken %5 nihai atık katkısında %12,65, %10 nihai atık katkısında %14,49, %15 nihai atık katkısında %15,83, %20 nihai atık katkısında %16,28 ve %25 nihai atık katkısında %16,32 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %22,45, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %19,42, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %18,12 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %23,32 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre bir miktar yükseltmiştir.
- Nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı olan kiremit numunelerine TS EN 1304 standartlarına uygun şekilde don testi ve zararlı kireç atıkları testleri de yapılmış ve numunelerin yüzeyleri gözle kontrol edilmiştir.



Şekil 6.1. 820 °C'de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkıli numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.

- Yukarıdaki Şekil 6.1 incelendiğinde %20'lik nihai atık katkılı numune yüzeyinde kireç artıkları belirlemeye başlamıştır. Ancak bu artıkların kabul edilebilir düzeyde kaldığı söylenebilir. Aynı zamanda don testine tabi tutulan nihai atık katkılı numunelerin yüzeylerinde herhangi bir fraksiyon, pullanma ve dağılma vb. gibi olumsuzluklara rastlanılmamıştır. Ancak %15'lik dekrepite olmayan bor atığı ilaveli tüm numunelerin yüzeylerinde gözle görülebilir büyüklükte zararlı kireç artıkları gözlenmiştir. Bu artıkların ise kabul edilebilir düzeyde kaldığı söylenemez. Aynı zamanda don testine tabi tutulan numunelerden $-0,5+0,063$ mm ve $-0,063$ mm katkılı olanlarda da yüzey çatlakları gözlemlenmiştir.
- Mukavemet testi kiremit-tuğla üretiminde başvuru ve kullanılacak hammaddeleri belirlemedeki en önemli testtir. 820°C pişme sıcaklığındaki mukavemet değerleri referans numune için 11,33 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 15,00 kgf, %10 nihai atık katkısında 34,33 kgf, %15 nihai atık katkısında 34,50 kgf, %20 nihai atık katkısında 35 kgf ve %25 nihai atık katkısında 35,50 kgf olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber mukavemet değeri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde 25 kgf, %15'lik $+0,5$ mm malzeme katkılı numunelerde 41,50 kgf, %15'lik $-0,5+0,063$ mm malzeme katkılı numunelerde 13,30 kgf ve %15'lik $-0,063$ mm malzeme katkılı numunelerde 6,67 kgf olarak tespit edilmiştir. Buna göre hem nihai atık katkılı numuneler hem de dekrepite olmayan bor atığı katkıları mukavemet değerlerini referans numuneye göre oldukça yükseltmiştir.
- Özgül ağırlık değerleri referans numune için 1,70 olmuşken %5 nihai atık katkısında yine 1,70 %10 ve %15 nihai atık katkısında 1,68, %20 nihai atık katkısında 1,67 ve %25 nihai atık katkısında 1,63 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür. Bununla beraber özgül ağırlık %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde 1,77, %15'lik $+0,5$ mm malzeme katkılı numunelerde 1,80, %15'lik $-0,5+0,063$ mm malzeme katkılı numunelerde 1,75 ve %15'lik $-0,063$ mm malzeme katkılı numunelerde 1,57 olarak tespit edilmiştir. Buna göre $-0,063$ mm'lik bor atığı katkısı özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüşken diğer katkılar özgül ağırlık değerlerini yükseltmiştir.
- 820°C 'de pişirilen tüm kiremit numunelerinde pişme rengi açık kırmızı olmuştur. Bunun sebebi ise hem pişme sıcaklığının düşük olması hem de kiremit numunesinin bileşenlerinden olan bor atıklarındaki demir oranlarının düşük olmasıdır. Ancak bu problem bir miktar renk düzenleyici ilavesiyle kolaylıkla giderilebilir.

6.3.2. 870 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

870 °C'de pişen kiremit numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.6'da gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.6. 870 °C'de pişen kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.

	Numune adı	Kuruma Küçülmesi %	Pişme Küçülmesi %	Plastisite Suyu %	Ateşte Zayıyat	Su Emme %	Zararlı Kireç Bulgusu	Dona Dayanım	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	0.4	7,14	1,54	24,08	8,70	16,63	Yok	✓	12,50	1,70	Kırmızı
	0.5										
	0.6										
% 5 Bor Atığı	7.1	5,24	0,50	21,31	8,07	15,10	Yok	✓	17,50	1,70	Kırmızı
	7.2										
	7.3										
% 10 Bor Atığı	8.1	5,71	0,51	21,89	8,50	14,43	Yok	✓	31,00	1,68	Kırmızı
	8.2										
	8.3										
% 15 Bor Atığı	9.1	5,71	1,26	22,05	8,67	14,32	Yok	✓	34,50	1,67	Kırmızı
	9.2										
	9.3										
% 20 Bor Atığı	10.1	5,71	2,53	22,65	8,87	13,51	Yok	✓	35,33	1,67	Kırmızı
	10.2										
	10.3										
% 25 Bor Atığı	11.1	6,19	2,54	23,62	9,36	12,05	Yok	Çatlama	35,66	1,65	Kırmızı
	11.2										
	11.3										
Hisarcık Baraj Besleme (%15)	A9.1	6,19	0,00	22,51	9,61	19,26	Var	Ufalanma ve Dağılma	18,17	1,68	Kırmızı
	A9.2										
	A9.3										
+0,5 mm Malzeme (%15)	B9.1	7,14	0,51	21,96	9,45	17,96	Var	✓	38,17	1,70	Kırmızı
	B9.2										
	B9.3										
-0,5 +0,063 mm Malzeme	C9.1	6,67	1,02	24,31	8,51	15,90	Var	✓	40,16	1,66	Kırmızı
	C9.2										
	C9.3										
+0,063 mm Malzeme (%15)	D9.1	5,71	0,25	23,52	8,53	20,67	Var	✓	20,00	1,59	Kırmızı
	D9.2										
	D9.3										

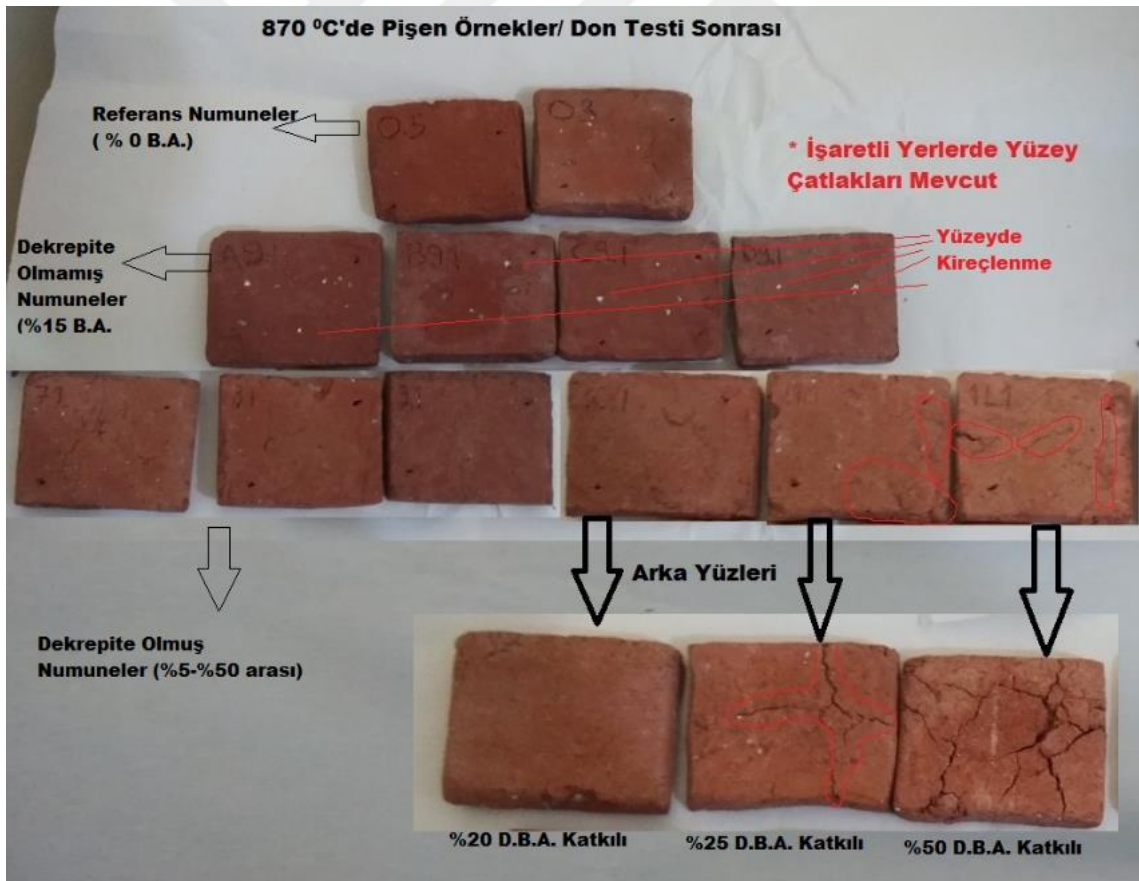
Çizelge 6.6'daki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numune için %7,14 olmuşken %5 nihai atık katkılı numunelerde %5,24, %10, %15 ve %20 nihai atık katkılı numunelerde %5,71 ve %25 nihai atık katkılı numunelerde %6,19 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %6,19, %15'lik +0,5

mm malzeme katkıli numunelerde %7,14, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %6,67 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %5,71 olarak tespit edilmiştir. Buna göre hem nihai bor atığı hem de dekrepite olmayan bor atığı katkısı kuruma küçülmesi değerlerini az miktarda düşürmüştür.

- Pişme küçülmesi değerleri referans numune için %1,54 olmuşken %5 ve %10 nihai atık katkıli numunelerde %0,00, %15 nihai atık katkıli numunelerde %1,01 , %20 nihai atık katkıli numunelerde %2,53 ve %25 nihai atık katkısında ise %2,54 olarak tespit edilmiştir. Buna göre katkı oranı %15'e kadar referans numuneye göre pişme küçülmesi değerini düşürürken katkı oranı arttıkça pişme küçülmesi değeri artmaya devam etmiştir. Bununla beraber pişme küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde %0, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde %0,51, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %1,02 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %0,25 olarak tespit edilmiştir. Ancak hazırlanan tüm karışımlar TSE'ye göre istenen maksimum %10'luk pişme küçülmesi değerinin altında kalarak standartlara uygun sonuç vermiştir.
- Plastiklik suyu değerleri referans numune için %24,08 olmuşken %5 nihai atık katkısında %21,31, %10 nihai atık katkısında %21,89, %15 nihai atık katkısında %22,05, %20 nihai atık katkısında %22,65 ve %25 nihai atık katkısında %23,62 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı plastiklik suyu değerlerini bir miktar düşürmüş olsa da katkı oranı arttıkça plastiklik suyu değeri de yükselmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde %22,51, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde %21,96, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %24,31 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %23,52 olarak tespit edilmiştir. Buna göre dekrepite olmayan bor atığı katkısı plastiklik suyu değerlerini bir miktar düşürmüştür.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %8,70 olmuşken %5 nihai atık katkısında %8,07, %10 nihai atık katkısında %8,50, %15 nihai atık katkısında %8,67, %20 nihai atık katkısında %8,87 ve %25 nihai atık katkısında %9,36 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkı oranı %20'den fazla olunca ateşte zayıt değeri de referans numuneye göre yüksek çıkmıştır. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde %9,61, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde %9,45, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %8,51 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %8,53 olarak tespit edilmiştir. Buna göre dekrepite olmayan bor atığı katkısı ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmiştir.

- Su emme değerleri referans numune için %16,63 olmuşken %5 nihai atık katkısında %15,10, %10 nihai atık katkısında %14,43, %15 nihai atık katkısında %14,32, %20 nihai atık katkısında %13,51 ve %25 nihai atık katkısında %12,05 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre bir miktar düşürmüştür. Bununla beraber Su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %19,26, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %17,96, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %15,90 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %20,67 olarak tespit edilmiştir. Buna göre -0,5+0,063mm boyutlu bor atığı katkısı su emme değerini referans numuneye göre oldukça düşürmüş diğer katkıları ise yükseltmiştir.
- Kiremit numunelerine TS EN 1304 standartlarına uygun şekilde don testi ve zararlı kireç atıkları testleri de yapılmış ve numunelerin yüzeyleri gözle kontrol edilmiştir.



Şekil 6.2. 870 °C'de pişen nihai atık katkılı ve dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.

* D.B.A.: Dekrepite Bor Atığı (Nihai Atık)

- Şekil 6.2 incelendiğinde nihai atık katkıli numunelerin yüzeylerinde kireç artıkları olmadığı görülmektedir. Ancak aynı zamanda don testine tabi tutulan numunelerden %25 ve %50 nihai atık katkıli numunelerin yüzeylerinde ciddi oranda çatlak ve dağılma gözlemlenmiştir. Diğer numunelerin yüzeylerinde ise herhangi bir fraksiyon, pullanma ve dağılma vb. gibi olumsuzluklara rastlanılmamıştır. Bununla beraber %15'lik dekrepite olmayan bor atığı ilaveli tüm numunelerin yüzeylerinde gözle görülebilir büyüklükte zararlı kireç artıkları gözlenmiştir. Bu atıkların kabul edilebilir düzeyde kaldığı söylenemez. Aynı zamanda don testine tabi tutulan bu numunelerden Hisarcık Baraj besleme katkıli olanlarda da yüzey çatlakları gözlemlenmiştir.
- 870 °C pişme sıcaklığındaki mukavemet değerleri referans numune için 12,50 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 17,50 kgf, %10 nihai atık katkısında 31,00 kgf, %15 nihai atık katkısında 34,50 kgf, %20 nihai atık katkısında %35,33 ve %25 nihai atık katkısında %35,66 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde 18,17 kgf, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde 38,17 kgf, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde 40,16 kgf ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde 20,00 kgf olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre söz konusu pişme sıcaklığında bor atığı katkısı bütün ürünlerde dayanımı ciddi oranda artırmıştır.
- Özgül ağırlık değerleri referans numune için 1,70 olmuşken %5 nihai atık katkısında yine 1,70 %10 nihai atık katkısında 1,68 , %15 ve %20 nihai atık katkısında 1,67 ve %25 nihai atık katkısında 1,65 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber özgül ağırlık değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde 1,68, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde 1,70, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde 1,66 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde 1,59 olarak tespit edilmiştir. Buna göre bor atığı katkıli özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür.
- 870 °C'de bor atığı kullanılarak pişirilen tüm kiremit numunelerinde pişme rengi kırmızı olmuştur. Bunun sebebi ise kiremit numunesinin bileşenlerinden olan nihai bor atığındaki demir oranının bir miktar düşük olmasıdır. Ancak bu problem bir miktar renk düzenleyici ilavesiyle kolaylıkla giderilebilir.

6.3.3. 920 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

920 °C’de pişen nihai atık katkılı kiremit numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.7’de gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.7. 920 °C’de pişen nihai atık katkılı kiremit numunelerine ait analiz sonuçları.

	Numune adı	Kuruma Küçülmesi %	Pişme Küçülmesi %	Plastisite Suyu %	Ateşte Zayıyat	Su Emme %	Zararlı Kireç Bulgusu	Dona Dayanım	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	0.7	7,14	1,54	23,58	8,99	20,29	Yok	✓	15,66	1,67	Kırmızı
	0.8										
	0.9										
% 5 Bor Atığı	13.1	5,24	0,50	22,21	8,55	17,01	Yok	✓	23,33	1,65	Kırmızı
	13.2										
	13.3										
% 10 Bor Atığı	14.1	5,71	0,51	22,85	8,63	14,84	Yok	✓	61,00	1,64	Kırmızı
	14.2										
	14.3										
% 15 Bor Atığı	15.1	5,71	1,26	23,06	8,68	14,98	Yok	✓	75,00	1,64	Kırmızı
	15.2										
	15.3										
% 20 Bor Atığı	16.1	5,71	2,53	23,14	8,87	13,93	Yok	✓	77,50	1,63	Kırmızı
	16.2										
	16.3										
% 25 Bor Atığı	17.1	6,19	3,30	23,40	9,38	13,28	Yok	✓	88,67	1,64	Kırmızı
	17.2										
	17.3										
Hisarcık Baraj Besleme (%15)	A15.1	6,19	0,00	25,38	9,66	18,73	Parçalanmış Numune	Parçalanmış Numune	Parçalanmış Numune	1,53	Kırmızı
	A15.2										
	A15.3										
+0,5 mm Malzeme (%15)	B15.1	7,14	0,51	24,09	9,67	14,01	Var	Derin Çatlak	19,33	1,73	Kırmızı
	B15.2										
	B15.3										
-0,5 +0,063 mm Malzeme	C15.1	6,67	1,02	24,04	8,73	15,36	Var	Yüzeysel Çatlak	80,33	1,67	Kırmızı
	C15.2										
	C15.3										
+0,063 mm Malzeme (%15)	D15.1	5,71	0,76	22,27	9,21	20,55	Var	Yüzeysel Çatlak	86,00	1,57	Kırmızı
	D15.2										
	D15.3										

Çizelge 6.7’deki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numune için %7,14 olmuşken %5 nihai atık katkılı numunelerde %5,24, %10, %15 ve %20 nihai atık katkılı numunelerde %5,71 ve %25 nihai atık katkılı numunelerde %6,19 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15’lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %6,19, %15’lik +0,5

mm malzeme katkılı numunelerde %7,14, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %6,67 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %5,71 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai bor atığı katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları kuruma küçülmesi değerini az miktarda düşürmüştür.

- Pişme küçülmesi değerleri referans numune için %1,54 olmuşken %5 nihai atık katkılı numunelerde %0,50, %10 nihai atık katkılı numunelerde %0,51, %15 nihai atık katkılı numunelerde %1,26, %20 nihai atık katkılı numunelerde %2,53 ve %25 nihai atık katkısında ise %3,30 olarak tespit edilmiştir. Buna göre katkı oranı %15'e kadar referans numuneye göre pişme küçülmesi değerini düşürürken katkı oranı arttıkça pişme küçülmesi değeri artmaya devam etmiştir. Bununla beraber pişme küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %0, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %0,51, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %1,02 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %0,76 olarak tespit edilmiştir. Ancak hazırlanan tüm karışımlar TSE'ye göre istenen maksimum %10'luk pişme küçülmesi değerinin altında kalarak standartlara uygun sonuç vermiştir.
- Plastiklik suyu değerleri referans numune için %23,58 olmuşken %5 nihai atık katkısında %22,21, %10 nihai atık katkısında %22,85, %15 nihai atık katkısında %23,06, %20 nihai atık katkısında %23,14 ve %25 nihai atık katkısında %23,40 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı plastiklik suyu değerlerini bir miktar düşürmüş olsa da katkı oranı arttıkça plastiklik suyu değeri de yükselmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %25,38 %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %24,09, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %24,04 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %22,27 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık ve dekrepite olmayan bor atığı katkılarının plastiklik suyu değerlerine belirgin şekilde etkisi olmamıştır.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %8,99 olmuşken %5 nihai atık katkısında %8,55, %10 nihai atık katkısında %8,63, %15 nihai atık katkısında %8,68, %20 nihai atık katkısında %8,87 ve %25 nihai atık katkısında %9,38 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ateşte zayıt değerlerini bir miktar düşürmüş olsa da katkı oranı %20'den fazla olunca ateşte zayıt değeri de referans numuneye göre yüksek çıkmıştır. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %9,66, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %9,67, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %8,73 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %9,21 olarak tespit

edilmiştir. Dekrepite olmayan bor atığı katkıları ise ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmiştir.

- Su emme değerleri referans numune için %20,29 olmuşken %5 nihai atık katkısında %17,01, %10 nihai atık katkısında %14,84, %15 nihai atık katkısında %14,98, %20 nihai atık katkısında %13,93 ve %25 nihai atık katkısında %13,28 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre oldukça düşürmüştür. Bununla beraber su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkıli numunelerde %18,73, %15'lik +0,5 mm malzeme katkıli numunelerde %14,01, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %15,36 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkıli numunelerde %20,55 olarak tespit edilmiştir. Buna göre bor atığı katkıları su emme değerlerini referans numuneye göre belirgin şekilde düşürmüştür.
- Nihai atık katkıli olan kiremit numunelerine TS EN 1304 standartlarına uygun şekilde don testi ve zararlı kireç atıkları testleri de yapılmış ve numunelerin yüzeyleri gözle kontrol edilmiştir.



Şekil 6.3. 920 °C'de pişen nihai atık katkıli ve dekrepite olmayan bor atığı katkıli numunelerin don testinden geçtikten sonraki görüntüleri.

- Şekil 6.3 incelendiğinde 920 °C’de pişen %25 ve %50 oranındaki nihai atık katkılı örneklerde ise malzemelerde görülen kireç artıklarının küçük oranlarda ve kabul edilebilir büyüklüklerde kaldığı söylenebilir. Aynı zamanda nihai atık katkılı ürünlerde don testi sonucunda yüzey çatlaklarına rastlanmamıştır. Ancak %15’lik dekrepite olmayan bor atığı ilaveli tüm numunelerin yüzeylerinde gözle görülebilir büyüklükte zararlı kireç atıkları gözlenmiştir. Bu atıkların ise kabul edilebilir düzeyde kaldığı söylenemez. Aynı zamanda don testine tabi tutulan numunelerden +0,5 mm, -0,5+0,063 mm ve -0,063 mm katkılı olanlarda da yüzey çatlakları gözlemlenmiştir.
- 920 °C pişme sıcaklığındaki mukavemet değerleri referans numune için 15,66 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 23,33 kgf, %10 nihai atık katkısında 61,00 kgf, %15 nihai atık katkısında 75,00 kgf, %20 nihai atık katkısında 77,50 kgf ve %25 nihai atık katkısında %88,67 kgf olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber mukavemet değerleri, %15’lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 19,33 kgf, %15’lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 80,33 kgf ve %15’lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 86 kgf olarak tespit edilmiştir. %15’lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde ise numuneler piştikten sonra dağıldıkları için mukavemet testleri yapılamamıştır. Buna göre bor atığı katkıları mukavemet değerlerini referans numuneye göre belirgin şekilde yükseltmiştir.

6.3.4. Kiremit çalışmalarında elde edilen optimal sonuçlar

TSE’ye göre standart bir kiremitte istenen mukavemet değeri 120 kgf’dir (Yukseltuglakiremit, 2018). Standart çatı kiremitlerinin ölçüleri ise cüzi farklılıklar olmasına karşın yaklaşık olarak 41,5x23,5x1,15 cm³ tür. Bu değer Akdemir kiremit fabrikasının da üretim yaptığı ölçü değeridir.

Bu verilere göre;

$$\text{Birim hacme düşen mukavemet değeri} = \frac{\text{Uygulanan Kuvvet(kgf)}}{\text{Birim hacim (cm}^3\text{)}} \text{ eşitliğinden;}$$

$$\text{Birim hacme düşen mukavemet değeri} = \frac{120 \text{ kgf}}{41,5 \times 23,5 \times 1,15} = 0,107 \text{ kgf/cm}^3 \text{ olarak}$$

hesaplanmıştır. Bu değer TSE değerleri baz alınarak hesaplanan değerdir.

Akdemir tuğla-kiremit fabrikasının yetkilileri ise kendi ürettikleri kiremitlerin TSE verilerinin çok üzerinde kalarak 180-220 kgf mukavemet değeri aralığında kırıldığını beyan etmişlerdir. Endüstride bulunan başka firmalardan olan Turgutlu da yerleşik Yüksel Kiremit

firması da daha yüksek mukavemet standartlarında (200-300 kgf) üretim yapmaktadır (Yukseltuglakiremit, 2018).

Bu sebeple bu çalışmaya konu olarak hazırlanan numunelerde istenilen en düşük mukavemet değeri TSE standardının üzerinde olan piyasa koşulları olmalıdır. Piyasa koşulları içinde bor atığını kullanarak hazırlanan kiremit numunelerinde istenilen minimum mukavemet değeri de 200 kgf olarak kabul edilerek;

Elde edilmesi gereken minimum mukavemet değeri = $\frac{200 \text{ kgf}}{41,5 \times 23,5 \times 1,15 \text{ cm}^3} = 0,178 \text{ kgf/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla bor atığı kullanılarak elde edilen 0,107 kgf/cm³ ile 0,178 kgf/cm³ arasındaki mukavemet değerleri TSE standartlarına uygun olmasına rağmen yukarıda belirtildiği üzere firmaların kendi mukavemet değerlerine olumlu anlamda katkı sağlamış olmayacağı için verimli katkı oranı olarak kabul edilmemiştir.

Hazırlanan numunelerin ebatları yaş çamur olarak 6,5x8x1,6 cm³ olduğundan başlangıçta 83,2 cm³ olarak hazırlanmıştır.

Bu değer önce Çizelge 6.8'de gösterilen ortalama kuruma küçülmesi oranlarıyla bir miktar düşmüş ve aynı şekilde verilen hacimlerde numuneler elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. Kuruma küçülmesi değerleri ve kuruma küçülmesinden sonra numunelerin ortalama olarak hacimleri.

Ortalama Kuruma Küçülmesi Değerleri (%)				Kuruma Küçülmesinden Sonra Hacimler (cm ³)		
Sıcaklık	Referans	Nihai Atıklar İçin	Dekrepite Olmayan Bor Atıkları İçin	Referans	Nihai Atıklar İçin	Dekrepite Olmayan Bor Atıkları İçin
820	7,14	5,95	6,43	77,04	78,25	77,85
870	7,14	5,95	6,43	77,04	78,25	77,85
920	7,14	5,95	6,43	77,04	78,25	77,85

Çizelge 6.8'deki gibi belli oranlarda küçülen numuneler pişme esnasında da bir miktar daha küçülmüşlerdir. Pişme oranları ve piştikten sonraki son hacimleri de aşağıdaki Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Pişme küçülmesi değerleri ve pişme küçülmesinden sonra numunelerin ortalama olarak hacimleri.

Ortalama Pişme Küçülmesi Değerleri (%)				Pişme Küçülmesinden Sonra Hacimler (cm ³)		
	Referans	Nihai Atıklar İçin	Dekrepite Olmayan Bor Atıkları İçin	Referans	Nihai Atıklar İçin	Dekrepite Olmayan Bor Atıkları İçin
820 °C	1,54	1,21	0,32	75,85	77,3	77,6
870 °C	1,54	1,47	0,45	75,85	77,1	77,5
920 °C	1,54	1,62	0,57	75,85	76,98	77,41

Daha sonra ise elde edilen mukavemet değerleri Çizelge 6.9’da gösterilen ortalama hacimlere oranlandığında elde edilen sadeleştirilmiş mukavemet değerleri Çizelge 6.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Hazırlanan numunelere göre birim hacme düşen mukavemet değerleri.

Birim Hacime Düşen Mukavemet Değerleri (kgf/cm ³)							
Sıcaklık	REFERANS	% 5 Nihai Atık	% 10 Nihai Atık	% 15 Nihai Atık	% 20 Nihai Atık	% 25 Nihai Atık	% 50 Nihai Atık
820 °C	0,149	0,194	0,444	0,446	0,418	0,459	0,604
870 °C	0,165	0,227	0,402	0,447	0,432	0,463	0,726
920 °C	0,206	0,303	0,792	0,974	1,007	1,152	
Sıcaklık	+0,5 mm (% 15)	-0,5+0,063 mm (% 15)	-0,063 mm (% 15)	Hisarcık Baraj(% 15)			
820 °C	0,535	0,171	0,086	0,322			
870 °C	0,493	0,518	0,258	0,234			
920 °C	0,25	1,038	1,111				

Yukarıdaki değerler alt mukavemet değeri olan 0,178 kgf/cm³ ile karşılaştırıldığında;

- İçeriğine herhangi bir bor atığı ilave edilmeyen referans numunelerden 820 °C ve 870 °C’de pişen numunelerin yeterli mukavemeti sağlamadığı ve sadece 920 °C ‘de pişen numunelerin yeterli mukavemeti sağladığı tespit edilmiştir. Söz konusu firma da kiremit üretimini değişen koşullara göre 900-930 °C sıcaklıklar arasında yaptığından dolayı elde edilen sonuç fabrika verileriyle de uyumludur.
- %5’ten %50’ye kadar tüm nihai atık katkılarının mukavemeti arttırdığı tespit edilmiştir.

- Dekrepite edilmeyen bor atığı katkıları ile hazırlanan numuneler incelendiğinde ise sadece 820 °C deki %15'lik -0,5+0,063 mm ve %15'lik -0,063 mm bor atığı katkılarının istenen mukavemeti sağlamadığı bunun dışındaki tüm atıkların mukavemet yönünden yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

6.4. Tuğla Numunelerine Uygulanan Testler Ve Sonuçları

6.4.1. 530 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

530 °C'de pişen nihai atık katkılı tuğla numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.11'de gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.11. 530 °C'de pişen tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları.

	Numune adı	Kuruma Küçülmesi	Pişme Küçülmesi	Plastisite Suyu %	Ateşte Zayıt	Su Emme %	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	T0.1	5,71	0,00	31,98	5,82	22,94	11,33	1,57	Çok Açık Kırmızı
	T0.2								
	T0.3								
% 5 Bor Atığı	T1.1	5,71	0,00	32,32	6,02	23,91	15,33	1,55	Çok Açık Kırmızı
	T1.2								
	T1.3								
% 10 Bor Atığı	T2.1	5,71	0,00	33,13	6,11	24,27	19,83	1,46	Çok Açık Kırmızı
	T2.2								
	T2.3								
% 15 Bor Atığı	T3.1	6,67	0,00	33,56	6,44	24,44	12,66	1,46	Çok Açık Kırmızı
	T3.2								
	T3.3								
% 20 Bor Atığı	T4.1	6,67	0,00	33,68	6,56	24,63	11,50	1,39	Çok Açık Kırmızı
	T4.2								
	T4.3								
% 25 Bor Atığı	T5.1	7,14	0,00	33,83	6,71	25,88	8,50	1,32	Çok Açık Kırmızı
	T5.2								
	T5.3								
% 30 Bor Atığı	T6.1	7,14	0,00	38,06	7,12	26,62	5,83	1,29	Çok Açık Kırmızı
	T6.2								
	T6.3								
Hisarcık Baraj Besleme	TA3.1	5,71	0,00	31,55	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çok Açık Kırmızı
	TA3.2								
	TA3.3								
+0,5 mm Malzeme (% 15)	TB3.1	7,14	0,00	29,33	6,79	27,14	7,33	1,51	Çok Açık Kırmızı
	TB3.2								
	TB3.3								
-0,5 +0,063 mm	TC3.1	7,14	0,00	30,69	6,91	29,55	2,50	1,55	Çok Açık Kırmızı
	TC3.2								
	TC3.3								
+0,063 mm Malzeme	TD3.1	7,14	0,00	31,21	6,97	27,14	3,33	1,47	Çok Açık Kırmızı
	TD3.2								
	TD3.3								

Çizelge 6.11'deki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numunelerde ve %5 ve %10 nihai atık katkılı numunelerde %5,71 olmuşken %15 ve %20 nihai atık katkılı numunelerde %6,67, %25 ve %30 nihai atık katkılı numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %5,71, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir.
- Pişme küçülmesi değerleri hem referans numunelerde hem de bor atığı katkılı tüm numunelerde %0 olarak ölçülmüştür.
- Plastiklik suyu değerleri referans numuneler için %31,98 olmuşken %5 nihai atık katkısında %32,32 %10 nihai atık katkısında %33,13, %15 nihai atık katkısında %33,56, %20 nihai atık katkısında %33,68, %25 nihai atık katkısında %33,83 ve %30 nihai atık katkısında %38,06 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %31,55, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %29,33, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %30,69 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %31,21 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları plastiklik suyu değerlerini bir miktar yükseltmiştir.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %5,82 olmuşken %5 nihai atık katkısında %6,02, %10 nihai atık katkısında %6,11, %15 nihai atık katkısında %6,44, %20 nihai atık katkısında %6,56, %25 nihai atık katkısında %6,71 ve %30 nihai atık katkısında %7,12 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %8,27, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %6,79, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %6,91 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %6,97 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmiş olsa da dekrepite olmayan bor atığı katkıları ateşte zayıt değerlerini bir miktar düşürmüştür.
- Su emme değerleri referans numune için %22,94 olmuşken %5 nihai atık katkısında %23,91, %10 nihai atık katkısında %24,27, %15 nihai atık katkısında %24,44, %20 nihai atık katkısında %24,63, %25 nihai atık katkısında %25,88 ve %30 nihai atık katkısında %26,62 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde, numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %27,14, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %29,55 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %27,14 olarak tespit edilmiştir.

Buna göre nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre bir miktar yükseltmiştir.

- Türk Standartları Enstitüsünün yayınladığı TS EN 771-1 standardının dayanıklılık ile ilgili 5.2.6 sayılı bölümünde aynen “Mamulün tasarlanan kullanım yerinde, su işlemesine karşı tam korunmuş olması (uygun kalın sıva tabakası, kaplama yapılması veya sandviç duvarın iç kanadında veya bina içi duvarlarda kullanılması gibi) halinde donma/çözölmeye karşı dirençli olma şartı aranmaz” denilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2005). Bu sebeple hazırlanan tuğla numunelerine don ve kireç testi uygulanmamıştır.
- Mukavemet testi tuğla üretiminde başvuru ve kullanılacak hammaddeleri belirlemedeki en önemli testtir. Bu çalışmada da bu testin yapılmasındaki amaç Hisarcık Barajı bor atıklarının tuğla bünyesine eklenmesiyle numunelerin mukavemet değerlerine nasıl etki edeceğinin ortaya konmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda; 530 °C pişme sıcaklığındaki mukavemet değerleri referans numune için 11,33 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 15,33 kgf, %10 nihai atık katkısında 19,83 kgf, %15 nihai atık katkısında 12,66 kgf, %20 nihai atık katkısında %11,50 kgf ve %25 nihai atık katkısında 8,50 kgf ve %30 nihai atık katkısında 5,83 kgf olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber mukavemet değeri %15’lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15’lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 7,33 kgf, %15’lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 2,50 kgf ve %15’lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 3,33 kgf olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkılı numunelerde en yüksek mukavemet değeri %10 nihai atık katkısında elde edilmişse de %20 nihai atık katkısına kadar numunelerin mukavemet değerleri referans numuneye yakın çıkmıştır. Ancak dekrepite olmayan bor atığı katkıları mukavemet değerlerini referans numuneye göre oldukça düşürmüştür.
- Özgöl ağırlık değerleri referans numune için 1,57 olmuşken %5 nihai atık katkısında yine 1,55, %10 ve %15 nihai atık katkısında 1,46, %20 nihai atık katkısında 1,39, %25 nihai atık katkısında 1,32 ve %30 nihai atık katkısında 1,29 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür. Bununla beraber özgül ağırlık %15’lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15’lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 1,51, %15’lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,55 ve %15’lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,47 olarak tespit edilmiştir. Buna göre dekrepite olmayan bor atığı katkıları da özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür.
- 530 °C’de pişirilen tüm tuğla numunelerinde pişme rengi açık kırmızı olmuştur. Bunun sebebi ise hem pişme sıcaklığının düşük olması hem de tuğla numunesinin bileşenlerinden olan bor

atıklarındaki demir oranlarının düşük olmasıdır. Ancak bu problem bir miktar renk düzenleyici ilavesiyle kolaylıkla giderilebilir.

6.4.2. 580 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

580 °C’de pişen tuğla numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.12’de gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.12. 580 °C’de pişen tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları.

	Numune adı	Kuruma küçülmesi	Pişme Küçülmesi	Plastisite Suyu %	Ateşte zayıf	Su emme %	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	T0.4	5,71	0,51	31,33	7,01	21,91	12,43	1,51	Çok Açık Kırmızı
	T0.5								
	T0.6								
% 5 Bor Atığı	T7.1	5,71	0,00	31,36	6,19	23,88	16,66	1,54	Çok Açık Kırmızı
	T7.2								
	T7.3								
% 10 Bor Atığı	T8.1	5,71	0,00	33,71	6,21	24,13	16,16	1,43	Çok Açık Kırmızı
	T8.2								
	T8.3								
% 15 Bor Atığı	T9.1	6,67	0,00	33,79	7,23	24,77	13,83	1,43	Çok Açık Kırmızı
	T9.2								
	T9.3								
% 20 Bor Atığı	T10.1	6,67	0,00	34,29	7,19	25,13	12,50	1,31	Çok Açık Kırmızı
	T10.2								
	T10.3								
% 25 Bor Atığı	T11.1	7,14	0,00	34,44	7,69	25,28	10,83	1,30	Çok Açık Kırmızı
	T11.2								
	T11.3								
% 30 Bor Atığı	T12.1	7,14	0,00	38,40	7,89	25,64	4,50	1,28	Çok Açık Kırmızı
	T12.2								
	T12.3								
Hisarcık Baraj Besleme	TA9.1	5,71	0,00	32,00	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çatlamış- Kopmuş Numune	Çok Açık Kırmızı
	TA9.2								
	TA9.3								
+0,5 mm Malzeme (% 15)	TB9.1	7,14	0,00	29,03	7,81	27,67	5,16	1,59	Çok Açık Kırmızı
	TB9.2								
	TB9.3								
-0,5 +0,063 mm	TC9.1	7,14	0,00	30,73	8,03	32,69	3,16	1,55	Çok Açık Kırmızı
	TC9.2								
	TC9.3								
+0,063 mm Malzeme	TD9.1	7,14	0,00	30,81	7,47	33,21	3,16	1,49	Çok Açık Kırmızı
	TD9.2								
	TD9.3								

Çizelge 6.12'deki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numunelerde ve %5 ve %10 nihai atık katkılı numunelerde %5,71 olmuşken %15 ve %20 nihai atık katkılı numunelerde %6,67, %25 ve %30 nihai atık katkılı numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %5,71, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir.
- Pişme küçülmesi değerleri hem referans numunelerde hem de bor atığı katkılı tüm numunelerde %0 olarak tespit edilmiştir.
- Plastiklik suyu değerleri referans numuneler için %31,33 olmuşken %5 nihai atık katkısında %31,36 %10 nihai atık katkısında %33,71, %15 nihai atık katkısında %33,79, %20 nihai atık katkısında %34,29, %25 nihai atık katkısında %34,44 ve %30 nihai atık katkısında %38,40 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %32,00, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %29,03, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %30,73 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %30,81 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkıları plastiklik suyu değerlerini bir miktar yükseltmiştir.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %7,01 olmuşken %5 nihai atık katkısında %6,19, %10 nihai atık katkısında %6,21, %15 nihai atık katkısında %7,23, %20 nihai atık katkısında %7,19, %25 nihai atık katkısında %7,69 ve %30 nihai atık katkısında %7,89 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde, numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %7,81, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %8,03 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %7,47 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmiştir.
- Su emme değerleri referans numune için %21,91 olmuşken %5 nihai atık katkısında %23,88, %10 nihai atık katkısında %24,13, %15 nihai atık katkısında %24,77, %20 nihai atık katkısında %25,13 %25 nihai atık katkısında %25,28 ve %30 nihai atık katkısında %25,64 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde, numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm

malzeme katkılı numunelerde %27,67, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %32,69 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %33,21 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre bir miktar yükseltmiştir.

- Mukavemet değerleri 580 °C pişme sıcaklığındaki referans numune için 12,43 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 16,66 kgf, %10 nihai atık katkısında 16,16 kgf, %15 nihai atık katkısında 13,83 kgf, %20 nihai atık katkısında %12,50 kgf, %25 nihai atık katkısında 10,83 kgf ve %30 nihai atık katkısında 4,50 kgf olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber mukavemet değeri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 5,16 kgf, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 3,16 kgf ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde gene 3,16 kgf olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkılı numunelerde en yüksek mukavemet değeri %5 nihai atık katkısında elde edilmişse de %20 nihai atık katkısına kadar numunelerin mukavemet değerleri referans numunelere yakın çıkmıştır. Ancak dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerde mukavemet değerleri referans numuneye göre oldukça düşük çıkmıştır.
- Özgül ağırlık değerleri referans numune için 1,51 olmuşken %5 nihai atık katkısında 1,54, %10 ve %15 nihai atık katkısında 1,43, %20 nihai atık katkısında 1,31, %25 nihai atık katkısında 1,30 ve %30 nihai atık katkısında 1,28 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür. Bununla beraber özgül ağırlık %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 1,59, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,55 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,49 olarak tespit edilmiştir. Buna göre %5'ten daha fazla orandaki nihai atık katkıları özgül ağırlık değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür
- 580 °C'de pişirilen tüm tuğla numunelerinde pişme rengi açık kırmızı olmuştur. Bunun sebebi ise hem pişme sıcaklığının düşük olması hem de tuğla numunesinin bileşenlerinden olan bor atıklarındaki demir oranlarının düşük olmasıdır. Ancak bu problem bir miktar renk düzenleyici ilavesiyle kolaylıkla giderilebilir.

6.4.3. 630 °C pişme sıcaklığındaki sonuçlar

630 °C'de pişen nihai atık katkılu tuğla numunelerine uygulanan testler ve sonuçları Çizelge 6.13'te gösterildiği şekildedir.

Çizelge 6.13. 630 °C'de pişen nihai atık katkılu tuğla numunelerine ait test ve analiz sonuçları.

	Numune adı	Kuruma küçülmesi	Pişme Küçülmesi	Plastisite Suyu %	Ateşte zayıf	Su emme %	Mukavemet(kgf)	Özgül Ağırlık	Pişme Rengi
Referans % 0 Bor Atığı	T0.7	5,71	1,01	31,72	7,62	22,49	13,50	1,41	Açık Kırmızı
	T0.8								
	T0.9								
% 5 Bor Atığı	T13.1	5,71	0,00	31,68	6,30	24,02	18,33	1,41	Açık Kırmızı
	T13.2								
	T13.3								
% 10 Bor Atığı	T14.1	5,71	0,00	33,11	6,98	24,47	18,00	1,41	Açık Kırmızı
	T14.2								
	T14.3								
% 15 Bor Atığı	T15.1	6,67	0,00	33,22	7,47	25,10	15,33	1,38	Açık Kırmızı
	T15.2								
	T15.3								
% 20 Bor Atığı	T16.1	6,67	0,00	33,84	7,67	25,17	11,50	1,35	Açık Kırmızı
	T16.2								
	T16.3								
% 25 Bor Atığı	T17.1	7,14	0,00	31,89	7,78	26,06	6,00	1,33	Açık Kırmızı
	T17.2								
	T17.3								
% 30 Bor Atığı	T18.1	7,14	0,00	38,06	8,27	26,80	6,00	1,28	Açık Kırmızı
	T18.2								
	T18.3								
Hisarcık Baraj Besleme	TA15.1	5,71	0,00	32,21	Çatlamış-Kopmuş Numune	Çatlamış-Kopmuş Numune	Çatlamış-Kopmuş Numune	Çatlamış-Kopmuş Numune	Açık Kırmızı
	TA15.2								
	TA15.3								
+0,5 mm Malzeme (% 15)	TB15.1	7,14	0,00	29,07	8,62	27,76	4,16	1,62	Açık Kırmızı
	TB15.2								
	TB15.3								
-0,5 +0,063 mm	TC15.1	7,14	0,00	30,92	8,32	33,09	2,50	1,41	Açık Kırmızı
	TC15.2								
	TC15.3								
+0,063 mm Malzeme	TD15.1	7,14	0,00	30,33	8,61	33,83	1,33	1,50	Açık Kırmızı
	TD15.2								
	TD15.3								

Çizelge 6.13'teki sonuçlara göre;

- Kuruma küçülmesi değerleri referans numunelerde ve %5 ve %10 nihai atık katkılu numunelerde %5,71 olmuşken %15 ve %20 nihai atık katkılu numunelerde %6,67, %25 ve %30 nihai atık katkılu numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber kuruma küçülmesi değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılu numunelerde %5,71, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılu numunelerde, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılu

numunelerde ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %7,14 olarak tespit edilmiştir.

- Pişme küçülmesi değerleri referans numunelerde %1,01 olmuşken bor atığı katkılı tüm numunelerde %0 olarak tespit edilmiştir.
- Plastiklik suyu değerleri referans numuneler için %31,72 olmuşken %5 nihai atık katkısında %31,68, %10 nihai atık katkısında %33,11, %15 nihai atık katkısında %33,22, %20 nihai atık katkısında %33,84, %25 nihai atık katkısında %31,89 ve %30 nihai atık katkısında %38,06 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber plastiklik suyu değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde %32,21, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %29,07, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %30,92 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %30,33 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkıları plastiklik suyu değerlerini bir miktar yükseltmiştir.
- Ateşte zayıt değerleri referans numune için %7,62 olmuşken %5 nihai atık katkısında %6,30, %10 nihai atık katkısında %6,98, %15 nihai atık katkısında %7,47, %20 nihai atık katkısında %7,67, %25 nihai atık katkısında %7,78 ve %30 nihai atık katkısında %8,27 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber ateşte zayıt değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde, numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %8,62, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %8,32 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %8,61 olarak tespit edilmiştir. Buna göre %20'den daha fazla olan nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkıları ateşte zayıt değerlerini bir miktar yükseltmişken diğer katkılar ateşte zayıt değerlerini bir miktar düşürmüştür.
- Su emme değerleri referans numune için %22,49 olmuşken %5 nihai atık katkısında %24,02, %10 nihai atık katkısında %24,47, %15 nihai atık katkısında %25,10, %20 nihai atık katkısında %25,17, %25 nihai atık katkısında %26,06 ve %30 nihai atık katkısında %26,80 olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber su emme değerleri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde, numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde %27,76, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %33,09 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde %33,83 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı ve dekrepite olmayan bor atığı katkısı su emme değerlerini referans numuneye göre bir miktar yükseltmiştir.

- Mukavemet değerleri 630 °C pişme sıcaklığındaki referans numune için 13,50 kgf olmuşken %5 nihai atık katkısında 18,33 kgf, %10 nihai atık katkısında 18,00 kgf, %15 nihai atık katkısında 15,33 kgf, %20 nihai atık katkısında %11,50 kgf, %25 nihai atık katkısında 6,00 kgf ve %30 nihai atık katkısında yine 6,00 kgf olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber mukavemet değeri %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 1,62 kgf, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,41 kgf ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,50 kgf olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkılı numunelerde en yüksek mukavemet değeri %5 nihai atık katkısında elde edilmişse de %15 nihai atık katkısına kadar numunelerin mukavemet değerleri referans numunelerden yüksek çıkmıştır. Ancak dekrepite olmayan bor atığı katkılı numunelerde mukavemet değerleri referans numuneye göre oldukça düşük çıkmıştır.
- Özgül ağırlık değerleri referans numuneler ve %5 ve %10 nihai atık katkıları için 1,41, %15 nihai atık katkısında 1,38, %20 nihai atık katkısında 1,35, %25 nihai atık katkısında 1,33 ve %30 nihai atık katkısında 1,28 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkısı özgül ağırlık değerlerini bir miktar düşürmüştür. Bununla beraber özgül ağırlık %15'lik Hisarcık Baraj Besleme Atığı katkılı numunelerde numuneler dağıldığı için tespit edilememiş olup, %15'lik +0,5 mm malzeme katkılı numunelerde 1,62, %15'lik -0,5+0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,41 ve %15'lik -0,063 mm malzeme katkılı numunelerde 1,50 olarak tespit edilmiştir. Buna göre nihai atık katkıları arttıkça özgül ağırlık değerleri önemli ölçüde düşmüştür.
- 630 °C'de pişirilen tüm tuğla numunelerinde pişme rengi açık kırmızı olmuştur. Bunun sebebi ise hem pişme sıcaklığının düşük olması hem de tuğla numunesinin bileşenlerinden olan bor atıklarındaki demir oranlarının düşük olmasıdır. Ancak bu problem bir miktar renk düzenleyici ilavesiyle kolaylıkla giderilebilir.

6.4.4. Tuğla çalışmalarında elde edilen optimal sonuçlar

Türk Standartları Enstitüsünün yayınladığı TS EN 771-1 Standardının Basınç Dayanımı ile ilgili 5.2.4 sayılı bölümünde yük taşıyıcı olarak kullanılmayacak olup yardımcı kâgir birim olarak kullanılacak olan tuğlalarda basınç dayanımı şartı aranmayacağı belirtilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2005).

Dolayısıyla tuğlalarla ilgili hazırlanan bu çalışmada üretimi yapılan ve bor atığı katkısıyla hazırlanan tuğlaların binalarda karşılaması gereken herhangi bir mukavemet değeri yoktur. Ancak

yapı malzemelerinin en önemli mekanik özelliklerinden birinin mukavemet değeri olduğu ve bunun tuğla içinde geçerli olduğu kabul edilmektedir (Tukder, 2009). Bu sebeple bor atığı katkılı tuğla ürünlerinin de en azından bor katkısız olan numunelerden mukavemet yönüyle daha az olmaması ve mümkünse daha yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca, bor katkısının pişme sıcaklığını düşürmesi de enerji yönüyle tasarruf sağlayacağı için aranan bir diğer parametre olmalıdır. Numunelerin temin edildiği tuğla fabrikasındaki üretimin yaklaşık 600-630 °C sıcaklıklar arasında yapıldığından aranması gereken minimum mukavemet değeri 13,50 kgf olmalıdır.

Bor Atığı katkılarıyla hazırlanan numunelerde ise bu mukavemet değerinden daha yüksek dayanımlara şu parametrelerde ulaşılmıştır.

- 530 °C sıcaklıkta %5 Nihai atık katkısında 15,33 kgf değeriyle,
- 530 °C sıcaklıkta %10 Nihai atık katkısında 19,83 kgf değeriyle,
- 580 °C sıcaklıkta %5 Nihai atık katkısında 16,66 kgf değeriyle,
- 580 °C sıcaklıkta %10 Nihai atık katkısında 16,16 kgf değeriyle,
- 580 °C sıcaklıkta %15 Nihai atık katkısında 13,83 kgf değeriyle,
- 630 °C sıcaklıkta %5 Nihai atık katkısında 18,33 kgf değeriyle,
- 630 °C sıcaklıkta %10 Nihai atık katkısında 18,00 kgf değeriyle ve
- 630 °C sıcaklıkta %15 Nihai atık katkısında 15,33 kgf değeriyle.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hisarcık barajı bor atıklarını kullanarak hazırlanan kiremitler ile yapılan tüm analizler birlikte değerlendirildiğinde;

- Dekrepite edilmeyen bor atık katkılarında dona dayanım testleri sonucu yüksek kireç lekelenmeleri gözlemlendiği için kiremit yapımında hiçbir şekilde kullanılmasının uygun olmayacağı saptanmıştır.
- 820 °C sıcaklıkta nihai atık katkılı kiremit örneklerinde hem yüksek mukavemet hem dona dayanım hem de çatlak vb. olmadan zararlı kireç atıklarıyla karşılaşmama şartları yeterli olduğundan enerji tasarrufu için 870 °C ve 920 °C pişme sıcaklıklarına çıkılmasına gerek yoktur. 820 °C pişme sıcaklık değerinde numuneler yeterli kızıl rengi tam alamamış olsa da bunun renk takviyesiyle kolaylıkla giderilebileceği sonucuna varılmıştır.
- 820 °C sıcaklıkta kiremit bünyenin içine eklenebilir nihai atık katkısı oranı %20 civarı olmalıdır. Çünkü bu değerden daha fazla katkıda hem yüzeyde kireç lekelenme bulguları artmakta hem de yüzey çatlaklarına rastlanılmaya başlanılmaktadır.
- Eskişehir Kiline %20 oranında nihai atık katkısı ilavesiyle seramik bünye 920 °C pişme sıcaklığı yerine 820 °C' de pişmiş olacağı için üretim maliyeti düşecektir. Aynı zamanda bor atığı ilave edilmeden 920 °C sıcaklıkta elde edilebilen 0,206 kgf/cm³ birim basınç dayanımı değerinin yerine yaklaşık 2 (iki) kat daha fazla basınca dayanıklı 0,418 kgf/cm³ birim basınç dayanıklı kiremit örneği elde edilebilmektedir.

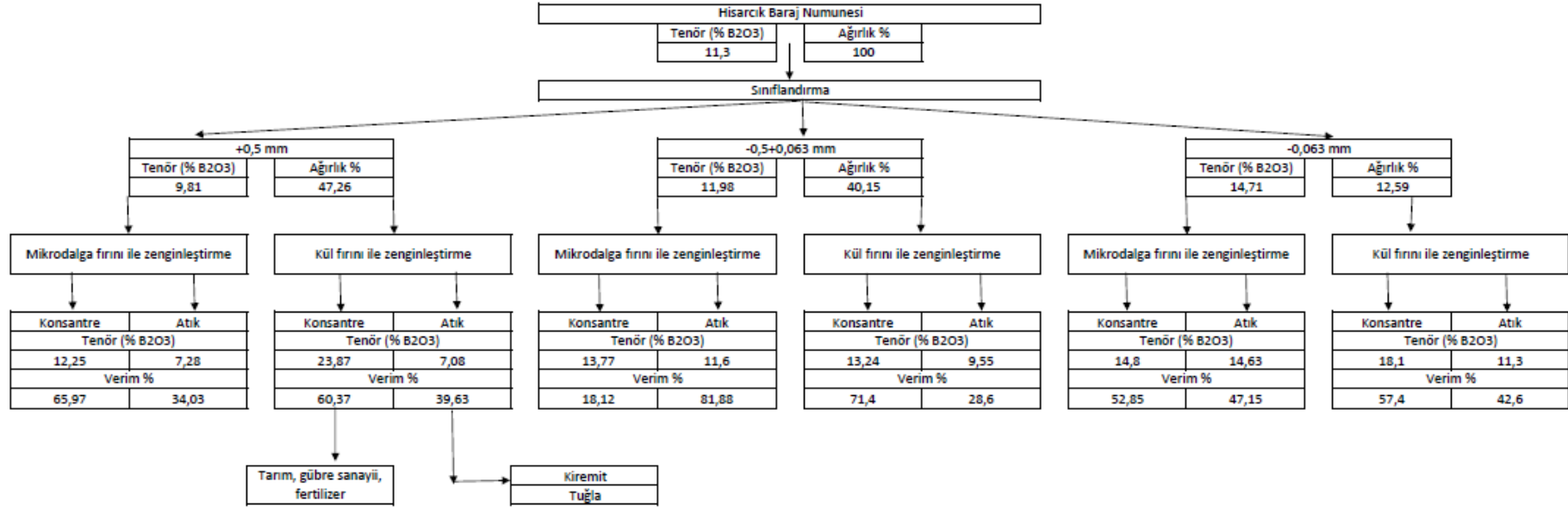
Hisarcık barajı bor atıklarını kullanarak hazırlanan tuğlalar ile yapılan tüm analizler birlikte değerlendirildiğinde;

- %20'lik nihai atık katkısının bir diğer avantajı ise 920 °C pişme sıcaklığındaki referans numunenin birim ağırlık değeri 1,67 iken optimum parametre olarak belirlenen numunenin de özgül ağırlık değerinin aynı/yakın değerlerde çıkmasıdır.
- İşletmeye katkısı olabilecek en iyi karışım oranı 530 °C'deki %10'luk nihai atık katkısıdır. Çünkü 620 °C sıcaklıkta elde edilen mukavemet değerleri bu sıcaklıkta %10'luk nihai atık katkısıyla ulaşılmıştır. Böylece, belli orandaki bor atığı katkısıyla enerjiden ciddi oranda tasarruf edilebileceği gibi bor atığının tuğla sektöründe kullanılmasıyla atık problemi de kısmen ortadan kalkacaktır.

- 530 °C pişme sıcaklık değeriinde numuneler yeterli kıvııl rengi tam alamamış olsa da bunun renklendirici madde ilavesiyle giderilebilecektir.

Hisarcık barajı bor atıklarının kiremit ve tuğla endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Hisarcık barajındaki bor atıklarının kiremit ve tuğla hammaddesi olarak kullanılabilmesi için öncelikle ön zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak dekrepite edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan deneyler kiremit için 820 °C, 870 °C ve 920 °C sıcaklıklarda tuğla için ise 530 °C, 580 °C ve 630 °C sıcaklıklarda sınırlı aralıklarda yapılmıştır. Dolayısıyla pişme sıcaklık değeriileri ilgili daha kapsamlı çalışmaların yapılmasında yarar vardır.

Hisarcık Konsantratör atıklarını kullanarak yapılan deneysel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 8.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. Hisarcık barajı kolemanit atıkları için önerilen akım şeması.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ak, M. (2011). “Emet-Hisarçık gölet atıklarının mikrodalga enerjisi yardımıyla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması”. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Akçıl, A., AYTEKİN, Y., YAMIK, A., (1993): "Beneficiation of Etibank-Bigadic (Balıkesir-Turkey) colemanite ore by calcination-classification method"; Proceeding Of The Second Baku International Symposium Energy, Ecology, Economy., August 17-20, V.5, P 105-111, Baku, Azerbaijan Republic.

Albayrak, F. A., Protopapas, T. E. (1985). “Borate deposits of Turkey”. Borates: Economic Geology and Production, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York, 71.85.

Alp, M. S., Tanrıverdi, M., Kahraman, B., Batar T. (1995, 21-22 Nisan). “Bor minerallerinin ve ürünlerinin pazarlanma koşulları”. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

Arcasoy, A. (1983). Seramik teknolojisi. Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları, No: 2, İstanbul.

Arkun, N. (1980). TÜBİTAK bilgi profili, No: 14, Ankara.

Aydın, A., Demir, U, Ak, M, Bütüner, R., (2012) “Research of the enrichment in Hisarçık concentrator tailings at Emet boron works with microwave energy using” Proceedings of XIth International Mineral Processing Symposium, 10-12 October, Bodrum, Turkey

Batar, T., Bayça, S., Solak, Ö. vd. (2017, 01-03 Şubat). “Bor cevheri ve atıklarının seramik duvar karosu yapısına etkileri”. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Sayfa: 333, 6, İzmir.

Baylis, R. (2010, 21-24 Mart). “The chinese boron market and the role of western suppliers”, 20th Industrial Minerals, International Congress Exhibition, Miami, USA.

Bekişoğlu, K. A. (1962). “Boron deposits in Turkey”. Turkish Econ. Rev., 3 (4), 12.

Boron: Global Industry Markets and Outlook (2010). 12th edit, Roskill Information Services Ltd.

Bütüner, R. (2011). “Kütahya bölgesi düşük tenörlü kolemanit stoklarının araştırılması”. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Bütüner, R., Aydın, A. (2016). Enrichment of low grade Eti mine-espey colemanite stocks using microwave methods. Journal of Environmental Science and Engineering, A5 (2016), 327-332, doi:10.17265/2162-5298/2016.07.001.

Çelik, M. H., KANIT R., ORHAN, M. (2003). Isparta bölgesi pomzasının tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Ankara Politeknik Dergisi-Journal of Polytechnic, 6(3), 597-604.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Çelik, M. S., Elma, İ., Hançer, M. ve Miller, J. D. (1998).” Effect of in-situ ultrasonic treatment on floability of slime coated colemanite, innovations in mineral and coal processing”. Atak, Önal, Çelik (Eds), Balkema, 7th International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Turkey.

Demir, Đ., Orhan, M., 2002. Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi, I. Bor Sempozyumu, Kütahya, 235-239.

Doğan, Ş. (1985). Seramik teknolojisi. İstanbul, 24-25.

DPT. (2001). “Sekizinci beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu”. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri CİLT II, Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum, Çalışma Grubu Raporu Ankara, Türkiye.

DPT. (2001). Endüstriyel hammaddeler alt komisyonu yapı malzemeleri 1. Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, 84-105.

DPT. (2008). “Bor, soda külü, krom kimyasalları çalışma grubu raporu”. Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, 138.

Elbeyli, İ. Y., Kalpaklı, Y. K., Gülen, J., Pişkin, M., Pişkin, S. (2004), “Utilization of borax waste as an additive in building brick production”, Yıldız Technical University, Faculty of Art and Engineering, Department of Chemical Engineering, Topkapı, 34210, İstanbul.

Emet Bor İşletme Müdürlüğü Bilgi Notları.

Emet, “Kırka ve Bigadiç sahalarındaki killerin seramik sektöründe kullanılmasına yönelik kapsamlı incelenmesi ve raporlanması projesi”.

Erkal, F. İ. ve Girgin, İ. (1992). “Etibank Emet kolemanit işletmesi kaba atıklarının konsantre üretimi amacıyla değerlendirilmesi”. 4th International Mineral Processing Symposium, Proceeding Volume 2, G. Özbayoğlu (Eds), Antalya, Türkiye.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2015 Yılı bor sektör raporu, (2016).

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Stratejik plan (2009-2013), (2009).

Falaras, P., Lezou, F., Seiragakis, G. ve Petrakis, D. (2000). Bleaching Properties of Alümina-Pillared Acid-Activated Montmorillonite. Clays and Clay Minerals, 48, 549-556.

Garrett, D. E. (1998). “Borates”, Handbook of Deposits, Processing, Properties and Use, Academic Press.

Gök, S. (1983). “Kil mineralleri ve killerin jeolojisi”. M.T.A., Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, Ankara, 1-48.

Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, (2006). Beneficiation of colemanite tailings by attrition and flotation. Minerals Engineering, 19, 368-369.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, G. (2004). "Beneficiation of Bigadiç (Turkey) boron tailings". Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Çeşme, Türkiye.

Güner, Y. (1987). "Seramik". 10-21.

Güyagüler, T. (2001, 18-19 Ekim). "Türkiye bor potansiyeli". 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 18-27.

Helsen L., Bulck E.V., Bael M. (2004). Thermal behaviour of arsenic oxides (As_2O_5 and As_2O_3) and the Influence of Reducing Agents (Glucose and activated carbon). *Thermochimica Acta*, 414, 145-153.

Helvacı, C. (1984). "Mineral". *Deposita*, 19, 217.

Helvacı, C., Stamatakis, M., Zagouroğlu, C., Kamaris, C. (1993). *Explor. mining geol.*, 2, 171.

http://www.bizearch.com/company/Socomirg_164608.htm URL (4.2016)

<http://eng.kin.kz/>

<http://http://www.etimaden.gov.tr/%2C/page/uretim-dunya-bor-rezervleri>

<http://www.bor.balikesir.edu.tr>

<http://www.boraxtr.com>

<http://www.boren.gov.tr>

<http://www.ferro.com/our+products/tile+coating+systems/> URL (4.2016):

<http://www.kimyamuhendisi.com>

<http://www.mandes.com.ar/boric-acid.php> URL (4.2016):

http://www.orocobre.com.au/Projects_Borax.htm URL (4.2016):

<http://www.quiborax.cl> URL (4.2016):

http://www.riotinto.com/documents/rio_tinto_full_annualreport2009.pdf URL (4.2016):

http://www.riotinto.com/media/media-releases-237_16591.aspx

<http://www.santaritasrl.com/index.htm> URL (4.2016):

<http://www.seramikanka.com.tr/blog/index.php/tag/kuvars/>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.sqm.com>

<http://www.tierra.bo/es/tierra.php> URL (4.2016):

<http://www.ulex.com.ar/> URL (4.2016):

<https://www.yukseltuglakiremit.com/neden-kil-kiremit.aspx>

İpekoğlu, Ü. ve Polat, M. (1987). Bor endüstrisine genel bakış. Madencilik Dergisi, Ankara, 27, 5- 15.

Journal of the European Ceramic Society, C.. 27, no. 2–3,s. 1715–1720.

Juan Francisco Palma Mendoza, “NutrientKit”, Boron Manual, Speciality Plant Nutrition.

Kara, A. (2000). Yüksek sıcaklık ürünleri ders notları, Yayımlanmamış, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kütahya.

Karakoç, K. (2004, 23-25 Eylül). “Osmanlı’dan günümüze maden mevzuatı ve bor madenciliği özelleştirme ve bor politikaları üzerine düşünceler”. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye.

Kavas, K., Emrulloğlu, Ö.F, (1999). Seydişehir kırmızı çamuru ve Kırka bor atıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanımı. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. İzmir: 216-225.

Kavas, T. ve Önce, G., Ekim (2002), Etibor Kırka Boraks İşletmesi konsantratör atıklarının pres tuğla üretiminde ergitici eleman olarak kullanılabilirliği’, 1.Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 219 s.

Kılıç, A. M. (2004, 23-25 Eylül). “Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri”. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye.

Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M. (2001, 18-19 Ekim). “Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve teknolojisi”. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 211-234.

Kiper, B. (1997, Şubat). “Killerin jeolojik özellikleri”, Ankara.

Kistler, R. B., Carpenter S. B. (2006). “Boron and borates”, Industrial Minerals and Rocks, American Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Inc. (SME); Littleton, CO, USA, 275-283.

Kistler, R. B., Helvacı, C. (2006). “Boron and borates”, Industrial Minerals and Rocks (6th Edition, 1994), D. D. Carr (edit), Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Inc. (SME); Littleton, CO, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Koca, S., Savaş, M. (2004). Contact angle measurements at the colemanite and realgar surface. *Applied Surface Science*, 225, 347-355.

Köse, H., Batar, H. ve Kahraman, B. (2003). Dünya bor stratejisi ve borun Türkiye için önemi. İzmir: EGİAD yayınları.

Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M. ve Öztoprak, M. (1989). “Emet konsantratör atık barajındaki arsenik ve kolemanitleri seçimli olarak kazanma imkânları”. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Ankara.

Kurama, S., Kara, A., ve Kurama H. (2007) “Investigation of borax waste behaviour in tile production”

Maden Mühendisleri Odası, Feldspat Raporu, Şubat 2010.

Murray, H. H., (1991). Overview-Clay Mineral Applications. *Applied Clay Science*, 5, 379-395.

OAIB Sektör Raporu. (2014). “Seramik sağlık gereçleri sektöründe kullanılan yedek parça ve makine malzemeleri envanterinin çıkarılması projesi”.

Ogitsu, T., Gygi, F., Reed, J., Motome, Y., Schwegler, E., Galli, G., Am. J. (2009). *Chem. Soc.*, 131, 1903.

Önem, Y. (1997). Sanayi madenleri. Ankara: Kozan Yayınevi.

Özkan, Ş. G., Çebî, H., Delice, S. ve Doğan, M. (1997, 16-17 Ekim). “Bor minerallerinin özellikleri ve madenciliği”. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 224-228.

Roskill Information Services. (2006). “The Economics of Boron”.

Sarız, K., ve Nuhoglu, İ. (1992). Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği, Anadolu Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 62, 452, Eskişehir.

Sipahi H., Kuzum C. (2011, 1 Eylül). “Şile neojen havzası-doğal bir endüstriyel hammadde deposu”, Madencilik, Türkiye.

Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M. (1996). “Benefication of Emet tailings by water absorption+ mechanical attrition+ magnetic separation, changing scopes in mineral processing”. Kemal, Arslan, Akar ve Canbazoglu (Eds), Balkema, 6 th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Türkiye.

Strbac N., Mihajlovic I., Minic D. (2009). Kinetic and mechanism of arsenic sulfides oxidation. *Journal of Mining of Metallurgy*, 45, 59-67.

Şahin, Ş. E. (2008), “Ham ve kalsine kolemanit atıklarının tuğla yapımında kullanım olanaklarının araştırılması” Yüksek Lisans Tezi Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taşpınar, B. (1997). Monopoz üretiminde perlit kullanımı. Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- TMMOB. (2003). “Bor raporu”. Metalürji Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye, 50.
- TS 4790. (1986). “Tuğla ve kiremit topraklarının deney metodu”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 705. (1986). “Fabrika tuğlaları-duvarlar için dolu ve düşey delikli”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tukder. (2009, Temmuz). Tuğla ve Kiremit Dünyası, Sayı:32, Sayfa:3.
- Türk Standardı TS EN 771-1. (2005). “Kâgir Birimler-Özellikler-Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)”. Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar/Ankara.
- U.S. Geological Survey. (2006). “Boron”. Minerals Yearbook, Metals and Minerals, Vol. 1.
- U.S. Geological Survey. (2008). “Boron”. Minerals Yearbook, Metals and Minerals.
- U.S. Geological Survey. (2010). “Mineral commodity Summaries”.
- Uslu, T., ve Arol, A. İ. (2004), “Use Of boron waste as an additive in red bricks,” Waste Management, C.24, No.2, s. 217–220
- Uz, B. (1994). Mineraller, kristallografi-mineroloji. İstanbul: Kurtiş Matbaası, 436.
- Veeramasuneni, S., Yalamanchili. M. R., Miller, J. D., ve Çelik, M.S. (1996). “Adsorption of Model Collector Colloids at the Surface of Colemanite as Characterized by Optical and Atomic Force Microscopy, Changing Scopes in Mineral Processing”. Kemal, Arslan, Akar ve Canbazoglu (Eds), Balkema, 6 th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Türkiye.
- Worrall, W., E. (1986). Clays and ceramic raw materials. England: Second Edition.
- Yamık, A., Uçar, A., Demir, U., Şahbaz, O. (2004, 23-25 Eylül). “Bor atığının tuğla sanayiinde kullanılabilirliğinin araştırılması”. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 419-423.
- Yamık, A., Uçar, A., Şahbaz, O., Demir, U. (2004, 23-25 Eylül) “Emet espey konsantratörü –25 mm bor atıklarının hidrosiklon ile zenginleştirilmesi”. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Yarar, B. (1971). “Kolemanit mineralinin flotasyon yolu ile değerlendirilmesi”. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: 228, Ankara, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yılmaz A., Şener Ş., Kuşcu M. (2007, 12-14 Eylül). “Salihli (Manisa) dolayındaki killerin tuğla-kiremit toprağı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”. 13. Ulusal Kil Sempozyumu, Isparta.

Yünlü. K. (2016, Kasım). BOREN bor bileşikleri-sentez yöntemleri-özellikleri-uygulamaları. İstanbul: Değişim Yayınları, 20.



EKLER

EK 1. B₂O₃ Analizi Yapılış Yöntemi

1. 105 °C'lik etüvde yeterince kurutulmuş numune tane boyutu 150 µ'un altına incek şekilde öğütülür.
2. Darası alınmış behere 0,45-0,60 gr arası bu numunedan eklenir ve ağırlık not edilir.
3. Behere 50 ml kadar sıcak saf su eklenir ve beher karıştırılır.
4. Beherin içerisine %37'lik derişik H₂SO₄ çözeltisinden 5 ml eklenir.
5. Beherin üzerine cam konulur ve 135 °C lik ocakta 30 dakika süre ile bırakılır.
6. Süre dolunca beher ocaktan alınır cam yıkanır ve çözelti soğutulur.
7. Sıvı faza geçen B₂O₃ le beraber Al, Ti ve Fe katyonları da sıvı faza geçtiğinden bu metalleri çöktürmek için beherin içine 10-15 dala metil red eklenir. Düşük tenörlerde çalışıldığında bu miktar artabilir.
8. Renk sarıya dönünceye kadar azar azar 6 N NaOH eklenerek çöktürme yapılır.
9. Kontrol amacıyla Ph analizi yapılır. Ph değerinin 5,4-6,2 arasında olmasına dikkat edilir.
10. Beherler daha sonra 300 °C lik ocağa konularak 5 dakika müddetle kaynatılır.
11. Kaynamış numune süzgeç kâğıdından geçirilerek erlenlere alınır.
12. Cevherin tamamının süzgeçlere akması için beherlerin iç yüzeyleri lastikli bagetlerle iyice temizlenir.
13. Süzgeç kâğıdı sıcak saf su ile en az 3 kere yıkanarak cevherin tamamının erlenlere akması sağlanır.
14. Bu esnada sarımsı renge sahip olan çözeltiye rengi Kırmızı tona gelinceye kadar birkaç damla 0,5 N HCl eklenir.
15. Kırmızımsı renkteki çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulur.
16. Çözeltiye birkaç damla 0,5 N NaOH eklenerek tekrardan nötralize edilir. Bu esnada çözelti rengi tekrardan sarıya döner.
17. Nötrleştirilen çözeltiye 10-15 damla %0,1 Fenolftalein eklenir bu esnada renk değışimi gözlenmez.
18. Bor bağlarını koparmak için çözeltiye bir tatlı kaşığı manniton eklenir bu esnada çözelti rengi pembeye döner. Mannitonun iyice çözünmesi için erlen çalkalanır.
19. Çözeltiye yavaş yavaş faktörlenmiş 0,5 N NaOH eklenerek titrasyona başlanır. Kırmızımsı çözelti önce altın rengine daha sonra ise soğan kabuğı rengine döner. Bu esnada numuneye birkaç gr daha manniton eklenir ve erlen iyice çalkalanır.

20. Herhangi bir renk değişimi gözlemlenmediyse titrasyon bitmiştir. Ekrandaki sarfiyat değeri not alınır.
21. Aşağıdaki eşitlikten B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

$$\%B_2O_3 = \frac{F \cdot (S - 0,06)}{NEM} * 100$$

F = 0,5 Normal NaOH faktörü (F; sabit sayı, 1,7...)

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatı

T = Numune tartımı

0,06= Saf suyun sarfiyat değeri

EK 2. Mikrodalga Fırını Deneylerinin Sonuçları

Ek 2.1. Hisarcık atık barajı numunesi, +0,5 mm tane boyutu için analiz sonuçları

Güç	Ürünler	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
350	konsantre	30,01	11,6	37,70
	atık	69,99	8,01	62,30
	besleme	100	9,81	100,00
500	konsantre	53,55	12,25	65,97
	atık	46,45	7,28	34,03
	besleme	100	9,81	100,00
700	konsantre	53,4	12,21	65,42
	atık	46,6	7,39	34,58
	besleme	100	9,81	100,00

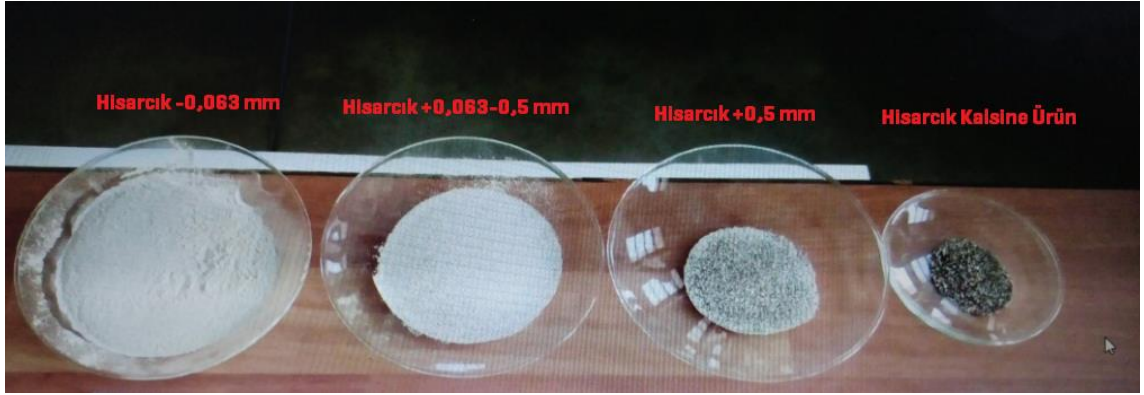
Ek 2.2. Hisarcık atık barajı numunesi, -0,5+0,063 mm tane boyutu için analiz sonuçları

Güç	Ürünler	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
350	konsantre	10,1	12,01	10,29
	atık	89,9	11,77	89,71
	besleme	100	11,98	100,00
500	konsantre	15,71	13,77	18,12
	atık	84,29	11,6	81,88
	besleme	100	11,98	100,00
700	konsantre	17,11	14,68	21,74
	atık	82,89	10,89	78,26
	besleme	100	11,98	100,00

Ek 2.3. Hisarcık atık barajı numunesi, -0,063 mm tane boyutu için analiz sonuçları

Güç	Ürünler	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
350	konsantre	48,25	14,69	48,15
	atık	51,75	14,75	51,85
	besleme	100	14,70	100,00
500	konsantre	52,56	14,8	52,85
	atık	47,44	14,63	47,15
	besleme	100	14,70	100,00
700	konsantre	30,01	14,98	30,70
	atık	69,99	14,49	69,30
	besleme	100	14,70	100,00

Ek 2.4. 40 dakika sonunda 500 watt mikrodalga gücünde elde edilen atık malzemeler



EK 3. Kül Fırını Deneylerinin Sonuçları

Ek 3.1. Hisarcık atık barajı numunesinin +0,5 mm tane boyutu için 40 dakika süre sonunda 500 °C'deki kül fırını deneyleri sonuçları



EK 4. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Analizleri

Ek 4.1. Kiremit ve tuğla üretiminde kullanılan Eskişehir kilinin kimyasal analiz sonuçları

13/04/2016 13:21:12
PANalytical
Quantification of sample K_E.M

kiremit ESKIŞEHİR MILLI_XRF_2016

R.M.S.: 0,034
Result status:
Sum before normalization: 83,7 %
Normalised to: 100,0 %
Sample type: Pressed powder
Initial sample weight (g): 9,000
Weight after pressing (g): 9,900
Correction applied for medium: No
Correction applied for film: No
used Compound list: Oxides
Results database: oemian
Results database in: c:\panalytical\superq\userdat

Compound Name	Conc. (%)	Absolute Error (%)
1 SiO ₂	54,459	0,1
2 Al ₂ O ₃	17,001	0,1
3 Fe ₂ O ₃	9,612	0,1
4 CaO	7,514	0,09
5 MgO	6,952	0,08
6 TiO ₂	2,110	0,04
7 K ₂ O	1,232	0,04
8 Na ₂ O	0,415	0,03
9 P ₂ O ₅	0,223	0,02
10 MnO	0,298	0,01
11 SO ₃	0,184	0,01

Binder
Chemical formula weight
C₁₈H₃₆O₂N₂ (g)
0,9

Ek 4.2. Hisarcık atık barajı ham ürünü kimyasal analiz sonuçları

Analyzed result						
Sample name	HIS.ATK. BRJ BESLEME			Date	6/21/2017 3:29 PM	
File name	BILINMEYENGRUPHIS.ATK. BRJ BESLEME			Counts	1	
Application	BILINMEYENGRUP			Sample model	Bulk	
No.	Component	Result	Unit	Statistical error	Detection limit	Quantitation limit
1	Cl	0.0078	mass%	0.0002	0.0001	0.0004
2	Br	0.0041	mass%	0.0003	0.0008	0.0025
3	MgO	16.0	mass%	0.116	0.0553	0.166
4	Al ₂ O ₃	5.88	mass%	0.0269	0.0334	0.100
5	SiO ₂	39.3	mass%	0.0678	0.0432	0.130
6	P ₂ O ₅	0.135	mass%	0.0018	0.0011	0.0032
7	SO ₄	1.04	mass%	0.0047	0.0020	0.0060
8	K ₂ O	2.96	mass%	0.0165	0.0076	0.0229
9	CaO	13.1	mass%	0.0314	0.0117	0.0351
10	TiO ₂	0.283	mass%	0.0037	0.0036	0.0108
11	V ₂ O ₅	0.0120	mass%	0.0013	0.0035	0.0104
12	Cr ₂ O ₃	0.0048	mass%	0.0005	0.0012	0.0035
13	MnO	0.0561	mass%	0.0018	0.0023	0.0070
14	Fe ₂ O ₃	2.65	mass%	0.0055	0.0019	0.0056
15	Co ₂ O ₃	(0.0069)	mass%	0.0016	0.0048	0.0144
16	NiO	0.0044	mass%	0.0004	0.0007	0.0021
17	CuO	0.0029	mass%	0.0005	0.0006	0.0017
18	ZnO	0.0118	mass%	0.0004	0.0005	0.0016
19	Ga ₂ O ₃	(0.0004)	mass%	0.0002	0.0005	0.0014
20	GeO ₂	0.0052	mass%	0.0002	0.0005	0.0015
21	As ₂ O ₃	1.52	mass%	0.0028	0.0005	0.0016
22	Rb ₂ O	0.0416	mass%	0.0003	0.0002	0.0005
23	SrO	0.672	mass%	0.0012	0.0001	0.0004
24	Y ₂ O ₃	0.0037	mass%	0.0002	0.0004	0.0012
25	Nb ₂ O ₅	(0.0015)	mass%	0.0003	0.0008	0.0024
26	SnO ₂	0.0032	mass%	0.0003	0.0006	0.0018
27	Cs ₂ O	0.112	mass%	0.0016	0.0017	0.0052
28	BaO	0.0252	mass%	0.0012	0.0028	0.0085
29	HfO ₂	(0.0001)	mass%	0.0006	0.0018	0.0053
30	Ta ₂ O ₅	(0.0006)	mass%	0.0006	0.0017	0.0052
31	Ir ₂ O ₃	(0.0018)	mass%	0.0003	0.0009	0.0027
32	Au ₂ O	0.0055	mass%	0.0004	0.0008	0.0024
33	HgO	(0.0022)	mass%	0.0004	0.0010	0.0030
34	Tl ₂ O ₃	(0.0011)	mass%	0.0002	0.0006	0.0018
35	PbO	0.0063	mass%	0.0003	0.0008	0.0023
36	Bi ₂ O ₃	0.0055	mass%	0.0003	0.0007	0.0020
37	U ₃ O ₈	(0.0024)	mass%	0.0004	0.0011	0.0032
38	B ₂ O ₃	11.3	mass%			
39	LOI	4.85	mass%			

Ek 4.3. Hisarcık atık barajı ham ürünü +0,5 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları

2018- 1-25 09:05

SQX Calculation Result							
Sample : HİS.BARAJ + 0.5		Date analyzed : 2018- 1-24 15:12					
Application : EZS001XNV		Model : Bulk		Balance :			
				Matching library:			
				File : EZS011			
No.	Component	Result	Unit	Det.limit	El.line	Intensity	w/o normal
1	F	0.932	wt%	0.11077	F -KA	0.1904	0.6252
2	Na2O	0.0496	wt%	0.01513	Na-KA	0.2572	0.0333
3	MgO	14.1	wt%	0.01962	Mg-KA	179.8402	9.4621
4	Al2O3	7.34	wt%	0.00959	Al-KA	164.2739	4.9207
5	SiO2	41.2	wt%	0.01709	Si-KA	765.8364	27.6274
6	P2O5	0.139	wt%	0.00173	P -KA	5.0363	0.0934
7	SO3	0.473	wt%	0.00233	S -KA	12.7728	0.3171
8	Cl	0.0092	wt%	0.00311	Cl-KA	0.1309	0.0062
9	K2O	4.00	wt%	0.00434	K -KA	264.4327	2.6815
10	CaO	11.7	wt%	0.00516	Ca-KA	570.4627	7.8695
11	TiO2	0.438	wt%	0.01200	Ti-KA	3.6124	0.2938
12	V2O5	0.0135	wt%	0.01156	V -KA	0.2821	0.0090
13	MnO	0.103	wt%	0.00524	Mn-KA	3.9057	0.0691
14	Fe2O3	3.98	wt%	0.00507	Fe-KA	213.7651	2.6696
15	NiO	0.0105	wt%	0.00278	Ni-KA	1.0386	0.0070
16	ZnO	0.0212	wt%	0.00213	Zn-KA	3.7116	0.0142
17	GeO2	0.0135	wt%	0.00254	Ge-KA	2.6603	0.0091
18	As2O3	1.52	wt%	0.00216	As-KA	390.1212	1.0163
19	Rb2O	0.0695	wt%	0.00150	Rb-KA	35.1536	0.0466
20	SrO	0.889	wt%	0.00156	Sr-KA	467.3005	0.5960
21	Y2O3	0.0137	wt%	0.00813	Y -KB1	1.6320	0.0092
22	Cs2O	0.136	wt%	0.01987	Cs-KA	7.9856	0.0913
23	B2O3	9.81	wt%				9.8100
24	Ig	3.02	wt%				3.0200

Ek 4.4. Hisarcık atık barajı ham ürünü-0,5+0,063 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları

2018- 1-25 09:07

SQX Calculation Result							
Sample : HIS.BARAJ -0.5+0.063		Date analyzed : 2018- 1-24 15:25					
Application : EZS001XNV		Model : Bulk		Balance :			
				Matching library:			
				File :		EZS012	
No.	Component	Result	Unit	Det.Limit	El.line	Intensity	w/o normal
1	F	0.728	wt%	0.10834	F -KA	0.1481	0.4840
2	Na2O	0.0501	wt%	0.01538	Na-KA	0.2421	0.0333
3	MgO	11.3	wt%	0.01976	Mg-KA	145.7629	7.5329
4	Al2O3	6.53	wt%	0.00919	Al-KA	147.1899	4.3399
5	SiO2	34.1	wt%	0.01532	Si-KA	645.3246	22.7068
6	P2O5	0.125	wt%	0.00171	P -KA	4.8102	0.0834
7	SO3	0.728	wt%	0.00248	S -KA	20.8436	0.4844
8	Cl	0.0093	wt%	0.00313	Cl-KA	0.1364	0.0062
9	K2O	3.50	wt%	0.00403	K -KA	243.3927	2.3255
10	CaO	15.7	wt%	0.00552	Ca-KA	792.9170	10.4530
11	TiO2	0.456	wt%	0.01075	Ti-KA	3.5963	0.3032
12	Cr2O3	0.0176	wt%	0.00612	Cr-KA	0.3933	0.0117
13	MnO	0.0862	wt%	0.00510	Mn-KA	3.1362	0.0573
14	Fe2O3	4.16	wt%	0.02655	Fe-KB1	41.4878	2.7636
15	NiO	0.0121	wt%	0.00284	Ni-KA	1.1457	0.0081
16	CuO	0.0074	wt%	0.00247	Cu-KA	0.9421	0.0049
17	ZnO	0.0170	wt%	0.00221	Zn-KA	2.8339	0.0113
18	GeO2	0.0098	wt%	0.00270	Ge-KA	1.7862	0.0065
19	As2O3	3.05	wt%	0.01291	As-KB1	153.8397	2.0300
20	Rb2O	0.0671	wt%	0.00170	Rb-KA	29.2950	0.0446
21	SrO	1.08	wt%	0.00178	Sr-KA	490.6725	0.7206
22	Cs2O	0.202	wt%	0.02174	Cs-KA	10.1817	0.1345
23	PbO	0.0110	wt%	0.00488	Pb-LB1	1.4889	0.0073
24	B2O3	12.0	wt%				11.9800
25	Ig	5.99	wt%				5.9900

Ek 4.5. Hisarcık atık barajı ham ürünü -0,063 mm tane boyutlu numunelerin kimyasal analiz sonuçları

2018- 1-25 09:07

SQX Calculation Result							
Sample : HİS.BARAJ - 0.063		Date analyzed : 2018- 1-25 07:56					
Application : EZS001XNV		Model : Bulk		Balance :			
				Matching library:			
				File : EZS013			
No.	Component	Result	Unit	Det.limit	El.line	Intensity	w/o normal
1	F	0.645	wt%	0.10700	F-KA	0.1348	0.4429
2	Na2O	0.0476	wt%	0.01708	Na-KA	0.2076	0.0327
3	MgO	9.75	wt%	0.01861	Mg-KA	129.0672	6.6941
4	Al2O3	6.57	wt%	0.00865	Al-KA	160.6362	4.5086
5	SiO2	30.0	wt%	0.01340	Si-KA	616.9463	20.6133
6	P2O5	0.117	wt%	0.00156	P-KA	4.9129	0.0804
7	SO3	0.465	wt%	0.00215	S-KA	14.5221	0.3191
8	Cl	0.0074	wt%	0.00293	Cl-KA	0.1204	0.0051
9	K2O	3.59	wt%	0.00388	K-KA	271.5974	2.4661
10	CaO	18.1	wt%	0.00586	Ca-KA	972.9370	12.4604
11	TiO2	0.484	wt%	0.00841	Ti-KA	3.8602	0.3325
12	MnO	0.0923	wt%	0.00472	Mn-KA	3.3451	0.0634
13	Fe2O3	4.18	wt%	0.00430	Fe-KA	214.1321	2.8680
14	NiO	0.0113	wt%	0.00293	Ni-KA	1.0744	0.0078
15	ZnO	0.0168	wt%	0.00219	Zn-KA	2.8015	0.0115
16	GeO2	0.0093	wt%	0.00246	Ge-KA	1.7360	0.0064
17	As2O3	1.65	wt%	0.01209	As-KB1	86.0779	1.1318
18	Rb2O	0.0693	wt%	0.00154	Rb-KA	32.7109	0.0476
19	SrO	1.80	wt%	0.00162	Sr-KA	878.1858	1.2386
20	Cs2O	0.148	wt%	0.01947	Cs-KA	7.6554	0.1017
21	BaO	0.119	wt%	0.02623	Ba-KA	4.3762	0.0817
22	PbO	0.0128	wt%	0.00449	Pb-LB1	1.8796	0.0088
23	B2O3	14.7	wt%				14.7100
24	Ig	7.33	wt%				7.3300

Ek 4.6. Hisarcık atık barajı nihai atık numunenin kimyasal analiz sonuçları

Analyzed result						
Sample name	HISARCIK BARAJ - 0.5 MM (Detropite sonucu)		Date	6/14/2017 1:31 PM		
File name	BILINMEYENGRUPHISARCIK BARAJ - 0.5 MM		Counts	1		
Application	BILINMEYENGRUP		Sample model	Bulk		
No.	Component	Result	Unit	Statistical error	Detection limit	Quantitation limit
1	Cl	0.0090	mass%	0.0002	0.0002	0.0005
2	Br	0.0033	mass%	0.0002	0.0006	0.0018
3	I	(0.0026)	mass%	0.0004	0.0011	0.0033
4	MgO	17.6	mass%	0.124	0.0653	0.196
5	Al2O3	6.62	mass%	0.0293	0.0345	0.103
6	SiO2	47.5	mass%	0.0837	0.0422	0.127
7	P2O5	0.150	mass%	0.0020	0.0017	0.0051
8	SO4	0.734	mass%	0.0042	0.0018	0.0054
9	K2O	3.09	mass%	0.0172	0.0090	0.0271
10	CaO	9.48	mass%	0.0281	0.0222	0.0667
11	TiO2	0.288	mass%	0.0036	0.0036	0.0107
12	V2O5	0.0149	mass%	0.0014	0.0035	0.0105
13	Cr2O3	0.0043	mass%	0.0005	0.0012	0.0035
14	MnO	0.0634	mass%	0.0017	0.0020	0.0061
15	Fe2O3	2.61	mass%	0.0064	0.0049	0.0146
16	Co2O3	(0.0084)	mass%	0.0014	0.0042	0.0125
17	NiO	0.0046	mass%	0.0003	0.0006	0.0018
18	CuO	0.0029	mass%	0.0002	0.0005	0.0015
19	ZnO	0.0138	mass%	0.0004	0.0004	0.0012
20	Ga2O3	(0.0006)	mass%	0.0001	0.0004	0.0012
21	GeO2	0.0080	mass%	0.0002	0.0004	0.0011
22	As2O3	0.994	mass%	0.0020	0.0004	0.0013
23	Rb2O	0.0432	mass%	0.0003	0.0001	0.0004
24	SrO	0.575	mass%	0.0010	0.0001	0.0003
25	Y2O3	0.0033	mass%	0.0001	0.0004	0.0011
26	SnO2	0.0033	mass%	0.0003	0.0006	0.0017
27	Cs2O	0.100	mass%	0.0015	0.0016	0.0049
28	BaO	0.0243	mass%	0.0011	0.0026	0.0077
29	Ta2O5	(0.0023)	mass%	0.0005	0.0014	0.0043
30	WO3	(0.0027)	mass%	0.0005	0.0012	0.0037
31	Ir2O3	(0.0016)	mass%	0.0005	0.0008	0.0023
32	HgO	(0.0018)	mass%	0.0003	0.0010	0.0029
33	HfO2	(0.0009)	mass%	0.0002	0.0006	0.0017
34	PbO	0.0058	mass%	0.0003	0.0007	0.0021
35	Bi2O3	0.0048	mass%	0.0003	0.0007	0.0020
36	ThO2	(0.0001)	mass%	0.0002	0.0005	0.0015
37	U3O8	(0.0018)	mass%	0.0003	0.0010	0.0029
38	B2O3	7.00	mass%			
39	LOI	3.02	mass%			

EK 5. Deneylerde Hazırlanan Kiremit Numuneleri

Ek 5.1. Hazırlanan yaş kiremit çamurları



Ek 5.2. 106 °C de etüvde 4 saat bekletilen kiremit çamurunun kuruduktan sonraki hali



Ek 5.3. 820 C’de pişen numunelerin mukavemet testinden geçtikten sonraki durumları



Ek 5.4. 870 C’de pişen numuneler



Ek 5.5. 920 °C’de pişen kiremit numunelerinin don testinden geçtikten sonraki durumları



Ek 5.6. Mukavemet testlerinin yapıldığı pres makinası



EK 6. Deneylerde Hazırlanan Tuğla Numuneleri

Ek 6.1. Hazırlanan yaş tuğla çamurları



Ek 6.2. 106 °C de etüvde 4 saat bekletilen tuğla çamurunun kuruduktan sonraki hali



Ek 6.3. 530 °C'de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkı numunelerin görüntüleri



Ek 6.4. 580 °C'de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkı numunelerin görüntüleri



Ek 6.5. 630 °C'de pişen nihai atık katkı ve dekrepite olmayan bor atığı katkı numunelerin görüntüleri



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Durmaz, Kürşad
Doğum tarihi ve yeri : 06.06.1989 - Gediz/KÜTAHYA
E-mail : kursaddurmaz@etimaden.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Abd	2018
Lisans:	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü	2013
Lise:	Mustafa Necib Alayeli Anadolu Lisesi	2007

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2017	Eti Maden İşletmeleri	Cevher Kırma ve Öğütme Sorumlusu
2017 -2018 (Halen)	Eti Maden İşletmeleri	Espey Açık İşl. ve Kons. Birimi Üretim Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce