

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA ENERJİ VE KONVANSİYONEL
ISIL İŞLEMLERİNİN İNCE TANELİ, DÜŞÜK
TENÖRLÜ BİGADIÇ KOLEMANİT VE ÜLEKSİT
CEVHERLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Şamil HOŞKAN

Eylül, 2019
İZMİR

**MİKRODALGA ENERJİ VE KONVANSİYONEL
ISIL İŞLEMLERİNİN İNCE TANELİ, DÜŞÜK
TENÖRLÜ BİGADIÇ KOLEMANİT VE ÜLEKSİT
CEVHERLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Programı**

Şamil HOŞKAN

**Eylül, 2019
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ŞAMİL HOŞKAN, tarafından PROF.DR. MEHMET TANRIVERDİ yönetiminde hazırlanan “MİKRODALGA ENERJİ VE KONVANSİYONEL İŞİL İŞLEMLERİNİN İNCE TANELİ, DÜŞÜK TENÖRLÜ BİGADIÇ KOLEMANİT VE ÜLEKSİT CEVHERLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mehmet TANRIVERDİ

Yönetici

Prof.Dr. Vedat ARSUN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Talat BÜLER

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sırasında bilgi ve deneyimini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Mehmet TANRIVERDİ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Laboratuvar Birim yönetici ve mühendislerine, ayrıca laboratuvar teknisyen ve analiz sorumlularına ayrı ayrı şükranlarımı sunarım.



Şamil HOŞKAN

MİKRODALGA ENERJİ VE KONVANSİYONEL ISIL İŞLEMLERİNİN İNCE TANELİ, DÜŞÜK TENÖRLÜ BIGADIÇ KOLEMANİT VE ÜLEKSİT CEVHERLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu tez kapsamında, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü bünyesinde faaliyet gösteren konsantratör ünitelerinden elde edilen ince taneli (-3 mm), düşük tenörlü kolemanit ve üleksit cevherlerine çeşitli ısıtım yöntemlerinin uygulanması ile zenginleştirilmesi hedeflenmektedir. An itibarı ile yıkanmış -3 mm kolemanit ve üleksit cevherlerinin İşletmenin açık stok sahalarındaki büyüklüğü 1,5 milyon ton üzerine çıkmıştır. Bu cevherlerin bir kısmı, yüksek tenörlü cevherlere kırma safhalarında paçal olarak karıştırılmakta ancak yüksek bir oranda depolanmakta ve atıl olarak tutulmaktadır.

Deneyler kapsamında kullanılacak malzemenin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunun yapılabilmesi için -3 mm stok sahasında bulunan kolemanit ve üleksit cevherlerinden 50'şer kg numune alınmış ve yapılan kimyasal analizlerinde sırasıyla yüzde 22,87 ve yüzde 27,99 bor oksit tenöre sahip olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin sırasıyla elek analizi, mineralojik analizi ve TGA analizleri yapılarak deneylerde kullanılacak örnekler karakterize edilmiştir. Elde edilen numune İşletmenin merkez laboratuvarında kurutularak çapraz oluklu bölücü ile 125'er gramlık temsili numunelere ayrılmış ve planlanan deneyler için poşetlenmiştir. Bu aşamadan sonra söz konusu numunelere yüksek tenör ve verimle tekrar kazanılıp değerlendirilebilmesi için konvansiyonel ve mikrodalga ısıtım uygulanmıştır. Konvansiyonel ısıtım işlemi için 450 °C - 600 °C sıcaklık aralığı kullanılmış ve mikrodalga ısıtım deneylerinde ise 600 - 800 watt enerji aralığı kullanılmıştır. Daha sonra ısıtım uygulanan numuneler elekten elenerek, elek üstünün artık ve elek altının konsantre olarak alınması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kolemanit, üleksit, Eti Maden, Bigadiç, ısıtım işlemi, mikrodalga

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MICROWAVE ENERGY AND CONVENTIONAL HEAT TREATMENT ON FINE, LOW TENOR BİGADIÇ COLEMANITE AND ULEXITE ORES

ABSTRACT

Within the scope of this thesis, it is aimed to enrich the fine (-3 mm) and low-grade colemanite and ulexite minerals obtained from the concentrator units operating within the Eti Mine General Directorate, Bigadic Boron Management Department with various heat treatment methods. Currently, the amount of the -3mm colemanite and ulexite ore in the open stock areas of the enterprise has increased over 1.5 million tons. Some of these ores is mixed together high-grade ores in the upper-size range in the crushing stages. However, major part has been stored as tailing.

In order to make physical and chemical characterization of the material to be used within the scope of experiments, 50 kg of colemanite and ulexite ores were taken and their grades were determined by chemical analysis as 22.87% and 27.99% B_2O_3 respectively. The sieve analysis, mineralogical analysis and TGA analysis of the samples were performed to determine characterization of the samples. The samples were dried in the central laboratory of the enterprise and were obtained by using riffle splitter and packaged for the planned experiments. After this stage, microwave and conventional heat treatment methods have been applied on the samples in order to regain and evaluate them with high grade and recovery. For conventional heat treatment, the temperature range of 450 °C to 600 °C was used and in the microwave heat treatment tests the 600-800 watt energy range was applied.

Keywords: Colemanite, ulexite, Eti Maden, Bigadiç, heat treatment, microwave

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xvi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Bor'un tanımı ve özellikleri	2
2.2 Önemli bor mineralleri	4
BÖLÜM ÜÇ - DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BOR YATAKLARININ OLUŞUM KOŞULLARI VE REZERVLERİ	5
BÖLÜM DÖRT - DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BOR ÜRETİMİ, SATIŞI VE TÜKETİMİ	7
BÖLÜM BEŞ - HAM BOR VE RAFİNE BOR ÜRÜNLERİ	9
5.1 Türkiye'de üretilen ham-bor ve rafine ürünler	9
5.1.1 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü	10
5.1.2 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü	10
5.1.3 Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü	10
5.1.4 Emet Bor İşletme Müdürlüğü.....	11
BÖLÜM ALTI - BOR KULLANIM ALANLARI.....	12
6.1 Cam ve cam elyafı sanayii	13

6.2 Enerji	13
6.3 Metalurji	14
6.4 Deterjan ve temizlik sanayii	14
6.5 Çimento sanayii	14
6.6 Tarım sanayii	14
6.7 Seramik sanayii	15
6.8 Kaya gazı	15
6.9 Diğer kullanım alanları	16

BÖLÜM YEDİ - BOR CEVHERLERİ ZENGİNLEŞTİRME TEKNOLOJİSİ

7.1 Optik ayırma ile zenginleştirme	18
7.2 Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme	19
7.3 Manyetik ayırma ile zenginleştirme	19
7.4 Dekrepitasyon ile zenginleştirme	20
7.5 Mekanik dağıtma ile sınıflandırarak zenginleştirme	21
7.6 Flotasyon ile zenginleştirme	22
7.7 Triyaj ile zenginleştirme	22
7.8 Mikrodalga ile zenginleştirme	23
7.9 Rafine borat üretimi	25

BÖLÜM SEKİZ - BİGADIÇ BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERİ ...

8.1 Bigadiç Bor İşletmesi açık ocakları	27
8.1.1 Simav açık ocağı	27
8.1.2 Tülü açık ocağı	29
8.1.3 Acep açık ocağı	29
8.2 Bigadiç Bor İşletmesi konsantratör, kırma, öğütme ve çalışma ortamı	29
8.2.1 Konsantratör tesisi iş akışı	31
8.2.2 Ham-Bor tesisleri (kırma-harmanlama-öğütme) iş akışı	34

BÖLÜM DOKUZ - MATERYAL VE YÖNTEM 36

9.1 Numune	36
9.2 Karakterizasyon çalışmaları	38
9.2.1 Kimyasal analiz	38
9.2.2 Mineralojik analiz	40
9.2.3 Elek analizi	41
9.2.4 TGA analizi	44

BÖLÜM ON – DEKREPİTASYON DENEYSEL ÇALIŞMALARI VE TARTIŞMA..... 46

10.1 Kolemanit cevherlerine uygulanan konvansiyonel ısıt işlemler	47
10.1.1 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	48
10.1.2 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	53
10.1.3 -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	57
10.1.4 Kolemanit numunelerinin konvansiyonel ısıt işlem deneylerinde kütle kayıpları	61
10.2 Üleksit cevherlerine uygulanan konvansiyonel ısıt işlemler	64
10.2.1 -3+0,25 mm tane boyutlu üleksit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	64
10.2.2 -3+2 mm tane boyutlu üleksit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	69
10.2.3 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	74
10.2.4 Üleksit numunelerinin konvansiyonel ısıt işlem deneylerinde kütle kayıpları	80
10.3 Kolemanit cevherlerine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıt işlemler	83
10.3.1 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesine mikrodalga enerjisi ısıt işlem uygulanarak yapılan deneyler	84

10.3.2 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesine mikrodalga enerjisi ısı işlem uygulanarak yapılan deneyler	90
10.3.3 -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesine mikrodalga enerjisi ısı işlem uygulanarak yapılan deneyler	94
10.3.4 Kolemanit numunelerinin mikrodalga enerjisi altında kütle kayıpları.	98
10.4 Üleksit cevherlerine uygulanan mikrodalga enerjisi ısı işlemler	100
10.4.1 -3+0,25mm tane boyutlu üleksit numunesine mikrodalga enerjisi ısı işlem uygulanarak yapılan deneyler	100
10.4.2 -3+2 mm tane boyutlu üleksit numunesine mikrodalga enerjisi ısı işlem uygulanarak yapılan deneyler	104
10.4.3 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesine mikrodalga enerjisi ısı işlem uygulanarak yapılan deneyler	108
10.4.4 Üleksit numunelerinin mikrodalga ısı enerjisi altında kütle kayıpları	112
BÖLÜM ON BİR - SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR.....	117
EKLER.....	120

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 Yıllara göre Dünya bor ürünleri tüketimi	8
Şekil 4.2 Bölgesel bazda bor tüketimi	8
Şekil 6.1 Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı.....	17
Şekil 7.1 Magnetron'un iç yapısı	24
Şekil 7.2 Çeşitli elektromanyetik dalgaların frekansları, dalga boyları ve referans büyüklükleri	25
Şekil 8.1 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ait açık ocakların uydu görüntüsü	27
Şekil 8.2 Simav açık ocağı genel görünümü	28
Şekil 8.3 Tülü açık ocağı genel görünümü	28
Şekil 8.4 Bigadiç konsantratör tesisi akım şeması	33
Şekil 8.5 Kırma-harmanlama ve öğütme tesisi akım şeması	35
Şekil 9.1 -3 mm kolemanit ve üleksit stok sahası	36
Şekil 9.2 Numunelerin kurultulması ve bölünmeye hazırlanması	37
Şekil 9.3 Deneylerde kullanılan numune bölme aparatı	37
Şekil 9.4 Elek analiz cihazı	37
Şekil 9.5 Deneylere tabi tutulacak kolemanit temsili numuneleri	38
Şekil 9.6 Rigaku marka ZSX Primus 2 XRF cihazı	38
Şekil 9.7 -3 mm kolemanit numunesinin mineralojik analizi	40
Şekil 9.8 -3 mm üleksit numunesinin mineralojik analizi	40
Şekil 9.9 -3 mm kolemanit numunesinin elek üstü - elek altı dağılımı	42
Şekil 9.10 -3 mm kolemanit numunesinin elek üstü - tenör dağılımı	42
Şekil 9.11 -3 mm üleksit numunesinin elek üstü- elek altı dağılımı	43
Şekil 9.12 -3 mm üleksit numunesinin elek üstü - tenör dağılımı	43
Şekil 9.13 -3 mm kolemanit numunesinin TGA grafiği	44
Şekil 9.14 -3 mm üleksit numunesinin TGA grafiği	45
Şekil 10.1 -3 mm kolemanit ve üleksit cevherleri için yapılan deneylerin akım şeması	46
Şekil 10.2 Kolemanit ve üleksit cevherlerinin konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan metalurjik fırın	47

Şekil 10.3	15 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	48
Şekil 10.4	30 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	48
Şekil 10.5	45 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	49
Şekil 10.6	60 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	49
Şekil 10.7	Konvansiyonel ısıtım işlem sonrası elek üstü ve elek altı görüntüsü	52
Şekil 10.8	-3+0,25 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısıtım işlemi uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	52
Şekil 10.9	15 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	53
Şekil 10.10	30 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	53
Şekil 10.11	45 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	54
Şekil 10.12	60 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	54
Şekil 10.13	-3+2 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısıtım işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması.....	55
Şekil 10.14	15 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	57
Şekil 10.15	30 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	57
Şekil 10.16	45 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	58
Şekil 10.17	60 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	58
Şekil 10.18	-2+1 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısıtım işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması ...	59

Şekil 10.19	Konvansiyonel ısıtım işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	62
Şekil 10.20	Konvansiyonel ısıtım işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	63
Şekil 10.21	Konvansiyonel ısıtım işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 45 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	63
Şekil 10.22	Konvansiyonel ısıtım işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 60 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	63
Şekil 10.23	15 dakika boyunca -3+0.25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	64
Şekil 10.24	30 dakika boyunca -3+0.25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	65
Şekil 10.25	45 dakika boyunca -3+0.25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	65
Şekil 10.26	60 dakika boyunca -3+0.25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	66
Şekil 10.27	-3+0,25 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısıtım işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması ..	68
Şekil 10.28	15 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	69
Şekil 10.29	30 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	69
Şekil 10.30	45 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	70
Şekil 10.31	60 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	71
Şekil 10.32	-3+2 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısıtım işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	73
Şekil 10.33	15 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	74
Şekil 10.34	30 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	75

Şekil 10.35	45 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	75
Şekil 10.36	60 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	76
Şekil 10.37	-2+1 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısıtma işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	78
Şekil 10.38	Üleksit numunelerinin konvansiyonel ısıtma işlem sonrası elek üstünde parçalanmamış üleksit tanelerinin elenmeden önce ve sonra görüntüleri	79
Şekil 10.39	Konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	80
Şekil 10.40	Konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları	80
Şekil 10.41	Konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 45 dakika sonundaki kütle kayıpları	81
Şekil 10.42	Konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 60 dakika sonundaki kütle kayıpları	81
Şekil 10.43	Mikrodalga ısıtma işlem uygulamasında kullanılan Arçelik marka cihaz ve Elektrolux marka cihaz	83
Şekil 10.44	15 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	84
Şekil 10.45	22.5 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	84
Şekil 10.46	30 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	85
Şekil 10.47	Sıcaklık ölçümlerince kullanılan Flir-150 marka termal kamera	86
Şekil 10.48	800 watt seviyesinde, 5. (Solda) ve 30. dakikada (Sağda) numunelerin ulaştığı sıcaklık seviyelerinin termal görüntüsü	86
Şekil 10.49	Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde enerjinin numune kabı üzerinde plazma oluşturma görüntüleri	87
Şekil 10.50	-3+0,25 mm kolemanit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak optimum sonuçların elde edileceği akım şeması	88

Şekil 10.51	15 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	90
Şekil 10.52	22,5 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	90
Şekil 10.53	30 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	91
Şekil 10.54	-3+2 mm kolemanit numunesine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak optimum sonuçların elde edileceği akım şeması.....	93
Şekil 10.55	15 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	94
Şekil 10.56	22,5 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	94
Şekil 10.57	30 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	95
Şekil 10.58	-2+1 mm kolemanit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	97
Şekil 10.59	Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	98
Şekil 10.60	Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 22,5 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	98
Şekil 10.61	Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları.....	98
Şekil 10.62	15 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	100
Şekil 10.63	22,5 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	100
Şekil 10.64	30 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı.....	101
Şekil 10.65	-3+0,25 mm üleksit numunesine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	103

Şekil 10.66	15 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	104
Şekil 10.67	22,5 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	104
Şekil 10.68	30 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	105
Şekil 10.69	-3+2 mm üleksit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması	107
Şekil 10.70	15 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	108
Şekil 10.71	22,5 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	108
Şekil 10.72	30 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı	109
Şekil 10.73	-2+1 mm üleksit numunesine mikrodalga enerjisi ısıtma işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması ..	111
Şekil 10.74	Mikrodalga ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları	112
Şekil 10.75	Mikrodalga ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 22,5 dakika sonundaki kütle kayıpları	112
Şekil 10.76	Mikrodalga ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları	112

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Bor elementi temel özellikleri	3
Tablo 2.2 Bor elementi fiziksel özellikleri	3
Tablo 2.3 Bor elementi atom özellikleri	3
Tablo 2.4 Bor elementi diğer özellikleri	3
Tablo 2.5 Ticari değer taşıyan önemli bor mineralleri	4
Tablo 3.1 Türkiye’de mineral bazında rezerv miktarı	6
Tablo 3.2 Türkiye’de B ₂ O ₃ bazında rezerv miktarı	6
Tablo 4.1 B ₂ O ₃ bazında fiili üretim payları - 2017	7
Tablo 4.2 B ₂ O ₃ bazında kurulu kapasite miktarları - 2017	7
Tablo 5.1 Dünya genelinde en çok satılan ham bor ürünleri	9
Tablo 5.2 Dünya genelinde en çok satılan rafine Bor ürünleri	9
Tablo 6.1 Bor mineralleri veya türevlerinin çeşitli kullanım alanları	12
Tablo 6.2 En çok Bor kullanılan cam ve seramik sanayiindeki temel kimyasal bileşimler	16
Tablo 9.1 -3 mm kolemanit numunesinin komple kimyasal analizi	39
Tablo 9.2 -3 mm üleksit numunesinin komple kimyasal analizi	39
Tablo 9.3 -3 mm kolemanit numunesinin elek analizi	41
Tablo 9.4 -3 mm üleksit numunesinin elek analizi	41
Tablo 10.1 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	51
Tablo 10.2 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	56
Tablo 10.3 -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	60
Tablo 10.4 -3+0,25 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	67
Tablo 10.5 -3+2 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	72
Tablo 10.6 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	78

Tablo 10.7 Kolemanit numuneleri için Mikrodalga cihazının ürettiği enerji seviyelerinin zamana göre sıcaklık değişimi.....	86
Tablo 10.8 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	89
Tablo 10.9 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	92
Tablo 10.10 -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı.....	96
Tablo 10.11 -3+0,25 mm tane boyutlu üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı.....	102
Tablo 10.12 -3+2 mm tane boyutlu üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	106
Tablo 10.13 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtıl işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı	110

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Bor cevherinin bilinen tarihi 4000 yıl öncesine dayanmaktadır. Eski uygarlıkların ticaretini yaptığı Bor minerallerinin bugün bilinen rezervlerinin %70'i Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu bu rezervler sadece miktar olarak Dünya'da bilinenlerin en büyüğü değil, kalite açısından da Dünyanın diğer coğrafyalarında bilinen Bor havzalarından daha üstün konumdadır. Bor bileşiklerinin hafif olmasının yanı sıra, çekme ve gerilme kuvvetlerine karşı dayanımı, yüksek ısıya dayanıklı olması sebebi ile hali hazırda Dünya genelinde çok geniş yelpazeli endüstri alanlarında kullanılmaktadır.

Türkiye'de zengin bor rezervlerinin varlığı Dünya bor piyasasında Türkiye'nin liderliği açısından en büyük avantajı olmasına karşın rezervlerimizin ekonomik olarak işletilmesi büyük önem arz etmektedir. Tüvenan bor cevherlerinin üretilmesine müteakip B_2O_3 tenörlerinin yine uygun maliyetlerle yükseltilmesi cevher hazırlama teknikleri ile mümkün olduğu gerçeği ışığında, yine bor üretim proseslerinde elde edilen düşük tenörlü artıkların uygun ve düşük maliyetli cevher hazırlama teknikleri ile değerlendirilmesi mümkündür. Tez'e konu olan -3 mm düşük tenörlü artıkların hali hazırda işleyen yöntemlerle değerlendirilebilmesi güç görünmektedir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında düşük tenörlü bor cevherlerinin konvansiyonel ve mikrodalga ısıtma işlemleri kullanılarak değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bütün bunlara ilave olarak son yıllarda özellikle kaya gazı üretiminin hatırı sayılır derecede artması, gelecek yıllarda bu durumun ivmelenerek devam edeceği ve üleksit cevherlerinin kaya gazı aramaları ve üretimlerinde kullanılması bilgisi ışığında Türkiye'nin üleksit pazarına daha fazla ürün sunması gerekmektedir. Bigadiç bor havzasında baskın bir kolemanit cevheri varlığı yanında ciddi bir üleksit yataklanması bir gerçektir. Geçekleştirdiğimiz üleksit üretimlerinin fizibil cevher hazırlama teknikleri ile safsızlaştırılması büyük önem arz ederken, bu çalışmanın söz konusu tekniklere temel teşkil etmesi hedeflenmektedir.

BÖLÜM İKİ

BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Bor'un Tanımı ve Özellikleri

Bor, periyodik cetvel'in 3. grubunda bulunan, atom numarası 5 ve kimyasal sembolü B olan bir elementtir. Atom ağırlığı 10,81 g/mol, yoğunluğu 2,34 g/cm³, ergime noktası 2300 °C, kaynama noktası 4002 °C'dir (Boren, 2019).

Elementer bor doğada serbest halde bulunmamaktadır ve doğada en çok bulunan 51. elementtir. Bor elementi yüksek oksijen afinitesi nedeni ile doğada ancak Boratlar olarak adlandırılan bileşikler halinde bulunurlar. Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur. Doğada bileşikler halinde 230'dan fazla Bor minerali vardır ancak bunlardan 7 tanesinin ekonomik değeri vardır. Bunlar; kolemanit, üleksit, boraks, kernit, pandemit, borasit ve sassolittir. Bor'un saf elementi ilk kez, 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir. Grup IIIA elementlerinden sadece bor bir ametaldir. Bu gruptaki diğer elementler; alüminyum, galyum, indiyum ve talyumdur. Bor kendi grubundaki diğer elementlerden farklı olarak çok daha küçük atom yapısına sahiptir, bu durum ametal olan Bor ve gruptaki metal özellikteki grup elemanları ile belirgin farklılıklar oluşmasını neden olur. Bor ile birlikte grupta bulunan tüm elementlerin 3 valenz elektronları vardır. Normalde dörtten az valenz elektronu bulunan elementler metal kafeslerde kristalleşir. Bu açıdan bor istisnai bir durum sergiler, çünkü +3 yüklü serbest iyon oluşturmaz. Bor'un stabil olmayan saf halinin yani sıra 4 allotropu bulunur ve bu yüzden maddesel halini (katı, sıvı, gaz) değiştirmeden değişik yapılar geçiş yapabilir. Bunun görüldüğü başka bir örnekte 2 allotropu bulunan karbon'dur (Boren, 2019).

Tablo 2.1 Bor elementi temel özellikleri (Boren, b.t.)

BOR ELEMENTİ TEMEL ÖZELLİKLERİ	
Atom numarası	5
Element serisi	Metaloitler
Grup, periyot, blok	13,2,P
Atom ağırlığı	10.81 gr/mol
Elektron dizilimi	He 1s2 2s2 p1
Enerji seviyesi başına elektronlar	2,3
CAS kayıt numarası	7440-42-8

Tablo 2.2 Bor elementi fiziksel özellikleri (Boren, b.t.)

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Maddenin hali	KATI
Yoğunluk	2,34 gr/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	2,08 gr/cm ³
Ergime noktası	2076 °C
Kaynama noktası	3927 °C
Ergime ısısı	50,2 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	480 kJ/mol
Isı kapasitesi	11,087 kJ/mol

Tablo 2.3 Bor elementi atom özellikleri (Boren, b.t.)

ATOM ÖZELLİKLERİ	
Kristal yapısı	Rombohedral
Yükseltgenme seviyeleri	3- Hafif asidik oksit
Elektronegatifliği	2,04 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	800,6 kJ/mol
Atom yarıçapı	85 pm
Kovalent yarıçapı	82 pm

Tablo 2.4 Bor elementi diğer özellikleri (Boren, b.t.)

DİĞER ÖZELLİKLERİ	
Elektrik direnci	150 nΩ·m (20°C'de)
Isıl iletkenlik	27,4 W/(m·K)
Isıl genleşme	5-7 μm/(m·K) (25°C'de)
Ses hızı	16200 m/s (25 °C'de)
Mohs sertliği	9,3
Vichers sertliği	-

2.2 Önemli Bor Mineralleri

Sodyum boratlardan olan tinkal, Türkiye (Eskişehir-Kırka), ABD, Arjantin ve Bolivya’da yaygın olarak bulunurken, kalsiyum boratlardan olan kolemanit Türkiye (Balıkesir-Bigadiç), (Kütahya-Emet), Peru ve ABD’de bulunmaktadır. Sodyum-kalsiyum boratlardan olan üleksit, Türkiye, Şili, ABD, Bolivya, Sırbistan ve Çin’de yaygın olarak bulunurlar. Ekonomik değeri bulunan boraks ve kernit suda erirken, kolemanit, üleksit, pandemit, sasolit ve borasit suda erimezler (Güyağüler, 2011). Aşağıdaki tabloda ticari değer taşıyan bazı bor minerallerinin ve diğer minerallerin detaylı özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.5 Ticari değer taşıyan önemli Bor mineralleri (Bütüner, 2011)

Adı	Formülü	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	Yoğunluk (Gr/cm ³)
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5	47,2	1,69-1,80
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51,1	26,5	1,95
Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47,8	30,9	
Üleksit	NaCa B ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,1	35,5	1,96
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6	15,4	
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	21,9	2,26-2,48
Pandemit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	18,1	2,42
Priseit	Ca ₅ B ₁₂ O ₂₃ .7H ₂ O	50,7	15,4	2,4
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2		2,9
Szaybelit	Mg(BO ₂)(HO)	41,4		

BÖLÜM ÜÇ

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BOR YATAKLARININ OLUŞUM KOŞULLARI VE REZERVLERİ

Bor elementinin doğal olarak deniz suyunda ortalama 4,6 PPM, yer kabuğunda 3 PPM karasal sularda 0,1 PPM bulunması ile birlikte ekonomik olarak bir değer oluşturacak şekilde yataklanması Dünya ölçeğinde oldukça sınırlıdır. Ekonomik değer olarak tanımlanabilen yerlerde ise Jeolojik zaman dilimleri içerisinde bu yataklanmayı meydana getiren volkanik bir aktivite, gölsel bir ortam ve buharlaşma koşulları gibi parametreler olması zorunludur (Helvacı, 2004).

Bor yatakları yeryüzünde başlıca şu şekillerde bulunmaktadır, Eski göller içinde tabakalaşmış yataklarda, bataklıklarda ve tuz gölleri yataklarında, Playa ve göller çevresinde sert tabakalar halinde, sıcak kaynaklar ve fumaroller şeklindedir.

Ticari öneme sahip bor rezervleri Dünyada 4 ayrı bölgede toplanmıştır. Bunlar, Kaliforniya'nın Güneyindeki Majova çölü, Güney Amerika da yer alan And dağları, Türkiye'nin de yer aldığı "Güney-Orta Asya Orojenik Kemer" ve Doğu Rusya'dır (Eti Maden, 2010).

Majova çölünde olan bor yataklarının düşük B_2O_3 tenörlü olması ve derinde olması nedeni ile çözelti madenciliği uygulanmaktadır. Güney Amerika da olan bor yataklarının büyük bir kısmını bir sodyum-kalsiyum borat olan üleksit minerali oluşturmaktadır. Bu bölgedeki yataklar küçük rezervler halinde geniş bir alana yayılmışlardır. Yatak oluşumları bölgede 4000 mt ve üzerinde olduğu için çalışma mevsimi kısadır (Eti Maden, 2010). Rusya'da Dalnegorsk bölgesinde bulunan bor yataklarında ortalama %9-10 B_2O_3 tenörlü 230 milyon ton bor cevheri bulunmaktadır. Türkiye'de ise Bor yataklanmaları Emet-Kütahya, Kırka-Eskişehir, Bigadiç-Balıkesir, Kestelek-Bursa'da yer almaktadır. Türkiye'de bor cevherleri arasında büyük paya sahip kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) Emet ve Bigadiç'te yataklanma gösterirken, tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) Kırka'da bulunmaktadır. Ayrıca

Bigadiç ve Emet'te az miktarda üleksit yataklanmaları görölmektedir (Eti Maden, 2017)

Tablo 3.1 Türkiye'de mineral bazında rezerv miktarı (Eti Maden, 2010)

CEVHER CİNSİ	TOPLAM (TON)
Emet-kolemanit	1.676.958.608
Bigadiç - kolemanit - üleksit	616.470.710
Kırka - tinkal	733.829.226
Kestelek - kolemanit	5.623.063
TOPLAM	3.032.861.607

Tablo 3.2 Ülkelere göre B₂O₃ bazında rezerv miktarları (Eti Maden, 2010)

ÜLKE	TOPLAM REZERV (B ₂ O ₃ bin ton)	TOPLAM REZERV (B ₂ O ₃ %)
Türkiye	953.000	72,8
Rusya	100.000	7,6
ABD	80.000	6,1
Çin	47.000	3,6
Şili	41.000	3,1
Sırbistan	24.000	1,8
Peru	22.000	1,7
Bolivya	19.000	1,5
Kazakistan	15.000	1,1
Arjantin	9.000	0,7
TOPLAM	1.310.300	100.0

BÖLÜM DÖRT

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE BOR ÜRETİMİ, SATIŞI VE TÜKETİMİ

Dünya'da 2016 yılı sonu itibarıyla gerçekleşen bor üretimi 4,2 Milyon ton (2 milyon ton B₂O₃) civarındadır. Aşağıda B₂O₃ bazında gerçekleşen üretimlerin ülke payları verilmektedir.

Tablo 4.1 B₂O₃ bazında fiili üretim payları (Eti Maden, 2017)

ÜLKE-BÖLGE	PAY (%)
Türkiye	50
ABD	25
Güney Amerika- Asya	25

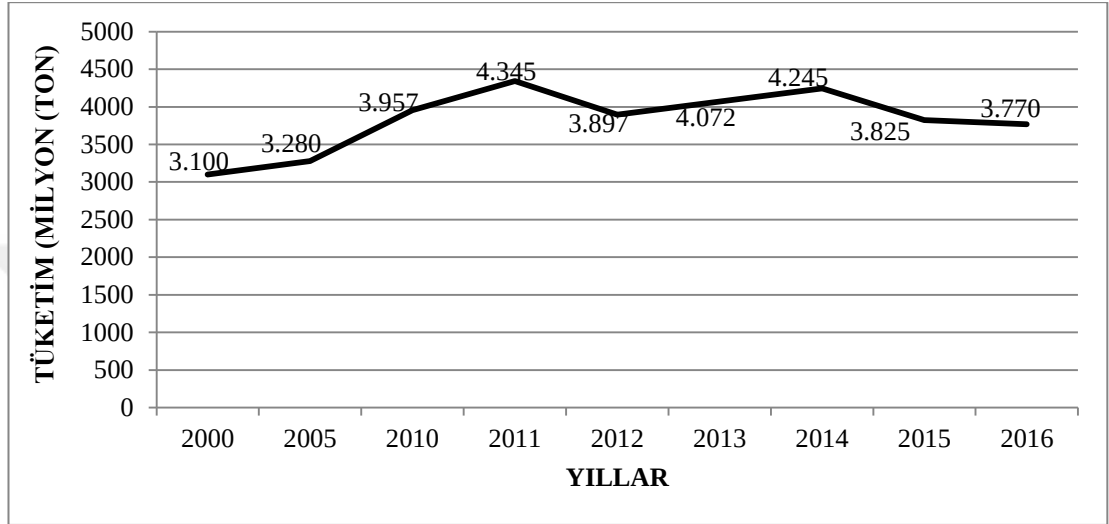
Türkiye'de bulunan bor rezervlerinin işletim hakkı bir kamu kurumu olan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne aittir. Yukarıda bahsedildiği gibi Türkiye'de Bigadiç, Kestelek, Emet ve Kırka'da bulunan rezervler açık ocak maden işletmeciliği ile işletilmektedir. Türkiye hem Tüvenan cevher üretiminde hem de B₂O₃ bazında üretimde şu anda Dünya liderliğini sürdürmektedir. Aşağıda tüvenan üretim miktarları ve B₂O₃ üretimi için kurulu kapasite miktarları verilmiştir.

Tablo 4.2 B₂O₃ bazında kurulu kapasite miktarları (Eti Maden, 2017)

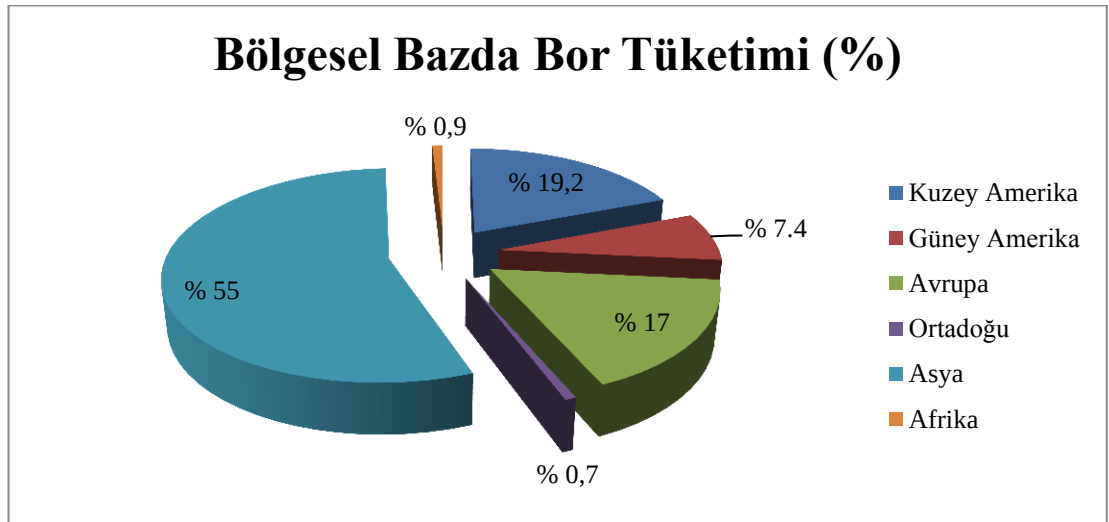
ÜLKELER	KURULU KAPASİTE- (1000 TON)
Avrupa, Türkiye	1212
ABD	661
Güney Amerika, Arjantin, Şili, Peru, Bolivya	379
Asya, Rusya, Çin, Hindistan	492
Toplam	2744

Türkiye'de bor üretimini gerçekleştiren Eti Maden İşletmelerinin mevcut tesislerinde kapasite kullanım oranı bugün itibarı ile %98'in üzerindedir. Son yıllarda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının Dünya da bor satışlarını arttırma ile ilgili çalışmaları Eti Maden İşletmelerinin mevcut tesis yatırımlarını revize ederek kapasitesini arttırmaya yönelmiş ve yeni tesisler kurma yolunda yatırım planlarını devreye almıştır.

Konsantre bor ürünleri ve diğer bor ürünleri tüketimi 3 milyon ton civarında iken bu yıllardan itibaren Dünyada bor tüketiminde bir artış trendine girilmiştir. 2011 yılında Dünya ekonomilerinde belirgin bir resesyon nedeni ile tüm alanlarda olduğu gibi bor tüketiminde bir azalma görülmüş ve bu tarihten itibaren 4 milyon ton'a yakın bir rakamla yıllık tüketimler devam etmektedir.



Şekil 4.1 Yıllara göre Dünya bor ürünleri tüketimi (Eti Maden, 2017)



Şekil 4.2 Bölgesel bazda bor tüketimi (%) (Eti Maden, 2017)

BÖLÜM BEŞ

HAM BOR VE RAFİNE BOR ÜRÜNLERİ

Dünyada üretilen Bor cevherlerinin bir kısmı zenginleştirme işleminden sonra öğütülerek veya zenginleştirme işleminden sonra parça halinde piyasalara pazarlanmaktadır. Öğütülmüş konsantre bor cevherlerinin büyük bir kısmı ise rafine bor ürünlerine çevrilerek pazarlanmaktadır. Aşağıda konsantre ham bor minerallerinin ve rafine Bor ürünlerinin isimleri ve formülleri verilmiştir.

Tablo 5.1 Dünya genelinde en çok satılan ham-bor ürünleri

ÜRÜN	KİMYASAL FORMÜLÜ
Kolemanit Konsantre (Öğütülmüş)	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit Konsantre (Öğütülmüş)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Tinkal Konsantre	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit Konsantre	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Szaybelit Konsantre	MgBO_2OH

Tablo 5.2 Dünya genelinde en çok satılan rafine bor ürünleri

ÜRÜN	KİMYASAL FORMÜLÜ
Boraks Pentahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Boraks Dekahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Susuz Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
Borik Asit	H_3BO_3
Sodyum Perborat	$\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

5.1 Türkiye’de Üretilen Ham-Bor ve Rafine Ürünler

Bugün itibarı ile Türkiye’de Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü bünyesinde Bor konsantresi ve Bor türevleri üreten 5 ayrı lokasyon bulunmaktadır.

- Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü (Balıkesir) - Kestelek Açık Ocak ve Konsantratör Birimi (Bursa)
- Kırka Bor İşletme Müdürlüğü (Eskişehir)
- Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü (Balıkesir)
- Emet Bor İşletme Müdürlüğü (Kütahya)

5.1.1 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

Balıkesir ili Bigadiç ilçesinde bulunan işletmede toplam 3 açık ocaktan kolemanit ve üleksit cevherleri çıkarılmaktadır. Bu Açık ocaklar Simav, Acep ve Tülü olarak adlandırılırlar. İşletme bünyesinde aşağıdaki ürünler üretilmektedir.

- Konsantre parça Kolemanit (3-125 mm, 25-125 mm, 3-25 mm, 0,2-3 mm)
- Konsantre parça Üleksit (3-125 mm, 0,2-3 mm)
- Öğütülmüş Kolemanit (75-45 Mikron)
- Öğütülmüş Üleksit (75-45 Mikron)

5.1.2 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Eskişehir, Kırka beldesinde bulunan işletme açık ocaklarından boraks cevheri üretilmektedir. Bu cevherlerden elde edilen ürünler

- Tinkal (Boraks Dekahidrat, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, B_2O_3 içeriği %36)
- Etibor-48 (Boraks Pentahidrat, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, B_2O_3 içeriği min %48)
- Etibor- 68 (Susuz Boraks, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, B_2O_3 içeriği min %68)
- Kalsine Tinkal (B_2O_3 içeriği min, %52)
- Etimatik Bor temizlik ürünü

5.1.3 Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü bünyesindeki diğer işletmelerden üretilen Bor mineralleri aşağıdaki rafine ürünlere dönüştürülmektedir.

- Boraks Dekahidrat $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Boraks Pentahidrat $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Borik Asit H_3BO_3
- Amorf Bor Oksit B_2O_3
- Susuz Boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

- Etidot 67, Disodyum Oktaborat Tetrahidrat $\text{NaBO}_3\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Sodyum Perborat Tetrahidrat

5.1.4 Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Kütahya, Emet ilçesinde bulunan işletme müdürlüğü bünyesinde bulunan Hisarcık ve Espey açık ocaklarından kolemanit cevheri üretilmektedir. Başlıca ürünler

- Hisarcık kolemanit 3-25 mm, 25-100 mm
- Espey kolemanit 3-25 mm, 25-100 mm
- Borik asit
- Eticol-seramik

BÖLÜM ALTI

BOR KULLANIM ALANLARI

Giderek zenginleşen kullanım alanları ile beraber, bor mineralleri en çok cam sanayiinde kullanılmaktadır. Bunun yanında yalıtım cam elyafı, kimyasal deterjanlar, tarım, nükleer enerji santralleri, metalürji, çimento alanlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bor ve ürünleri endüstride üç temel gruba ayrılmıştır. Birincisi Ham-Bor ürünleri; Ham-Bor ürünleri Bor cevherlerinde fiziksel zenginleştirme yöntemleri kullanılarak elde edilirler. İkincisi rafine Bor ürünleri; Rafine bor ürünleri elde etmek için fiziksel zenginleştirme yöntemleri yanında kimyasal zenginleştirme yöntemleri de kullanılır. Üçüncüsü ise uç ürünlerdir. Uç ürünler, daha önce belirtilen ham ve rafine ürünlerden üretilirler. En Önemli özelliklerini ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile üretilmeleri oluşturmaktadır. Ham ve rafine bor ürünlerine göre üretilen uç ürün sayısı daha fazladır. Belli başlı uç ürünler arasında elementer bor, bor karbür, bor nitrür ve bor alaşımları sayılabilir (Güyağüler, 2011).

Tablo 6.1 Bor mineralleri veya türevlerinin çeşitli kullanım alanları

BOR MİNERALİ VEYA TÜREVİ	KULLANIM ALANI
Sodyum Boratlar	Rafine Boraks Pentahidrat ve Boraks Dekahidrat, Susuz Boraks
Kalsiyum Sodyum Boratlar	Cam, Nükleer, Metalurji, İzolasyon, Selülozik
Kalsiyum Boratlar	Cam, Metalurji, Tekstil, Nükleer
Borik Asit	Cam, sır kaplama, Fotoğraf, Kozmetik, Metalurji, Deterjan, Tekstil
Boraks Penta ve Dekahidrat	Gübre, Fiberglass, İzolasyon, Metalurji, Cam, Yapıştırıcılar, Kozmetik, Tarım, Fotoğrafçılık, Dericilik, Emaye-Sır,
Borik Asit	Antiseptik, Kozmetik, Yangın söndürücü, Dericilik, Böcek öldürücü, Metalurji, Naylon, Tekstil, Deterjan, Fotoğrafçılık, Nükleer
Sodyum Perborat	Deterjan, Dezenfektan, Tekstil Boyası, Cam ve Boyaları

6.1 Cam ve Cam Elyafı Sanayii

Bor ve türevlerinin en çok kullanıldığı sanayii Yaklaşık %40 oranı ile cam sanayii'dir. Cam üretiminde kullanılan bor oksit, hammaddenin ergime noktasını düşürür, termal genleşme katsayısını düşürür, nihai ürünün yüzey sertliğini ve dayanıklılığını arttırarak geniş avantajlar sunar. Normal cam üretiminde hammaddeye %1,5-5 oranında bor oksit katkısı yapılırken, daha özel camlarda hammaddeye %12-15 arasında Bor Oksit katkısı yapılır ve cam hamurunu güçlendirir. ABD'de bazı otomotiv firmalarında cam yünüyle güçlendirilmiş plastik gövdeler kullanılmaktadır. Alkalilerin sınırlı miktarda kullanıldığı uygulamalarda, proses sıcaklığını düşürmek için kullanılır. Borosilikat camlar farklı miktarlarda bor ürünleri içermekte olup son ürünün kimyasal ihtiyacına göre hem konsantre bor, hem de rafine bor ürünleri kullanılmaktadır.

Cam elyafı pazarı en çok Bor kullanılan alandır. İki ana form için kullanılır, bunlardan biri izolasyon tipi cam elyafı diğeri ise tekstil tipi cam elyafıdır. Optik Cam Elyafı olarak bor, ışık fotonlarının etkin biçimde transferini sağlamaktadır. İngiliz Felecon Şirketi'nin ürettiği yeni bir elyaf, saniyede 140 milyon bayt veri'yi 27 km uzağa taşıyabilmektedir ki, bu lifler %6 oranında borik asit içermektedir. Bu lifler Phillips'in Hollanda'daki fabrikasında yoğun olarak üretilmektedir (Yağmur, 2012).

6.2 Enerji

Sodyum Bor Hidrür, yanıcı - patlayıcı olmaması, çevreye dost bir ürün olması, reaksiyonu sonucu oluşan Sodyum metaboratın tekrar Sodyum Bor Hidrüre dönüştürülebilmesi, elde edilen Hidrojenin yarısının Sodyum borhidrürden diğeri yarısının ise sudan gelmesi, araçlarda yük ve yolcu taşıma yeri açısından problem yaratmaması gibi bazı özelliklerinden dolayı hidrojenin depolanması konusunda diğeri yöntemlere göre avantajlı durumdadır. Sodyum Bor Hidrür, gelecek yıllarda Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının yaygınlaşması ile birlikte enerji alanında önemli bir ürün haline gelecektir. Hidrojeni depolama özelliğinin yanı sıra, yakıt pillerinde doğrudan yakıt olarak da kullanılabilir (Boren, 2019).

6.3 Metalurji

Ferrobör; çelik, dökme Demir, sürekli mıknatıslar ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünya Ferro-Bör üretiminin %50'den fazlası çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Üretimin % 10'luk bir bölümü ise Nd-Fe-B sürekli mıknatıslarının üretiminde kullanılmaktadır. Bör bileşiklerinin kullanıldığı diğer bir uygulama ise borlama'dır. Borlama ile çelik yüzeylerinin sertliği artırılmaktadır. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahip olup özellikle hidrolik aletlerin ve bazı petrol-kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, borlama işleminden geçirilmiş malzemeler, otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısını azaltmak ve hareketli aksamaları korumak için de kullanılmaktadır (Boren, 2019).

6.4 Deterjan ve Temizlik Sanayii

Beyazlatma özelliği nedeni ile deterjanlara %20 oranında sodyum perborat katılır. Dünya bör üretiminin yaklaşık %18'i deterjan sanayiinde kullanılmaktadır.

6.5 Çimento Sanayii

Çimento hammaddesine %8 bör (kolemanit) katkısının çimentonun mukavemetini arttırdığı, hidratasyon ısını düşürdüğü, çimento kalitesini arttırdığı bilinmektedir. Portland çimento ile mukayese edildiğinde bör katkılı çimentonun çok daha iyi özellikler sergilemektedir. Çimento üretiminde kolemanit kullanımı ayrıca, atmosfere salınan karbon dioksit miktarını %25-30 oranında düşürmektedir. Borlu çimento üretimi, Kyoto protokolünün getirdiği sorumluluklar çerçevesinde sektör için can simidi olabilecek potansiyeli taşımaktadır (Boren, 2019).

6.6 Tarım Sanayii

Bör, bitkide sağlıklı büyüme ve gelişme için mutlaka gerekli iz elementlerden biridir. Büyümeyi etkileyen hormonların oluşumunda, kök

gelişiminde, tomurcuk ve çiçek oluşumunda artış sağlar. Sebzelerde ve meyve ağaçlarında meyve sayısını artırır. Daldan düşen meyve sayısını en aza indirir. Bor noksanlığında yapraklarda ve meyvelerde doku ve şekil bozukluğu, gövde merkezinde çatlama ve çürümeler meydana gelir. Bitkide büyüme geriler. Döllenme ve meyve tutumu azalır. Bor mineralleri tarım sektöründe birbirine zıt etkiler elde etmek amacıyla kullanılabilir. Bu nedenle hem gübre hem de tarım ilaçları imalinde tüketilmektedir. Fazla kullanılan bor'un bitkiler üzerinde zehirleyici etkisi nedeniyle bitki büyümesi istenmeyen alanların ilaçlanmasında önemli miktarda Boraks kullanılmaktadır (Gübretaş, 2016). Bor, bitkilerde hücre duvarlarının yapısını oluşturan pektin ve lignin bileşiklerinin sentezlenmesi ve bunlarla kompleksler oluşturarak dayanıklı hücre duvarı oluşumu sağlar (Sezgin ve diğer., 2005).

6.7 Seramik Sanayii

Bu sanayii de, sır için çok kullanılan bir katkı malzemesidir. Bor, seramik malzemelerin sırlanmasında kullanıldığında, özellikle silisin kolay ergimesini ve seramik yüzeyinde çabuk yayılmasını sağlar. Sır için kullanılan karışımda silis miktarı azaltılır, bor miktarı artırılırsa; sır daha sert, daha dayanıklı ve parlak bir görünüm alır. Ayrıca bor, emaye sanayiinde emayelerin parlaklığını, sertliğini ve dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılır. Bu amaçla kullanılan bor'lar; kolemanit, üleksit, boraks penta hidrat, boraks deka hidrat, borik asit, susuz borakstır (Ediz ve diğer, 1998).

6.8 Kaya Gazı

Bilindiği üzere kaya gazı, hidrolik çatlatma ve yatay sondaj yöntemleri ile çıkarılır. Hidrolik çatlatma sırasında kaya katmanları içerisine belli özellikteki sıvılar yüksek basınçla pompalanarak kırılma ve çatlaklar oluşturulur ve böylece gaz açığa çıkarılır. Bor ürünleri hidrolik çatlatma sırasında çatlaktaki sıvının basıncının düşmesini önlemek için kullanılır. Ülkemizde kaya gazı olarak da bilinen şeyl gazı; kil, kuvars ve kalsit minerallerinden oluşan tortul kayaçların içinde bulunduğu gazdır. Türkiye de özellikle Trakya ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde kaya gazı

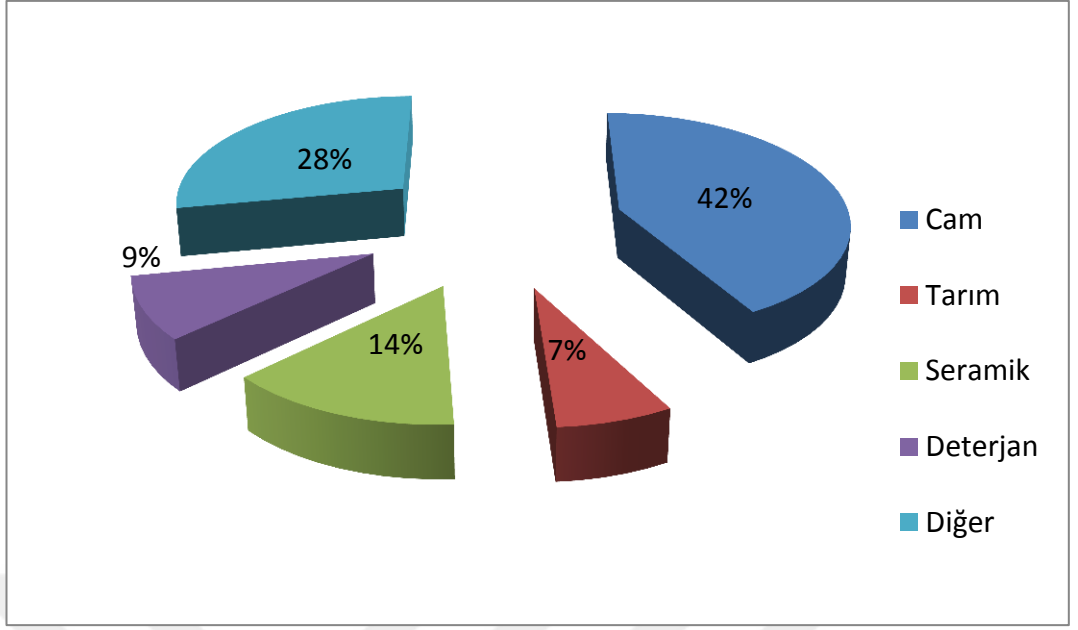
varlığı bilinmektedir. Kaya gazı üretimi genellikle iki şekilde yapılmaktadır; Bunlardan biri hidrolik çatlatma, diğeri ise yatay sondaj. Hidrolik çatlatmada, kaya katmanlarının içine belli özellikteki sıvılar yüksek basınç altında pompalanarak kırılmalar ve çatlaklar oluşturulmakta ve gazın katmanlardan çıkarılması sağlanmaktadır. bor ürünleri özellikle hidrolik çatlatma sıvısında çatlakların basınç düşmelerinde kapanma riskini azaltan etkisi nedeni ile kullanılmaktadır (Eti Maden, 2017).

6.9 Diğer Kullanım Alanları

Ahşap, malzeme prezervasyonu için sodyum Oktaborat kullanılır. % 30'luk Sodyum Okta borat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa bozunmadan ve küllenmeden uzun süre kullanılabilir. Silisyum üretiminde bor triflorür, polimer sanayinde, esterleme ve alkilleme işlemlerinde ve etil benzen üretiminde bor triflorür katalizör olarak kullanılmaktadır. Bor karbür ve bor nitrür; döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı (refrakter) malzeme püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir. Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. boraks kullanılmaktadır (MTA, 2019).

Tablo 6.2 En çok Bor kullanılan cam ve seramik sanayiindeki temel kimyasal bileşimler

Bileşik (%)	Cam Kaplar	Fiber Glass	Borosilikat Cam	Kristal Cam	Fiber Optik	Seramik Fiber	Cam Yünü
SiO ₂	72	-	-	54,5	80,2	52,9	64,5
AlO ₃	2,0	14,5	2,4	0,02	3,0	45,1	3,5
Na ₂ O	14,0	0,8	4,2	1,0	14,0	<0,2	16,0
K ₂ O	-	-	-	14,9	-	-	-
CaO	10,0	17,0	0,1	0,2	-	-	0,8
MgO	-	4,5	-	-	-	-	3,0
B ₂ O ₃	7,0	7,5	12,9	0,025	22,0	0,08	5,0
Fe ₂ O ₃	-	0,5	-	-	-	<0,1	-
PbO	-	-	-	31,4	-	-	-
TiO ₂	-	0,1	-	-	-	1,7	-
SO ₃	1,0	-	-	-	-	-	-



Şekil 6.1 Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı (İTO Bor raporu, 2006)

BÖLÜM YEDİ

BOR CEVHERLERİ ZENGİNLEŞTİRME TEKNOLOJİSİ

Tüvenan bor cevherleri genel olarak fiziksel zenginleştirme ile zenginleştirilmektedir. Özellikle ülkemizde bu yöntem tercih edilmektedir. Yüksek B₂O₃ tenörlü cevherlerin Türkiye'deki rezerv zenginliği bu yöntemin tercih edilmesinde esas sebeptir. Daha sonraki bölümlerde tezin konusu olan Bigadiç cevherleri ile ilgili zenginleştirme yöntemleri ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün 'de yürüttüğü bazı laboratuvar ve pilot çaplı çalışmalarda çeşitli yöntemler Bor cevherleri üzerinde denenmiştir. Genel hatları ile aşağıdaki yöntemler mevcuttur.

- Optik ayırma ile zenginleştirme
- Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme
- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Dekrepitasyon ile zenginleştirme
- Mekanik dağıtma ile zenginleştirme
- Flotasyon ile zenginleştirme
- Triyaj ile zenginleştirme

7.1 Optik Ayırma ile Zenginleştirme

Optik ayırma teknolojisinde alternatif akımdan (10^4 m) gama ışımasına (10^{-12} m) kadar geniş elektromanyetik dalgaboyu spektrumunda tanımlama yapabilen sensörlerin tekli veya çoklu olarak kullanılabilmesi farklı bir çok malzemenin tanımlanabilmesini imkanı hale getirmektedir. Özellikle madencilik sektöründe fiziksel yolla tanımlanması oldukça zor olan grift yapıdaki minerallerin ayrıştırılması işleminde geleneksel yollara iyi bir alternatif olmuştur. Optik ayırma ile zenginleştirme manyezit, talk, demir cevherleri ve kuvars gibi cevherlerde başarı ile kullanılmaktadır. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde 2014 yılında 1 adet optik

zenginleştirme devreye alınmış bu tarihten itibaren kullanımı devam etmektedir (Barış ve diğer., 2017).

7.2 Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Elektrostatik zenginleştirme yöntemi genel olarak, mineral tanelerine elektrik yükü kazandırmaya ve farklı yüklenen tanelerin birbirinden ayrılması esasına dayanmaktadır. Uygun elektriksel gerilim altında bulundurulanan mineraller, elektron kazanarak veya kaybederek, elektrik ile yüklendiklerinden, topraklanmış veya elektrik yüklü başka maddeler tarafından itilir, çekilir veya yüksüz "nötr hale getirilebilirler. Mineral tanelerine elektrik yükü kazandırmak için "mineral tanelerini yükleyebilmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2016).

Literatürden bir örnek vermek gerekirse, Bigadiç, Kestelek -0,2 mm şlam havuzu numunesinden mekanik dağıtma sonrası elde edilen ön konsantreden elektrostatik ayırma sonucu, %40,7 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %68,2 B_2O_3 verimiyle elde edilmiştir. Bigadiç -3 mm +0,2 mm boyutlu artık numunesinden dağıtma sonucu elde edilen ön konsantreden elektrostatik ayırma sonucu, %39,6 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %59,9 B_2O_3 verimiyle kazanılmıştır (Doğan ve diğer., 1997).

7.3 Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Manyetik ayırma ile zenginleştirme genelde düşük alan şiddetli ve yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar olmak üzere ikiye ayrılır. Bu iki sınıflama kendi aralarında yaş ve kuru olmak üzere alt gruplara ayrılır. Maddeler manyetik alandan etkilenip etkilenmediklerine göre 2 ana gruba ayrılır. Manyetik alandan etkilenenlere paramanyetik, etkilenmeyenlere ise diamanyetik özellikte maddeler denir. Ferromanyetiklik ise paramanyetikliğin daha ileri bir durumudur. Manyetik alandan paramanyetik maddelere göre daha fazla etkilenir. İşte bu özelliklerden dolayı bir mineral yüksek manyetik özelliğe sahipse, düşük alan şiddetli bir manyetik ayırıcıda zenginleştirilebilir veya düşük manyetik özelliğe sahipse yüksek alan şiddetli bir manyetik ayırıcıda zenginleştirilebilir.

Literatürden bir örnek vermek gerekirse, Kestelek konsantratörün'den çıkan -3 mm boyutlu atıklardan yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıda %94,8 B₂O₃ verimle %41,76 B₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir (Özdağ ve diğer., 1988).

7.4 Dekrepitasyon ile Zenginleştirme

Bazı mineraller ısıtıldığında dağılma ve parçalanma özelliği gösterirler. Bu dağılma ve parçalanma mineralin kristal suyunu gang minerallerine göre daha fazla kaybetmesi özelliğine dayanır. Dekrepitasyon bor mineralleri içinde özellikle kolemanitin zenginleştirilmesi için Dünyanın çeşitli yerlerinde tesis çapında uygulanmaktadır. Türkiye'de Laboratuvar çaplı çalışmalar yanında Eti Maden İşletmelerinde pilot çaplı çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Yaklaşık 500 °C dereceye kadar ısıtılan kolemanit cevheri kristal suyunu kaybederek parçalanıp dağılır. Kolemanit cevheri gang minerali olan kalker, marn, kalsit ve kil'e göre daha küçük boyutlara ufalanan cevher elekten geçirilerek kolemanit elek altı konsantre olarak alınmaktadır.

R.Tolun, B.Yarar ve İ.Gündiler'in Bigadiç bölgesi kolemanitleri ile yaptığı deneylerde cevher daha önce trommel tamburlarında yıkanarak 5 mm'den elendiğinden serbest kilden arınmış durumdadır. Cevherin mineralojik yapısı Kolemanit kristallerinin genellikle serbest olduğunu buna karşılık kalsitin 0,1 mm den küçük kriptoparçacık agregaları halinde montmorillonit ve kolemanit mikrokristalleri ile karışık halde bulunduğunu göstermiştir. Marn veya marnlı kalker diye adlandırılabilen bu gayri safiyette bir miktarda ince kolemanit bulunması, dekrepitasyon veriminin %100'e ulaşmasını önleyen yapısal bir etken olarak gözükmektedir (Tolun ve diğer., 1972).

7.5 Mekanik dağıtma ile sınıflandırarak zenginleştirme

Mekanik aşındırma ile zenginleştirme bor cevherleri için önemli sayılabilecek sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde mekanik dağıtma ile yapılan zenginleştirmenin bir ön konsantre elde etmek için uygulanabileceği fakat nihai bir konsantre elde etmek için yetersiz olacağı görülmektedir. Ön konsantre sonrası, bir önceki başlıkta bahsedildiği gibi bir dekrepitasyon aşaması gerekmektedir.

Literatürde incelenen çalışmalarda mekanik dağıtma deneyleri sırasında Pervane çapı, yüksekliği, dönüş hızı gibi parametrelerin sabit tutularak katı oranlarındaki değişiklikler incelenmiş ve %70 katı oranında en yüksek B_2O_3 değerlerinin elde edildiği görülmüştür. (Ediz ve diğer., 2004).

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Kestelek Biriminde -3 mm klasifikatör çökenini pervaneli aşındırıcı ile mekanik dağıtma ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak %96,04'lük verimle ile %37,09 B_2O_3 içerikli ürün elde edilmiştir (Ediz ve diğer., 2004).

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne ait -3mm Bigadiç Kolemanit atığını mekanik karıştırıcı ile mekanik dağıtma ve sınıflandırma işlemlerine tabii tutulmuş, bu deneyler sonucunda %86,4 verimli %32,5 B_2O_3 elde edilmiştir (Kaytaz ve diğer., 1986).

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde Konsantratör tesisinde 3 mm sarsıntılı elek üstü ve altı malzeme, yüzeyindeki kil minerallerinden arındırılması için kütüklü ve aktarmalı yıkayıcılarda işleminden geçirilmektedir. Kütükler vasıtası ile mekanik olarak karıştırılan malzemenin bünyesindeki kil aşındırılarak yıkayıcı taşarından kil minerallerinin uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Bu işlem mekanik dağıtma ile zenginleştirme için güzel bir örnektir.

7.6 Flotasyon ile Zenginleştirme

İnce tane boyutuna öğütülmüş cevherlerin fizikokimyasal özelliklerine göre belli kimyasal maddeler kullanılarak pülp içerisinde yüzdürülmesi veya batırılması ile yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Normal şartlarda cevheri oluşturan minerallerin en az %75 serbestleşme değerinde olması, 500-50 mikron boyut aralığında bulunması gerekir. Flotasyon yöntemi sanayii ölçeğinde bakır, kurşun, çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Literatürde Flotasyon ile zenginleştirilebilen kolemanit cevherleri olduğu, 20 mesh boyutuna indirilen cevherin şlamı alındıktan sonra %20-40 pülp yoğunluğunda sülfonat tipi kollektörlerle yüzdürülebileceği belirtilmiştir. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü bünyesindeki atık barajlarda bilindiği üzere -0,2 mm boyutlu şlam toplanmaktadır. Oldukça önemli miktarlara ulaşan bu atık barajlarından alınan numunelerle deneysel araştırma yapan araştırmacıların flotasyon deneylerindeki temel başarısızlık üleksit ve kolemanit şlam atıklarının aynı atık barajına toplanması ile ilgilidir. (Aytekin ve diğer., 1988).

Flotasyon ile zenginleştirmenin bir diğer dezavantajı ekonomik olmaması ile ilgilidir. Kimyasal reaktiflerin, tesis ve işletme maliyetlerinin yüksek olması yöntemin tercih edilmemesindeki etkenlerdendir.

Literatürden bir örnek vermek gerekirse, araştırmacılar tinkal cevherinden kilin şlam halinde atıldığı ön konsantrasyonu kullanarak flotasyon çalışmaları yapılmış, toplayıcı olarak R-825, bastırıcı olarak nişasta, canlandırıcı olarak $BaCl_2$ ve köpürtücü olarak çam yağı kullanmışlar %34 B_2O_3 tenörlü konsantreyi %36,47 verimle elde etmişlerdir (Aytekin ve diğer., 1988).

7.7 Triyaj ile Zenginleştirme

Cevher hazırlamada kullanılan en eski yöntemdir ve hala Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü dahil bir çok yerde kullanılmaktadır. İşletmede 25-125 mm boyut aralığındaki yıkanmış cevher elle ayıklama işlemine tabii tutulur. Burada kritik konu

0,5 m/sn hızla ilerleyen cevher taşıyan bant, işçilerin önünden ayıklanmak üzere geçerken işçi daha çok 50 mm üstü boyutlara odaklanır, 25-50 mm arası cevher çoğunlukla gang mineralleri ile beraber banttan konsantr silosuna doğru akar. Dolayısı ile bu yöntem iri boyutlarda efektif olabilir fakat daha ince boyutlarda verim düşer.

7.8 Mikrodalga Zenginleştirilmesi

Elektromanyetik dalgaların frekans ve dalga boyu değerleri farklı da olsa bu değerlerin çarpımı daima ışık hızına eşittir. Dalga boyu farklı elektromanyetik dalgalar farklı özellikler gösterir. Çok çeşitli kullanım alanları olan bu elektromanyetik dalgalara örnek olarak şunlar verilebilir.

- Radyo dalgaları
- Mikrodalgalar
- Kızıl ötesi dalgalar
- Görünür ışık dalgaları
- Ultraviyole dalgalar
- X ışını dalgaları
- Gama dalgaları

Mikrodalga terimi 1 cm ile 1 m arasındaki dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaları tanımlamak için kullanılır. Elektromanyetik spektrumdaki mikrodalga bölgesine ait frekans aralığı 300 MHz -300 GHz'dir. Dalga boyunun 1 mm'den kısa olduğu frekanslara (300-3000 GHz) "submilimetrik" dalga ismi verilir. Non-iyonize olan mikrodalgalar iyonların hareketi ve dipolar parçaların rotasyonu ile ısıtacağı malzemenin moleküllerini harekete geçirir. Bir malzemeyi mikrodalga ile ısıtma işlemi büyük ölçüde malzemenin tüketme faktörüne (Dissipation) ($\tan \theta$) bağlıdır. Bu faktör dielektrik kaybının, dielektrik sabitine oranı şeklinde verilmektedir.

$$\tan \theta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\text{Malzemenin dielektrik kayıp faktörü}}{\text{Malzemenin dielektrik sabiti}} \quad (7.1)$$

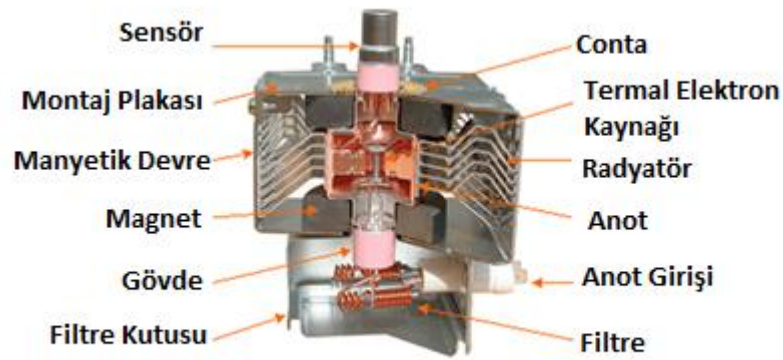
Bu denklemde ε malzemenin dielektrik kayıp faktörünü vermektedir. ε' ise malzemenin dielektrik sabitidir. Bir başka deyişle dielektrik kayıp faktörü malzemenin enerjinin ne kadarını ısıya dönüştürebileceğinin bir ölçüsüdür. Dielektrik sabiti ise malzemenin enerjinin ne kadarını depolayabileceğinin bir ölçüsüdür.

Kayıp faktör giren mikrodalga enerjisinin malzeme içinde ısı olarak tükenmesiyle kaybolma miktarını vermektedir. Bu nedenle yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerjisi ile kolaylıkla ısıtılabilir.

Mikrodalga ısıtma sistemlerinde 4 ana unsur vardır.

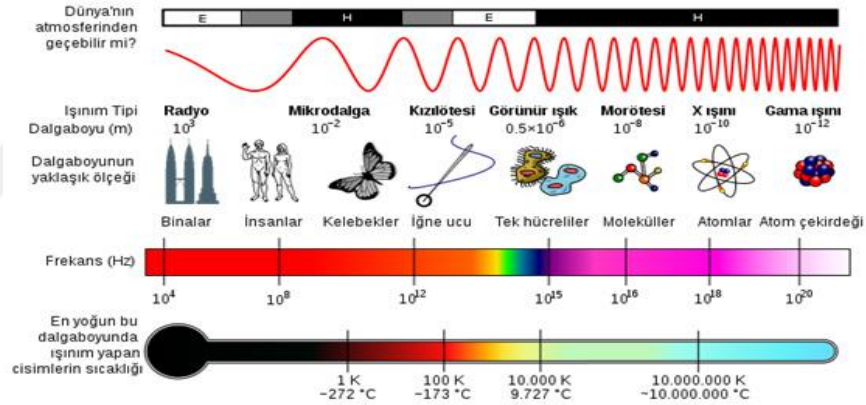
- Güç kaynağı,
- Magnetron
- Malzemenin ısıtılmasını sağlayan uygulayıcı
- Güç kaynağından gelen dalgaları malzemeye yönlendiren kılavuz.

Mikrodalga enerjisinin cevher hazırlamada kullanımı 1960 yıllarından sonra başlamıştır. Cevherler genel olarak mikrodalga enerjisine maruz bırakıldıktan sonra cevherlerin ufalanma karakteristikleri üzerinde çalışılmıştır. Metallerin ısınma karakterizasyonu ve kömür desülfürizasyonu gibi konularda da çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 7.1 Magnetron'un iç yapısı (Toshiba, b.t.)

Mikrodalga ile ısıtma işleminin bazı avantajları vardır, bunlar; Sadece hedef malzeme ısıtıldığından enerji kaybı olmaması, ısının malzemede eşit dağıtılması, kullanılmadan önce minimum gecikme, proses hızı ve kapsamlı kontrol avantajları arasındadır. Mikrodalga ısıtmada elektromanyetik enerji doğrudan malzeme içinde ısıya dönüştüğü için konvansiyonel ısıtmanın aksine malzemenin içinden dışarıya doğru taşınır. Bir malzemeyi mikrodalga ile ısıtırken malzemenin dielektrik sabiti önemli bir parametredir. Burada dielektrik sabiti elektromanyetik dalganın malzeme içinden geçerken elektromanyetik enerjiyi alıkoyma kapasitesi ile ilgilidir. Malzeme içine giren elektromanyetik enerjinin ısıya dönüştürmesiyle kayıp faktörü kavramı ortaya çıkar bir başka deyişle elektromanyetik dalga malzeme içinde ne kadar çok ısıya dönüşüyorsa kayıp faktörü o kadar yüksek olur. Aşağıdaki şekilde çeşitli elektromanyetik dalgaların frekansları, dalga boyları ve boyutları gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Çeşitli elektromanyetik dalgaların frekansları, dalga boyları ve referans büyüklükleri (Wikipedia, common, b.t.)

7.9 Rafine Borat Üretimi

Tabii boratların rafinasyonu veya kimyasal reaksiyonu ile elde edilirler. Genel olarak 5 çeşit rafine Borattan bahsedilebilir.

- Boraks Pentahidrat
- Boraks Dekahidrat
- Susuz Boraks
- Borik Asit
- Sodyum Perborat

BÖLÜM SEKİZ

BİGADIÇ BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERİ

Balıkesir ili Bigadiç ilçe sınırına 12 km Kuzeydoğusunda yerleşkeli işletme, Balıkesir merkeze 38 km uzaklıktadır. Bigadiç havzası borat yatakları 1950 yıllarında bulunmuş ve 1976 yılına kadar özel sektör tarafından işletilen sahalar Fransız şirketler ile ortaya çıkan saha sınır anlaşmazlıkları nedeni ile 1976 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı emri ile ülkemizdeki tüm bor tuzu saha ve ocaklarının Etibank Genel Müdürlüğüne devredilmesi üzerine Bigadiç bor yatakları 08.04.1976 tarihinde şantiye müdürlüğü olarak işletilmeye başlanmış, kurum statüsü 23.03.1977 tarihinde tesis, 01.01.1984 tarihinde Müessese Müdürlüğüne dönüştürülmüştür. Etibank'ın bir holding olarak yeniden örgütlenmesi dolayısıyla, 01.05.1998 tarihinden itibaren Eti Holding'in bir alt kuruluşu olan Eti Bor AŞ'ne bağlı bir İşletme Müdürlüğüne dönüştürülen kuruluş, Resmi Gazetenin 21.01.2004 tarih 25353 sayılı yayımında; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü adıyla yeniden teşkilatlanmasına Bakanlar Kurulunun 09.01.2004 tarihli kararıyla uygun görülmüş olup bu karar 21.01.2004 tarihinde yürürlüğe girerek, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü uhdesinde olmak kaydıyla Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü olarak madencilik faaliyetlerine devam etmektedir. Bursa iline bağlı olan Mustafakemalpaşa -Kestelek yerleşkeli İşletmenin statüsü değiştirilerek Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne 2013 yılında bağlanmıştır (Eti Maden, b.t.)

İşletme Müdürlüğünde bugün itibarı ile 3 açık ocakta (Simav, Acep, Tülü) tüvenan cevher üretimi gerçekleştirilmektedir. 1980 yılında devreye alınan 1. konsantratör, 1985 yılında devreye alınan 2. konsantratör ve 2007 yılında devreye alınan 3. konsantratör cevher zenginleştirme alanlarında faaliyet göstermektedir. 3 adet öğütme tesisi bulunan İşletmenin devreye giriş tarihleri 1998, 2007 ve 2012'dir.

8.1 Bigadiç Bor İşletmesi Açık Ocakları



Şekil 8.1 Bigadiç bor İşletme Müdürlüğü'ne ait açık ocakların uydu görüntüsü (Google Earth, 2019)

8.1.1 Simav Açık Ocağı

Simav açık ocağa görülen litolojik birimler stratigrafik olarak en alttan üste doğru olmak üzere, orta miyosen yaşlı alt Tüf birimi, onun üzerinde üst Miyosen yaşlı üst Tüf birimi, üzerine gelen üst Boratlı birim ile tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Pliyo-Kuvaterner ve Kuvaterner yaşlı güncel tortullar olarak sıralanmaktadır (Helvacı ve Alaca 1991). Alt Tüf birimi, gölsel alanlar çevresindeki aktif volkanizmaya bağlı gelişen süreçler içinde oluşmuş olup, bundan dolayı karasal ve gölsel fasiyeslerin gelişmiş olduğunda söz edilmektedir. Gölsel fasiyesteki tüfler zeolit mineralleri içermekte olup, alt tüf biriminin gölsel fasiyesi, bölgesel stratigrafik olarak altta taban kireçtaşı birimini uyumlu olarak üstlemektedir. Jeolojik etüd ve cevher belirleme sondajları ardından mevcut ocak şev parametreleri yeni projeler kapsamında revize edilerek optimum basamak genişliği, yüksekliği, basamak şev açısı, genel şev açısı tekrar şekillendirilir. Hali hazırda yürütülen proje kapsamında 1/18 itfa oranı ile Simav Açık ocağından tüvenan kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir. 2005 yılından itibaren İşletmeye bağlı ocakların dekapaj işleri özel şirketler aracılığıyla yürütülmektedir. Klasik açık ocak madenciliğinde olduğu gibi başlangıçta delme patlatma işleri yapılarak dekapajı yapılacak örtü

tabakasının gevşemesi sağlanır. Daha sonra planlama aşamasında seçimi yapılmış olan uygun ekskavatörler kullanılarak örtü tabakası olan pasa, kamyonlara yüklenerak tumba sahasına taşınır (Bigadiç saha raporu, 2014). 1/8 itfa oranı ile Tülü açık Ocağında Kolemanit, 1/4 itfa oranı ile acep ocağından üleksit cevherleri elde edilmektedir.



Şekil 8.2 Simav açık ocağı genel görünümü (Eti Maden, b.t.)



Şekil 8.3 Tülü açık ocağı genel görünümü (Eti Maden, b.t.)

8.1.2 Tülü Açık Ocağı

Bigadiç neojen volkano - sedimanter havzasının Kuzey-Batı bölümünde yer almaktadır. Stratigrafik istifin alt boratlı birimi içinde dekapaj ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Bu birim alt borat zonunda yer almaktadır ve üç ayrı seviyeden kolemanit üretilmektedir. Bu ocağın birimleri birkaç Kolemanit, Kireçtaşı, Marn ve çörtlü kireçtaşı damarlarından oluşmuştur. Kolemanit hakim mineraldir ve değişik boyuttaki nodüller şekilde ve masif cevher şeklinde bulunur. Üleksit eser miktarda bulunur. Cevherin üst ve altında ince laminal kıltaşı ve kireçtaşı alterasyonu yer alır. Ancak kolemanit nodülleri çevreleyen kil taşları kesintiye uğramıştır. Örtü tabakası, kıltaşı, marn, kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından meydana gelmiştir (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).

8.1.3 Acep Açık Ocağı

Acep Acık İşletme çalışma alanı Bigadiç bor havzasının yaklaşık orta kesimlerinde, üst boratlı birim içerisinde yer alır. Bu birim tabanını ocağın güneyinde, Acep dere vadisinde yüzeyleşen üst tuf birimi oluşturur. Üst boratlı birimin üzerinde uyumsuz olarak gelen ve yer yer gözlenen Pliyo-Kuvarterner yaşlı çökerler ve alüvyon bulunur.

Üst boratlı birim, acık ocağın Güneyinde, Acep dere vadisini oluşturan üst tuf birimi üzerine uyumlu olarak gelir. Bu birim, kireçtaşı, killi kireçtaşı, tuf ve killi birimlerin ardalaşmasından oluşmuştur. Birimi oluşturan litolojilerin tabaka kalınlıkları birkaç milimetreden metre mertebesine kadar değişmektedir. Birimin orta kesimlerinde cevherli zon yer almaktadır. Birimin açık ocak civarındaki kalınlığı 40-100 m civarındadır (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).

8.2 Bigadiç Bor İşletmesi Konsantratör, Kırma, Öğütme ve Çalışma Ortamı

Tüvenan cevher üretim yerleri olan açık ocaklardan proses kontrolü, konu ile ilgili bilgi sahibi birim mühendisliklerinin yetki ve sorumluluğunda olup vardiya mühendis ve başçavuşları tarafından gözle muayene yöntemi ile yapılarak, tüvenan

cevher kalite düzeyini olumsuz etkileyecek cevher dışı kayaç ve eski yeraltı üretimlerinden gelen tahkimat ahşap parçaları, fitil artıkları gibi istenmeyen materyalin minimum düzeyde tutulması sağlanır.

Ocaklarda üretilen tüvenan cevherlerin konsantratör ünitesine naklinde kullanılan kamyonların kasa temizliğine yönelik kontroller, konu sahibi ocak mühendisliği ile stok ve sevkiyat mühendisliği tarafından ortaklaşa yürütülür. Bu iş için kullanılan kamyonların temizliği kontrol edilerek, kirli olanlara yükleme yapılmasına izin verilmez.

Konsantratör ünitesinde proses kontrolü, vardiya mühendisi veya sorumlusu tarafından yürütülür. Burada ürünü etkileyen en önemli faktör; cevher içinde mevcut kireçtaşı, kil, kıltaşı, tuf gibi istenmeyen parçacıkların (pasa) triyaj işçileri tarafından elle ayıklanması olduğundan, burada görevlendirilen İşletme veya Taşeron işçileri işe yeni başladıklarında vardiya mühendisi tarafından eğitilirler. Ayrıca bu işçilerin çalışmaları esnasında kolaylıkla görebilecekleri yerlerde pasa örnekleri sürekli olarak bulundurulur.

Konsantratörde proses kontrolü; tesise beslenen ve elde edilen ürün (25-125 mm tane sınıfı) içinde mevcut pasa ve diğer cevher cinsi oranlarının tespiti ve triyaj etkinliğinin hesaplanması suretiyle gerçekleştirilir. Bu amaçla triyaj bandının giriş-çıkış noktalarından vardiyada en az iki kez örnek alınarak tartılır, daha sonra örnekler içindeki diğer cins parçaları elle mümkün olduğu kadar seçilir ve tartılarak oranları bulunur. Bu şekilde tirayajın etkinliği ile orijinlerine göre cevherler içindeki pasa besleme debisinin düzenlenmesi gibi kapasite ve kaliteyi etkileyecek müdahalelerin yapılması olanaklı hale gelir. Bu düzenlemeden belirli bir süre sonra aynı yöntem tekrarlanarak müdahalenin sonucu denetlenir. Pasa ve diğer cins cevher oranlarına ait değerler ile hesaplanan triyaj etkinliği değerleri “ **Proses Kontrol Formu**” ile dökümanite edilir, bir nüshası EYS birimine yayınlanır ve bilgisayar ağ sistemine bağlı konuyla ilgili servislerin bilgilerine sunulur (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).

8.2.1 Konsantratör Tesisi İş Akışı

Ortalama %30 B₂O₃ tenörle konsantratöre beslenen tüvenan cevherlerden aşağıdaki ortalama tenörlü boyutlar elde edilir.

Kolemanit konsantrasyonu sonucunda;

- %42 B₂O₃ ortalama tenörlü +25-125 mm
- %36 B₂O₃ ortalama tenörlü +3-25 mm
- %27 B₂O₃ ortalama tenörlü +0.2-3 mm

Üleksit konsantrasyonu sonucunda

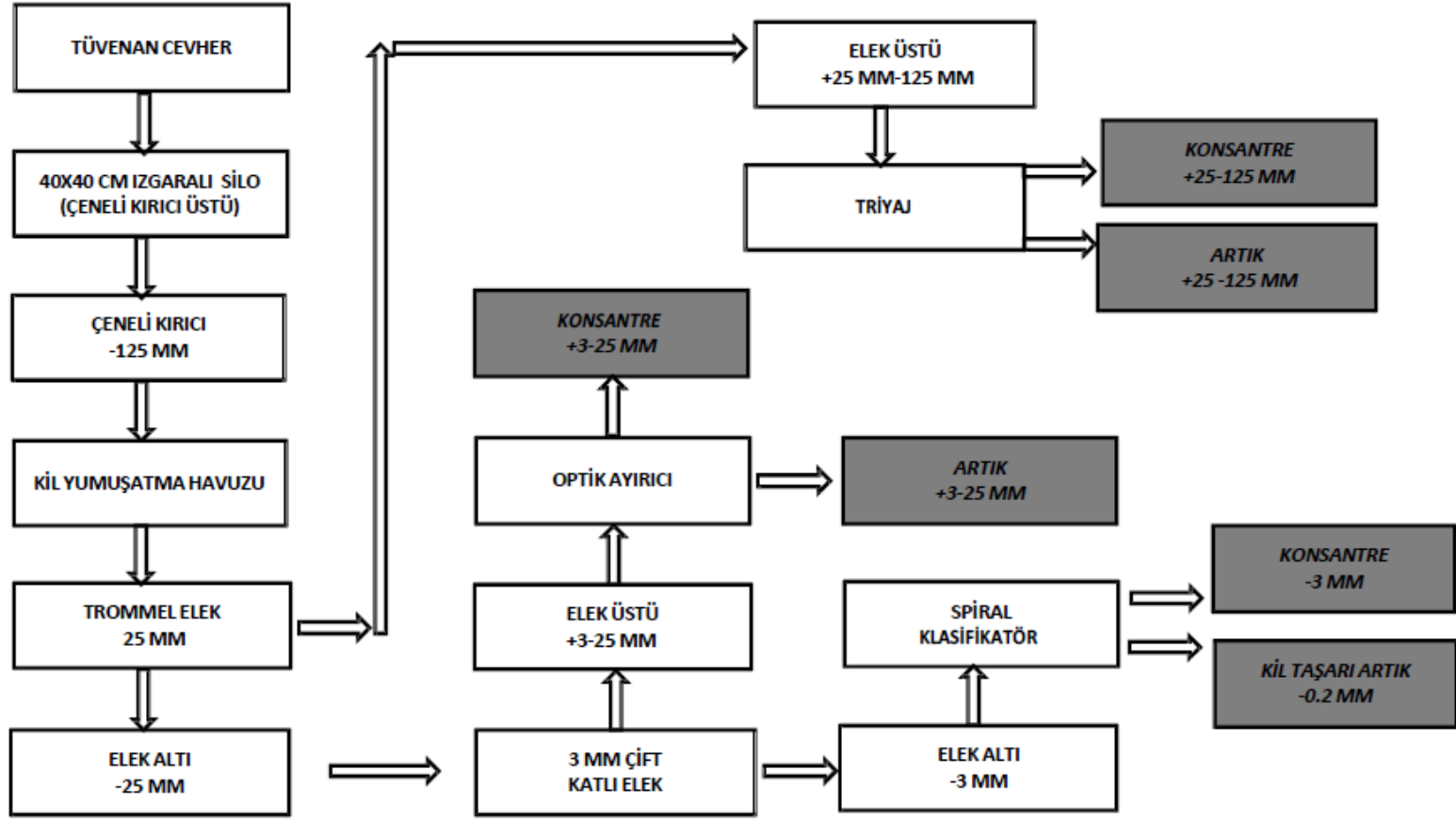
- %38 B₂O₃ ortalama tenörlü +3-125 mm
- %26 B₂O₃ ortalama tenörlü +0,2-3 mm

Her iki konsantrasyonda -0,2 mm ‘den küçük materyal atık olarak barajlarda toplanılır. Konsantratöre beslenecek tüvenan cevherler, doğrudan kamyonun boşaltılması veya loderle stok sahasından aktarılması suretiyle 40 ton kapasiteli tüvenan cevher silosuna alınır. Silo altındaki paletli besleyiciler vasıtası ile 125 mm ağız açıklıklı çeneli kırıcıya beslenir. 125 mm altına kırılan cevher, bant konveyör ile mekik banta aktarılır ve bu aşamadan sonra mekik bant havuzlar yatay ekseninde hareket ettirilerek boş olan 5 ıslatma havuzundan birine doldurulur. Tüvenan cevherlerin beraberinde bulundurdıkları kil, ahşap parçacıkları gibi istenmeyen materyalden arındırılması için bu havuzlarda, cins ve özelliklerine göre belirli süreler (yaklaşık 16 saat) su içinde bekletilmeleri sağlanır. Cevherler kil gibi materyallerin yumuşatılmasından yaklaşık 16 saat sonra köprülü vinçlerle havuzdan alınarak yıkama tamburu silolarına alınırlar. Tambur siloları altında bulunan paletli besleyiciler kullanılarak cevherler yıkama tamburlarına alınırlar ve yıkamaya tabii tutulurlar. Yıkama sonrasında cevher içinde bulunan kil gibi malzemelerin sulu ortama geçmeleri sağlanırken bir yandan tambur çıkışına monte edilmiş 25 mm elek açıklıklı trommel eleğe aktarılarak bir kez daha yıkanır ve elenir (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).

Elek üstü olan +25-125 mm boyutlu malzeme triyaj bantlarına alınarak 0,25 m/s hızla taşınırken el ile triyaj işleminden geçirilerek kaba empüriteler ve gang mineralleri ayıklanır ve bant konveyörlerle atık silosuna taşınır. +25-125 mm boyutlu ürün ise yine bant konveyörlerle ürün silosuna alınır.

Trommel elekten geçen -25 mm malzeme ise 3 mm elek açıklıklı titreşimli eleğe alınarak 3mm'den küçük ürünlerin sulu olarak süzülmesi sağlanır. Elek üstünde kalan malzemenin kilden arınması için elek üstünde bir su duşu çalışmaktadır. Elek üstünde kalan +3-25 mm ebadındaki malzeme duştan geçip fazla suyunu serbest bıraktıktan sonra spiral klasifikatörlere beslenir ve malzemenin yüzey temizliği yapılırken çıkış kısmından alınır, klasifikatör taşarından ise kalan kil ve ahşap parçacıkları bir kez daha atılır. klasifikatör çıkışından alınan +3-25 mm boyutlu ürün bant konveyörlerle ürün silosuna alınır.

Titreşimli elek altına geçen -3mm malzeme lamelli tikinerlere verilerek cevherli iri kısımlar çöktürülür ve pülp halinde alt akım olarak alınır. Alınan bu pülp klasifikatörlere aktarılır ve üzerine su verilerek killi kısımları bir kez daha arındırılır. Konsantratör ünitesinde ıslatma ve yıkama amacıyla kullanılan ve ıslatma havuzları, yıkama tamburu, titreşimli elek, klasifikatör, tikinerlerden atık olarak elde edilen sular şlam havuzuna alınırlar ve beraber taşıdıkları katı materyalin çöktürülmesi sağlanır. Atık su pompa ile atık gölet ve barajlarına sevk edilirler. Atık barajlarında çöktürmeye tabi tutularak durulaştırılan su, daha fazla temiz suyun kirletilmemesi amacıyla prosese tekrar beslenir. Bu suyun yeterli olmaması durumunda keson kuyulardan pompayla ilave su temin edilir (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).

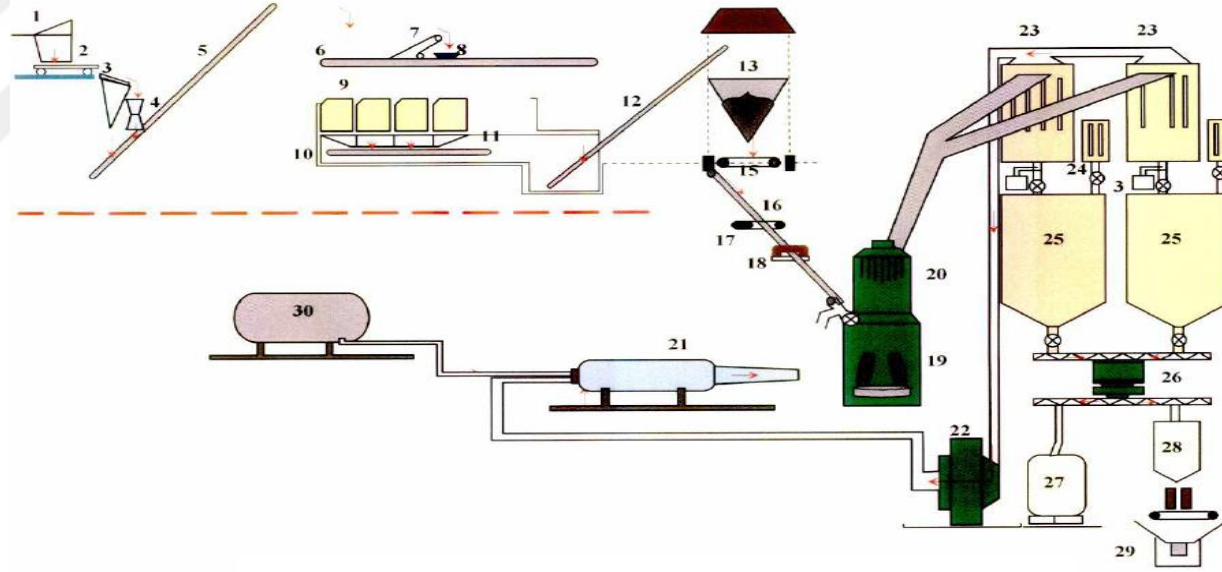


Şekil 8.4 Bigadiç konsantratör tesisi akım şeması

8.2.2 Ham-Bor Tesisleri (Kırma-Harmanlama-Öğütme) İş Akışı

Konsantratör silolarından kamyonlarla alınarak stok sahalarına nakledilen ve burada kalite özelliklerine göre ayrı ayrı stoklanan 25-125 mm boyutundaki ürünlerden paçallanarak hazırlanan ortalama %40 tenörlü cevher kırma ünitesinde -25 mm boyutuna indirgenir. Kırma ünitesinde biri konik diğeri merdaneli kırıcı olmak üzere 2 adet kırıcı bulunmaktadır. -25 mm boyutuna indirilen cevher, müşterilerin istediği spesifikasyonlarda ürünleri öğütme öncesinde hazırlamak üzere harmanlama odalarına alınırlar. Harmanlama odalarında hazırlanan cevher, odaların altında bulunan galeri bantlarına alınarak öğütme tesisi besleme silosuna alınırlar.

-25 mm cevher rotary valf vasıtasıyla öğütücü değirmene aktarılacak üzere bu bant üzerinde sevk edilirken manyetik seperatör ve dedektör ile metal aksamından arındırılır. Değirmene giren malzeme burada bir taraftan sıcak hava ile nemi %1'in altına düşünceye kadar kurutulurken diğer taraftan tabla-roller sistemi ile ve tümüyle otojen olarak öğütmeye tabi tutulurlar. İstenen boyuta indirgenen malzeme değirmen üstünde bulunan seperatör kanatları arasından sıcak hava ile birlikte geçer, henüz iri olanlar ise seperatörün kanatlarına çarparak geri döner. Seperatörden geçen hava-ürün karışımı filtrede ayrılır ve sıcak hava değirmene geri beslenirken filtre torbaları tarafından tutulan ürün basınçlı hava ile tabandaki helezonlu konveyöre ve buradan da rotary valf ile nihai ürün silosuna gönderilir. Valf altında bulunan otomatik donanımla boyut analizi yapılmak üzere siloya girmeden önce örneklenen ürün, silodan pnömatik keser klepe, döner besleyici ve helezonlu konveyörler vasıtasıyla manyetik tambura aktarılarak son bir kez manyetik kontrolden geçirilir. Buradan paketleme ünitesine 1 ton, 2 ton'luk big-bag torbalar veya 25 kg, 50 kg'lık torbalar halinde torbalanır. Aşağıda Kırma-Harmanlama ve Öğütme Tesisinin akım şeması verilmiştir (Eti Maden kalite el kitabı, 2006).



Şekil 8.5 Kırma-harmanlama ve öğütme tesisi akım şeması

1- Bunker	11- Transfer Galerisi	21- Sıcak Gaz Fırını
2- Varagel Besleme	12 Transfer Bandı	22- Fan
3- Sarsıntılı Elek	13- Bunker	23-Filtre
4-Konik Kırıcı	14- Yük Binası	24- Toz Tutma Filtresi
5- Bantlı Konveyör	15- Bant Kantarlar	25-Öğütülmüş Ürün Silosu
6- Triper Bant	16- Bant Konveyör	26- Titreşim Kontrolörü
7- Triper Arabası	17- Manyetik Separatör	27- Big-Bag 1Ton Ürün
8- Triper Köprüsü	18- Metal dedektör	28-Kağıt Torba Paketleme Silosu
9- Stok Odaları	19- Dik Değirmen	29- Enjektör
10- Bantlı Konveyör	20-Separatör	30-LNG Tankı

BÖLÜM DOKUZ

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında deneylerde kullanılacak malzeme, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü bünyesinde konsantratör ünitesinden elde edilen -3 mm boyutlu kolemanit ve üleksit cevherleridir. Bugün itibarı ile bu ürün konsantratör den atık olarak alınarak kırma–harmanlama ve öğütme tesisleri bölgesinde açık alanda stoklanmaktadır ve 1 milyon ton üzerinde bir stok büyüklüğüne ulaşmıştır.

9.1 Numune

Deneylere konu olacak numune Ham-Bor tesisleri olarak adlandırılan, kırma-harmanlama ve öğütme tesisleri bölgesindeki -3 mm boyutlu kolemanit ve üleksit cevherleri stoklarından alınmıştır. Her bir mineral için stok sahasının etrafında 7 ayrı bölgede lastik tekerlekli loder ile stok içine 5 m kadar girilmiş ve bu 7 bölgeden toplam 100 kg numune alınmıştır. Numuneler Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü merkez laboratuvarında, numune hazırlama odasında yere serilerek ısıtıcı fan ile kurutulmuştur. Kurutulan malzeme konileme dörtleme yöntemi kullanılarak temsili numulere (1000 gr) ayrılmıştır. Daha sonra deneylerde kullanılmak üzere yaklaşık 125 gramlık temsili numunelere tekrar bölünerek paketlenmiştir.



Şekil 9.1 -3 mm kolemanit ve üleksit stok sahası (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 9.2 Numunelerin kurutulması ve bölünmeye hazırlanması (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 9.3 Deneylerde kullanılan numune bölme aparatı (Utest malzeme, 2019)



Şekil 9.4 Elek analiz cihazı (Fritsch, 2019)



Şekil 9.5 Deneylere tabi tutulacak kolemanit temsili numuneleri (Kişisel arşiv, 2019)

9.2 Karakterizasyon Çalışmaları

Kolemanit ve üleksit cevherlerinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kimyasal analiz, minerolojik analiz, elek analizi, termogravimetrik analiz ve diferansiyel termal analiz ölçümleri yapılmıştır.

9.2.1 Kimyasal Analiz

Numunelerin bileşimini ve bileşim oranlarını tespit etmek amacı ile kimyasal analiz yapılmıştır. Analizler Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü laboratuvar biriminde yapılmış ve Rigaku marka ZSX Primus XRF cihazı kullanılmıştır.



Şekil 9.6 Rigaku marka ZSX Primus 2 XRF cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

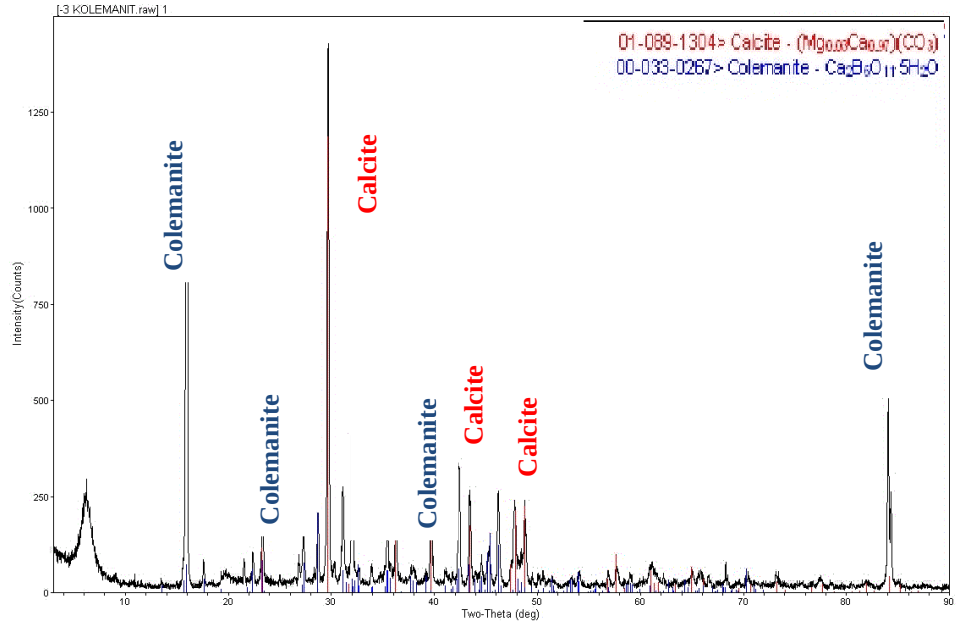
Tablo 9.1 -3 mm kolemanit numunesinin komple kimyasal analizi

KOLEMANİT KİMYASAL BİLEŞEN	%	PPM
B ₂ O ₃	22,87	
Na ₂ O	0,33	
MgO	8,18	
Al ₂ O ₃	2,02	
SiO ₂	14,86	
SO ₃	0,34	
SO ₄	0,408	
CaO	24,72	
Fe ₂ O ₃	0,129	
As ₂ O ₃		113
As		86
SrO	0,84	
H ₂ O	3,07	
Kızdırma Kaybı	22,22	

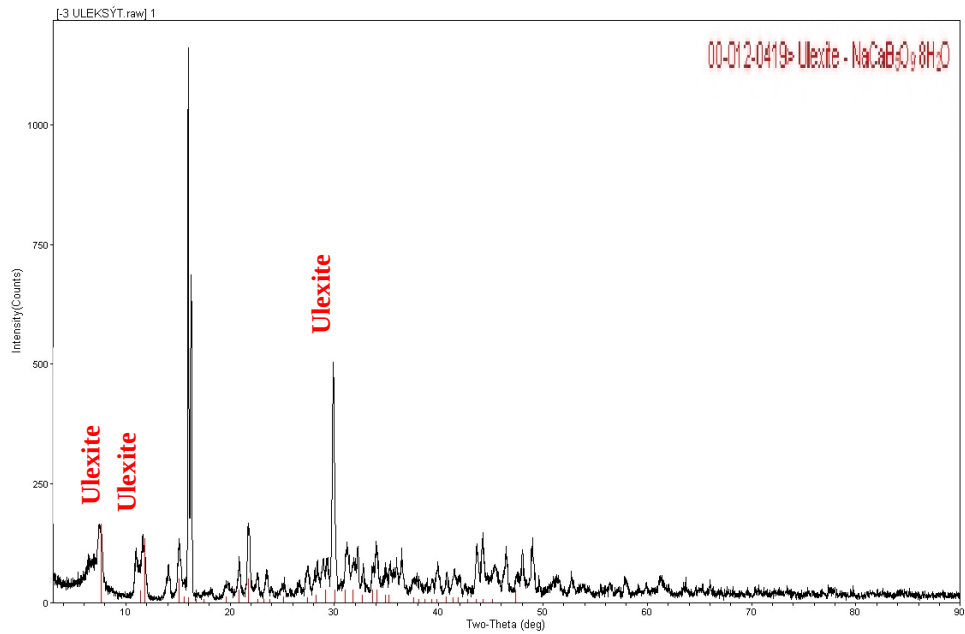
Tablo 9.2 -3 mm üleksit numunesinin komple kimyasal analizi

ÜLEKSİT KİMYASAL BİLEŞEN	%	PPM
B ₂ O ₃	27,99	
Na ₂ O	2,26	
MgO	3,99	
Al ₂ O ₃	0,08	
SiO ₂	7,06	
SO ₃	0,27	
SO ₄	0,32	
CaO	21,94	
Fe ₂ O ₃	0,044	
As ₂ O ₃		57
As		43
SrO	0,94	
H ₂ O	0,41	
Kızdırma Kaybı	34,68	

9.2.2 Minerolojik Analiz



Şekil 9.7 -3 mm kolemanit numunesinin mineralojik analizi



Şekil 9.8 -3 mm üleksit numunesinin mineralojik analizi

Bigadiç bölgesi -3 mm kolemanit ve üleksit konsantratör artıklarının XRD analizleri Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından Rigaku marka XRD cihazı kullanılarak yapılmıştır. Buna göre -3 mm kolemanit numunesinde kalsit ve kolemanit minerallerinin varlığı tespit edilmiş ve ayrıca -3 mm üleksit numunesinde ise sadece üleksit minerali tespit edilmiştir.

9.2.3 Elek Analizi

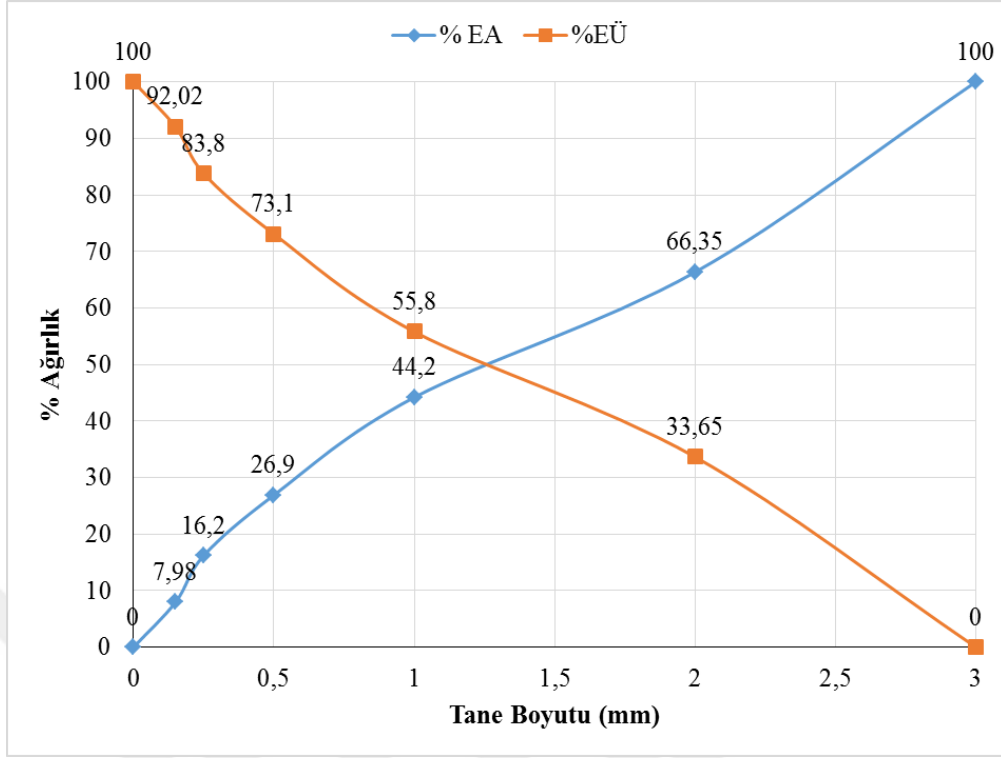
Numunenin tane boyu dağılımını saptamak ve numunenin tane boyu dağılımına göre tenör dağılımının tespitinin yapılması için elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde 2, 1, 0,5, 0,25 ve 0,15 mm'lik elekler kullanılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tablo 9.3 -3 mm kolemanit numunesinin elek analizi

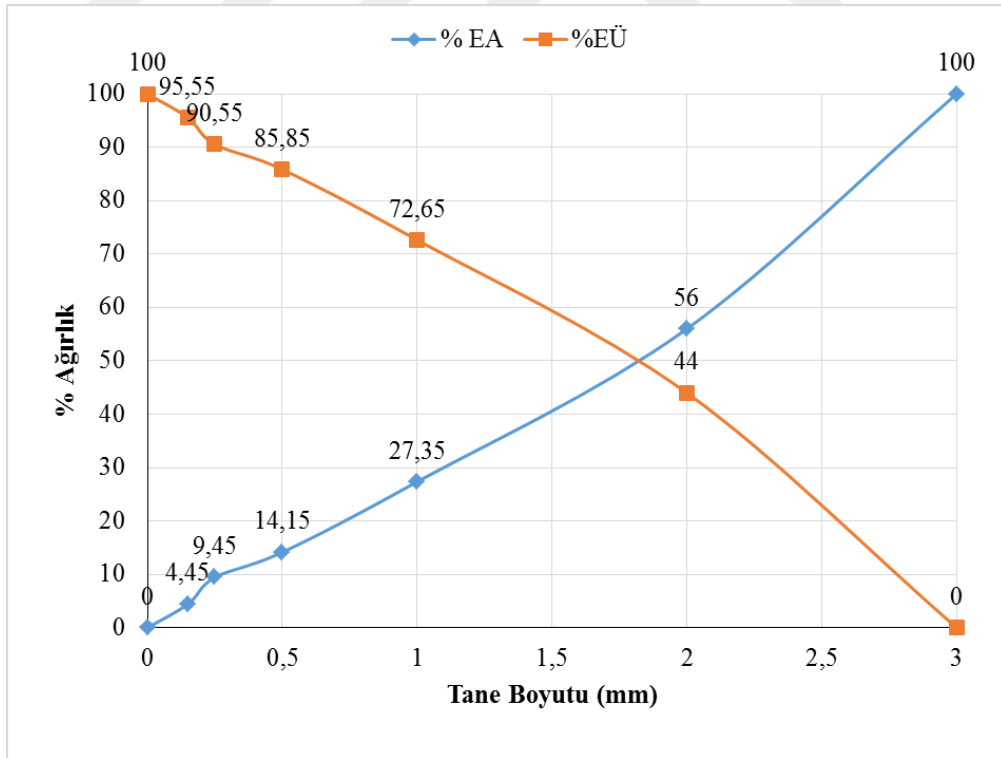
TANE BOYUTU (MM)	MİKTAR		(B ₂ O ₃) (%)	KÜM. ELEK ÜSTÜ B ₂ O ₃ (%)	KÜM. ELEK ÜSTÜ AĞIRLIK (%)	KÜM. ELEK ALTI AĞIRLIK (%)
	GRAM	%				
-3+2	673	33.65	26.40	26.40	33.65	100
-2+1	443	22.15	26.79	26.55	55.80	66.35
-1+0.5	346	17.30	23.89	25.92	73.1	44.2
-0.5+0.25	214	10.7	19.26	25.07	83.8	26.9
-0.25+0.15	164.5	8.22	14.80	24.14	92.02	16.2
-0.15	159.5	7.98	8.05	22.87	100	7.98
TOPLAM	2000	100	22.87		100	

Tablo 9.4 -3 mm üleksit numunesinin elek analizi

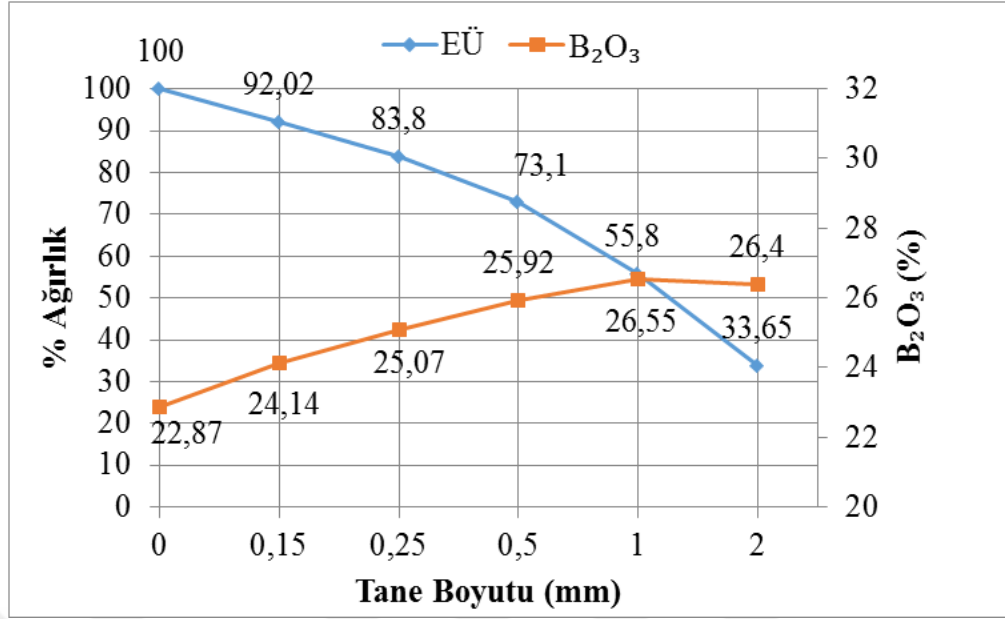
TANE BOYUTU (MM)	MİKTAR		(B ₂ O ₃) (%)	KÜM. ELEK ÜSTÜ B ₂ O ₃ (%)	KÜM. ELEK ÜSTÜ AĞIRLIK (%)	KÜM. ELEK ALTI AĞIRLIK (%)
	GRAM	%				
-3+2	880	44	30.51	30.51	44	100
-2+1	573	28.65	28.49	29.71	72.65	56
-1+0.5	264	13.2	24.56	28.92	85.85	27.35
-0.5+0.25	94	4.7	21.54	28.53	90.55	14.15
-0.25+0.15	100	5	17.73	27.97	95.55	9.45
-0.15	89	4.45	18.06	27.53	100	4.45
TOPLAM	2000	100	27.53		100	



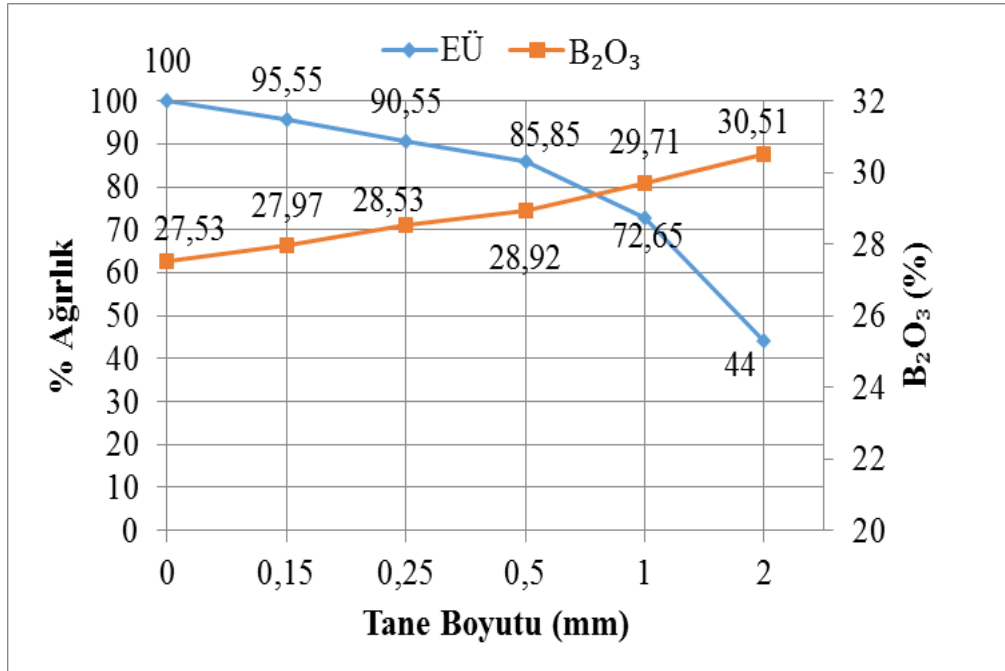
Şekil 9.9 -3 mm kolemanit numunesinin elek üstü – elek altı dağılımı



Şekil 9.10 -3 mm üleksit numunesinin elek üstü - elek altı dağılımı



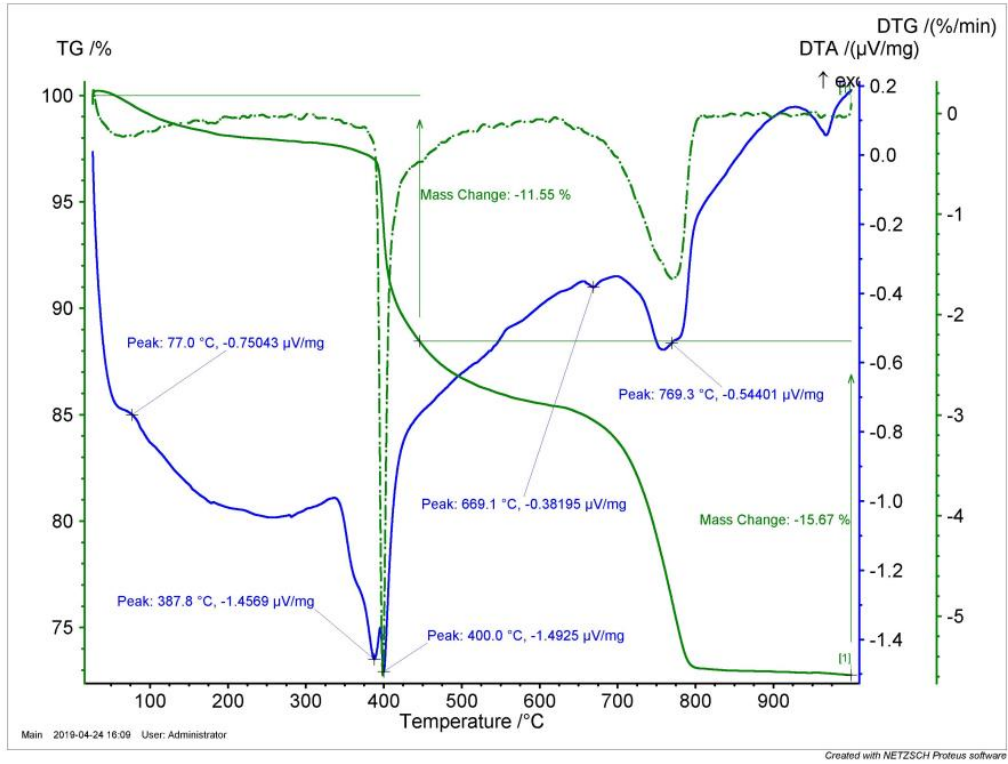
Şekil 9.11 -3 mm kolemanit numunesinin elek üstü - tenör dağılımı



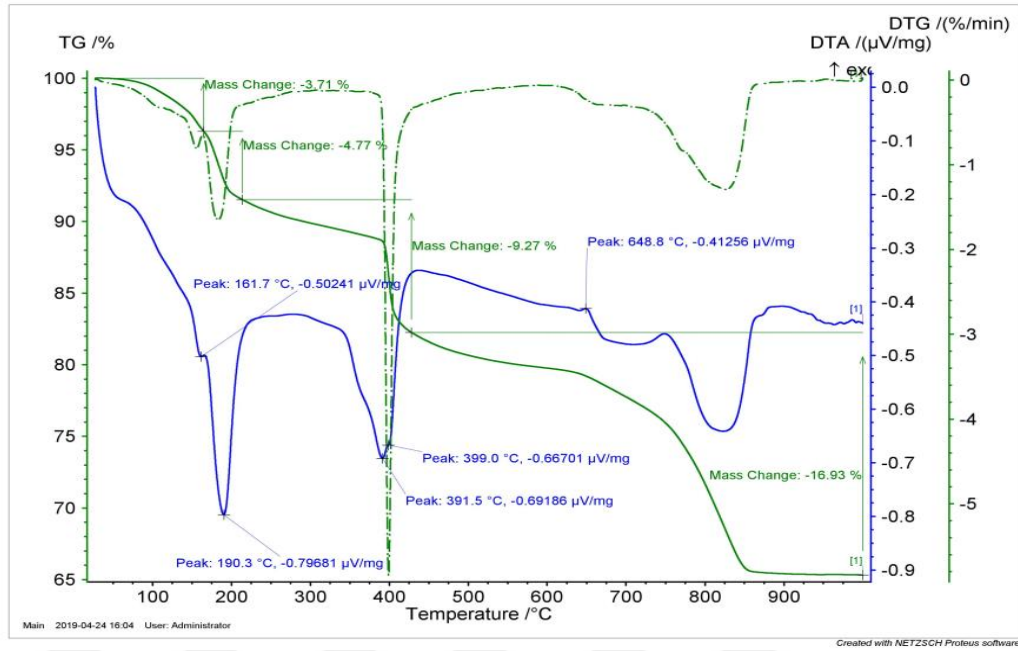
Şekil 9.12 -3 mm üleksit numunesinin elek üstü - tenör dağılımı

9.2.4 Termogravimetrik Analiz ve Differansiyel Termal Analiz

TGA / DTA eşzamanlı ölçümlerdir. Numunenin ağırlık değişimi ve referans ile arasındaki sıcaklık farkı kontrollü bir sıcaklık programı kullanılarak ölçülmüştür. Numunenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen termal ve gravimetrik değişimlerinin belirlenmesi için Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Laboratuvarlarında Rigaku marka TGA/DTA analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 9.13 -3 mm kolemanit numunesinin TGA grafiği



Şekil 9.14 -3mm üleksit numunesinin TGA grafiği

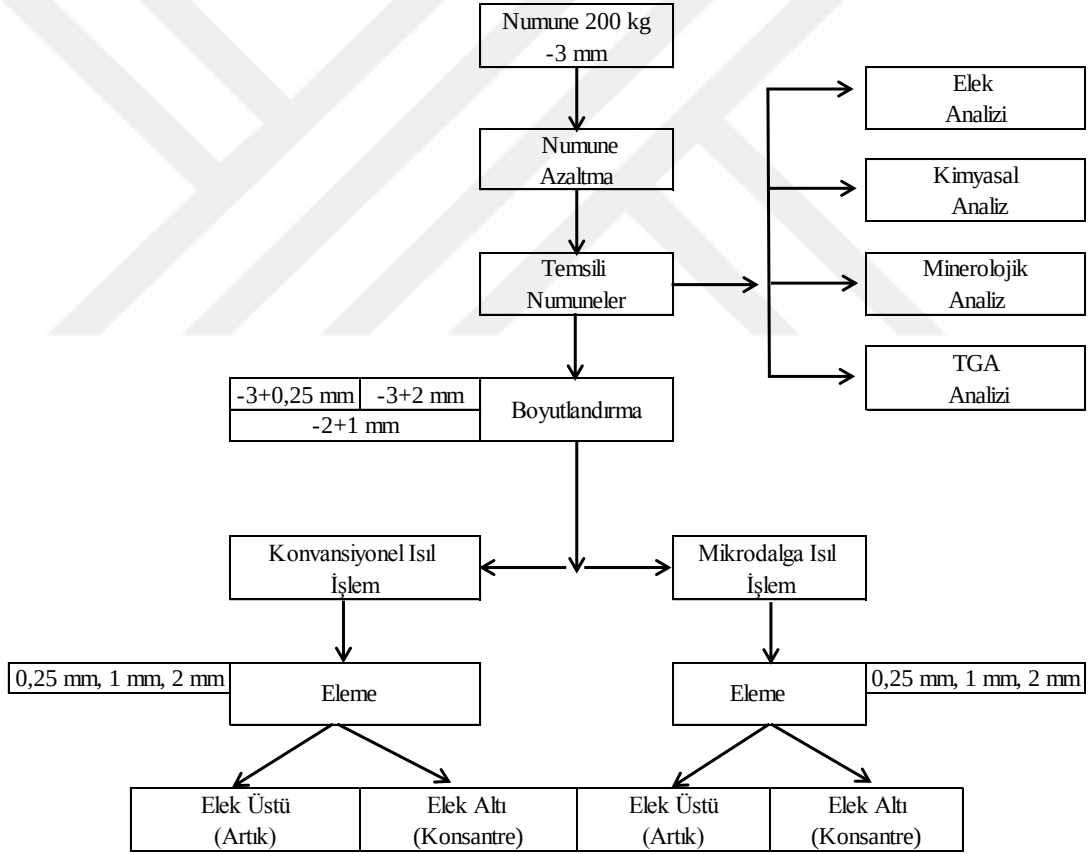
Yapılan termogravimetrik ölçümler neticesinde, -3 mm kolemanit numunesinin yaklaşık 100 °C’de bünyedeki suyunu kaybetmeye başladığı ve 400 °C’de numunede %2,5 civarında bir kütle kaybı olduğu görülmüştür. 400 °C’de numune kristal suyunu kaybetmeye başlamış ve kristal suyu kaybindan dolayı 450 °C’deki kütle kaybı %9,05 olmuştur. Numune 600 °C’ye kadar kristal suyunu hızlı bir şekilde kaybetmiş ve bu noktadan sonra 700 °C’ye kadar kütle kaybı yavaşlamıştır. Numune 700 °C ve 800 °C arasında bir miktar daha kristal suyunu kaybetmiş ve 800 °C’de kütle kaybı sabitlenmiştir. 800 °C’deki kristal suyu toplam kütle kaybı %24,72’dir.

Üleksit numunesinin termogravimetrik ölçümlerinde ise numunenin sıcaklık değişkeni karşısında farklı davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Buna göre; numunenin 100 °C’de bünyedeki suyu kaybetmeye başladığı ve 180 °C’de numunede %3,71 civarında bünye suyunun uzaklaşmasından dolayı bir kütle kaybı olduğu görülmüştür. 180 °C numune, kristal suyunu kaybetmeye başlamış ve 200 °C’deki kütle kaybı kristal suyunu kaybetmesinden dolayı %4,77 olmuştur. 200 °C’den sonra kristal suyu kaybı yavaşlamış ve 400 °C’ye kadar devam etmiştir. Daha sonra numune 420 °C’ye kadar kristal suyu kütle kaybı hızlanmış ve 860 °C’ye kadar devam etmiştir. Bu noktadan sonra kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu noktaya kadar kristal suyu toplam kütle kaybı %30,97’dir.

BÖLÜM ON

DEKREPİTASYON DENEYSEL ÇALIŞMALARI VE TARTIŞMA

-3 mm kolemanit ve üleksit cevherlerinin stok alanından uygun şartlarda alınmasından sonra kimyasal, minerolojik ve elek analizleri yapılmıştır. -3 mm Kolemanit ve Üleksit cevherlerinin bünyesinde bulunan kil 0,25 mm elekten elenerek uzaklaştırılmıştır. Cevherden kilin uzaklaştırılması ile birlikte cevherin B_2O_3 içeriğinin yükseltilmesi ve ayrıca dekrepitasyon işlemine girecek ürün miktarının azaltılarak enerji sarfıyatı elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 10.1 -3 mm kolemanit ve üleksit cevherleri için yapılan deneylerin akım şeması

10.1 Kolemanit Cevherlerine Uygulanan Konvansiyonel Isıl İşlemler

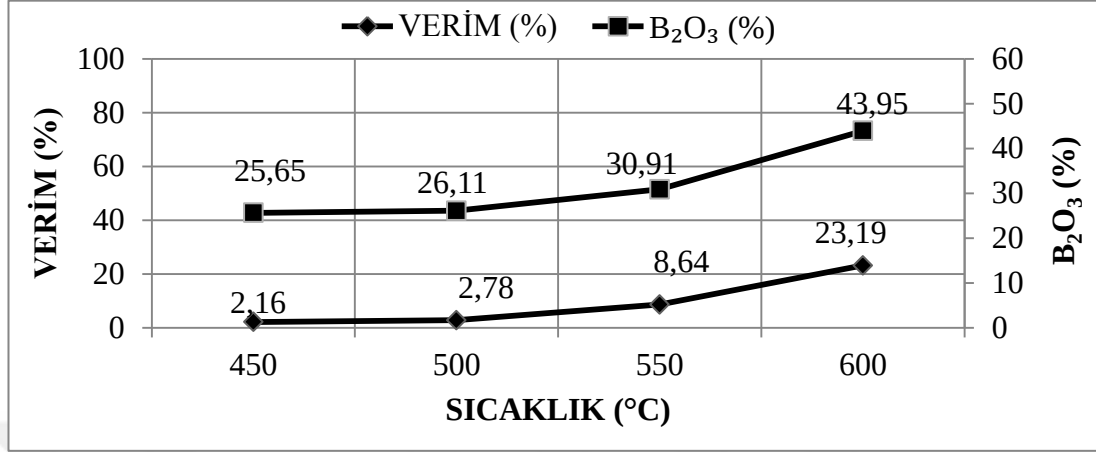
Dekrepitasyon deneyleri için daha önce 1000'er gram olarak hazırlanmış kolemanit ve üleksit temsili numunelerinden 6000 gr seçilerek ilk önce 250 mikron altı ayrılmış elek üstü dekrepitasyon deneyleri için 125'er gramlık temsili numunelere ayrılmıştır. Daha sonra temsili numuneler dekrepitasyon işlemine tabi tutulmuş sonrasında ise temsili numunelerin elek analizinde kullanılan fraksiyon aralıkları ayrıca alınarak dekrepitasyon işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde her bir fraksiyon aralığı için 450-500-550-600 °C'de metalurjik fırın kullanılarak 15-30-45-60 dakika zaman dilimleri içerisinde dekrepitasyon işlemi uygulanmıştır. Numuneler dekrepite olduktan sonra her bir fraksiyon aralığı elemeye tabi tutularak ufalanmış kolemanit ve üleksit minerallerinin elek altına geçmesi ve konsantre olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Elek üzerinden ise agregalaşmış ve boyut kazanmış gang minerallerinin artık olarak alınması amaçlanmıştır.

İnce taneli kolemanit ve üleksit cevherlerinin konvansiyonel ısıtma işlemi dekrepitasyonu çalışmaları kapsamında aşağıda görülen **Protherm** marka metalurjik fırın kullanılmıştır. Dekrepitasyon çalışmalarında, ince taneli konsantre bor cevheri numuneleri, sac bir kap içerisine bütün numuneyi temsil edecek şekilde yaklaşık 125 gr olarak konulduktan sonra 450-500-550-600 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır.



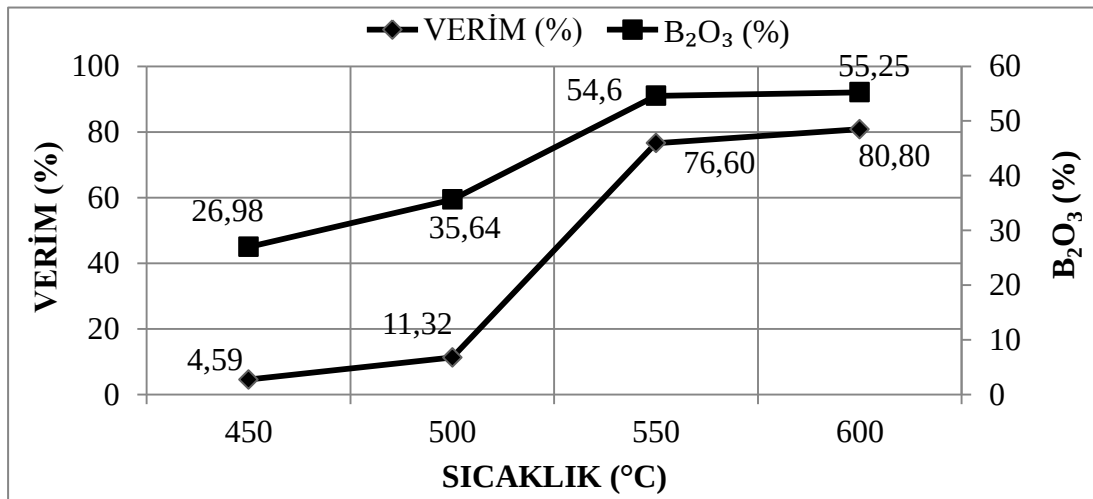
Şekil 10.2 Kolemanit ve üleksit cevherlerinin konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde kullanılan metalurjik fırın (Kişisel arşiv, 2019)

10.1.1 -3+0,25mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



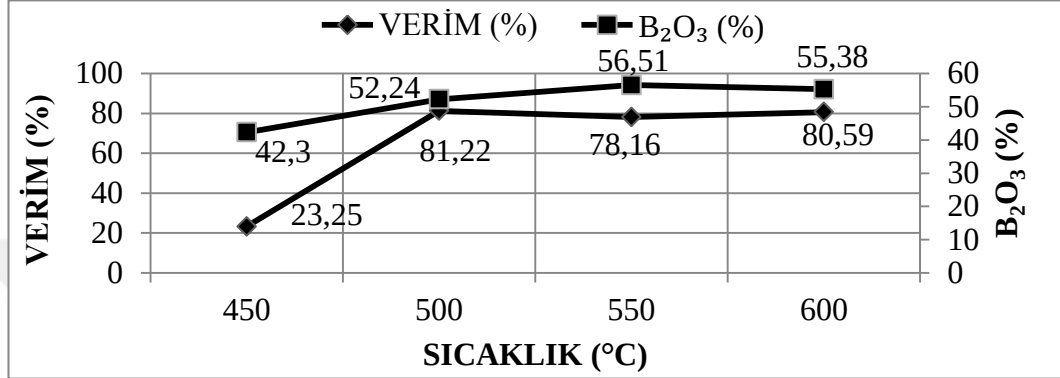
Şekil 10.3 15 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.3’de görüldüğü üzere 125 gr temsili kolemanit numunesi ile Protherm marka metalurjik fırında 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %2,16 verimle %25,65 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %2,78 verimle %26,11 B₂O₃, %8,64 verimle %30,91 B₂O₃ , %23,19 verimle %43,95 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



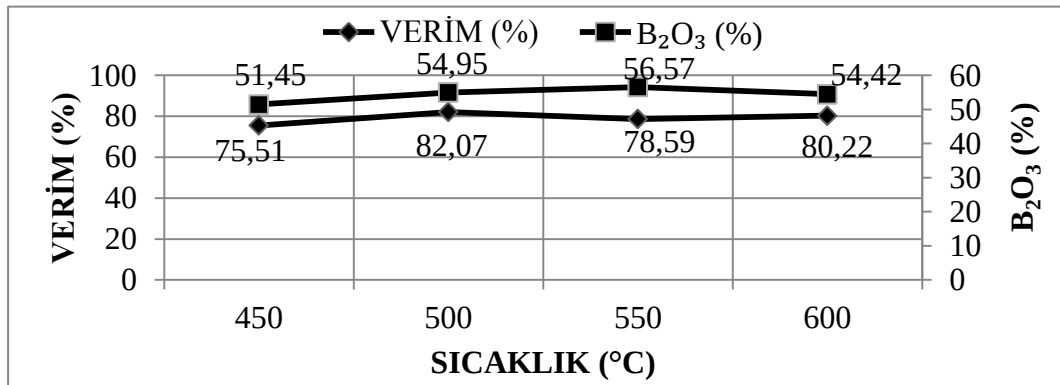
Şekil 10.4 30 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.4’de 30 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,59 verimle %26,98 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %11,32 verimle %35,64 B₂O₃ , %76,60 verimle %54,60 B₂O₃ , %80,80 verimle %55,25 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.5 45 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.5’de 45 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %23,25 verimle 42,30 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %81,22 verimle %52,24 B₂O₃ , %78,16 verimle %56,51 B₂O₃ , %80,59 verimle %55,38 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.6 60 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.6’da 60 dakika süre ile 450 °C⁰ ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %75,51 verimle %51,45 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %82,07 verimle %54,95 B₂O₃ , %78,59 verimle %56,57 B₂O₃ , %80,22 verimle %54,42 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

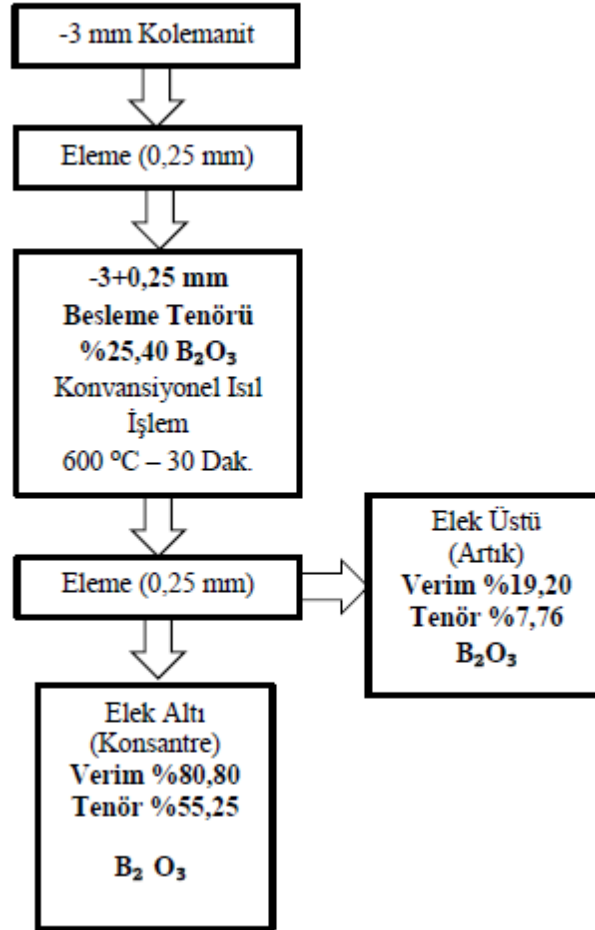
-3+0.25 mm kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtılma deneylerinde, 450 °C⁰ de numunede çok düşük oranda dekrepitasyonun gerçekleştiği ve sıcaklığın artması ile birlikte kolemanitin parçalanma hızının artarak devam ettiği görülmektedir. B₂O₃ verim ve tenörünün 600 °C de maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Sıcaklık değişkeninin bu bariz etkisi yanında deney süresi ise sıcaklık değişkeni gibi doğrusal bir etki göstermemiş ve -3+0.25 mm tane boyutu için maksimum değer 30 dakika sonunda elde edilmiştir. Genel itibarı ile 600 °C de 30 dakika ve 60 dakika işlem sonucunda verim ve tenör değerleri oldukça yakın elde edildiğinden -3+0.25 mm gibi geniş boyut aralıklı fraksiyon için konvansiyonel ısıtılma işlemin yüksek zaman dilimlerinde uygulanması gereksiz ve sonuca etkisi olmayan bir uygulama olacaktır. Enerji maliyetleri açısından düşünüldüğünde bu fraksiyon için kısa zamanlarda gerçekleşen dekrepitasyon parçalanması elde edilecek kalsine ürün açısından avantaj teşkil etmektedir.

Tablo 10.1 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtılma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-3+0,25 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	24,84	100	100	24,46	100	100	24,46	100	100	24,52	100
	KONSANTRE	2,1	25,65	2,16	2,61	26,11	2,78	6,84	30,91	8,64	12,94	43,95	23,19
	ARTIK	97,9	24,83	97,84	97,39	24,42	97,22	93,16	23,99	91,36	87,06	21,64	76,81
30	BESLEME	100	24,3	100	100	24,60	100	100	25,01	100	100	25,4	100
	KONSANTRE	4,14	26,98	4,59	7,83	35,64	11,34	35,09	54,6	76,6	37,15	55,25	80,80
	ARTIK	95,86	24,19	95,41	92,17	23,66	88,66	64,91	9,02	23,4	62,85	7,76	19,20
45	BESLEME	100	23,13	100	100	25,49	100	100	25,77	100	100	23,56	100
	KONSANTRE	12,72	42,3	23,25	39,64	52,24	81,22	35,65	56,51	78,16	35,57	53,38	80,59
	ARTIK	87,28	20,34	76,76	60,36	7,93	18,78	64,35	8,75	21,84	64,43	7,1	19,41
60	BESLEME	100	25,4	100	100	26,28	100	100	25,66	100	100	24,32	100
	KONSANTRE	37,28	51,45	75,51	39,26	54,95	82,07	35,65	56,57	78,59	35,85	54,42	80,22
	ARTIK	62,72	9,92	24,49	60,74	7,76	17,93	64,35	8,54	21,41	64,15	7,50	19,78

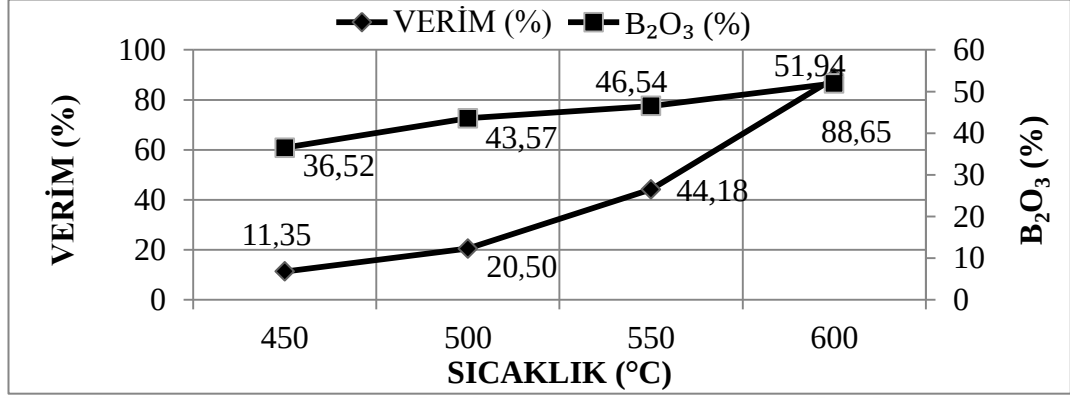


Şekil 10.7 Konvansiyonel ısıt işlem sonrası kolemanit elek üstü ve elek altı görüntüsü (Kişisel arşiv, 2019)



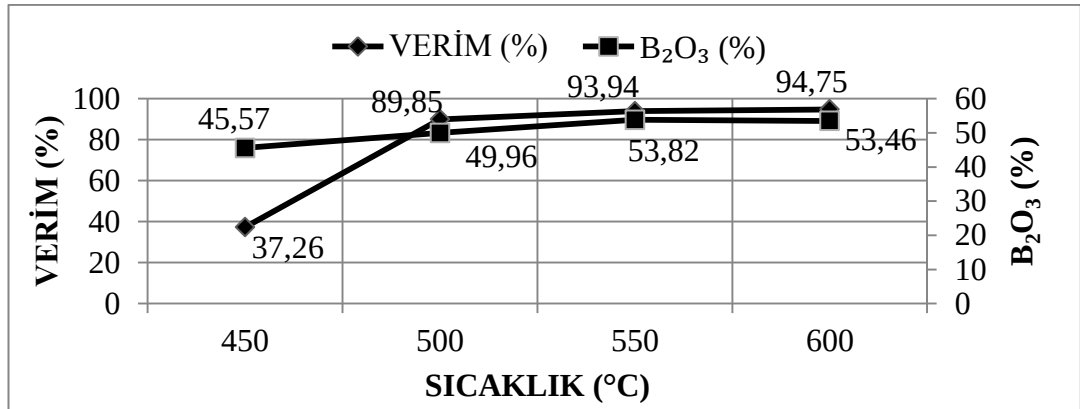
Şekil 10.8 -3+0,25 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

10.1.2 -3+2 mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



Şekil 10.9 15 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

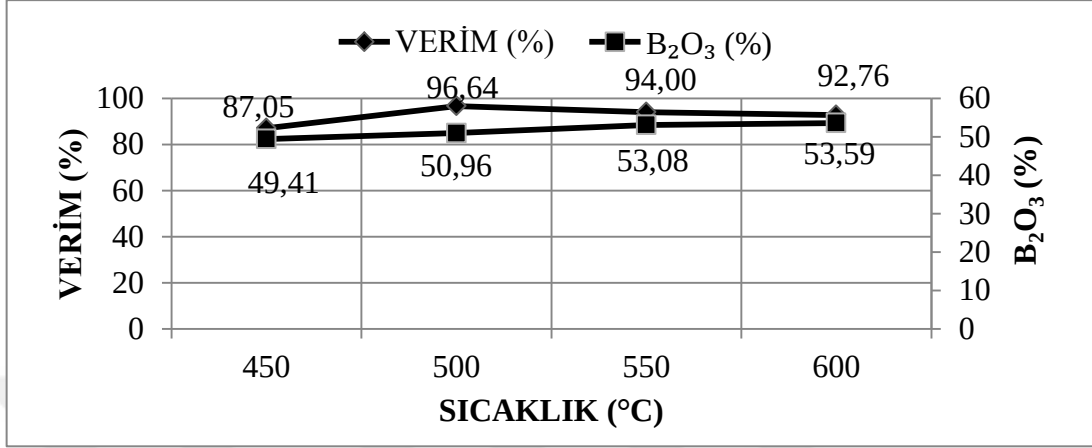
Şekil 10.9’da 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %11,35 verimle %36,52 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %20,50 verimle %43,57 B₂O₃ , %44,18 verimle %46,54 B₂O₃ , %88,65 verimle %51,94 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.10 30 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

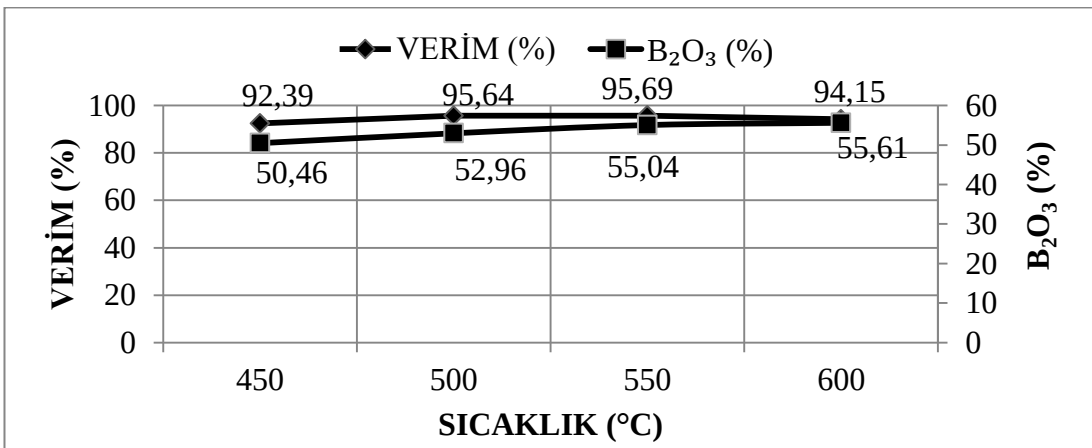
Şekil 10.10’da 30 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %37,26 verimle %45,57 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %89,85

verimle %49,96 B_2O_3 , %93,94 verimle %53,82 B_2O_3 , %94,75 verimle %53,46 B_2O_3 tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



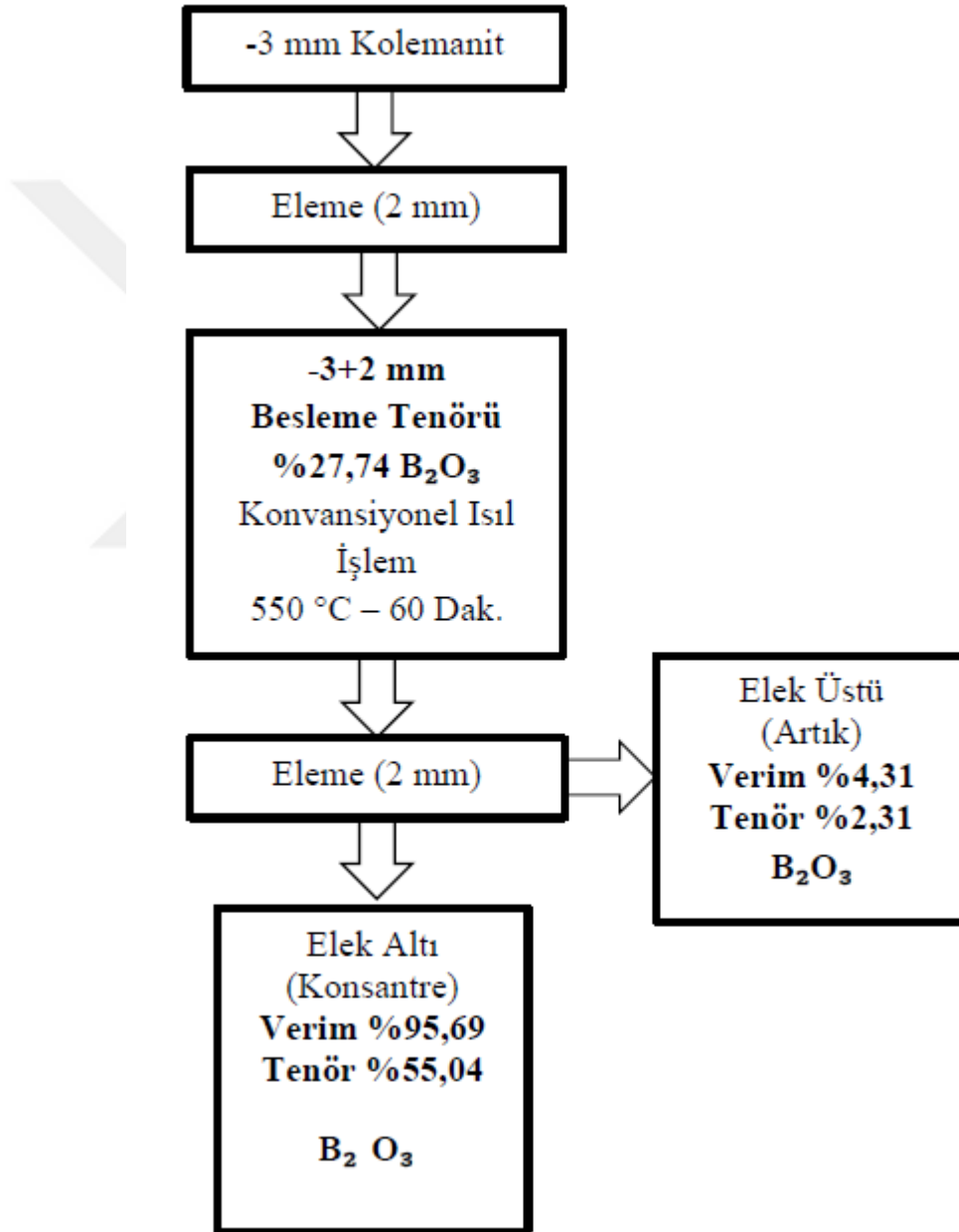
Şekil 10.11 45 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.11’da 45 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %87,05 verimle %49,41 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. 45 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %96,64 verimle %50,96 B_2O_3 , %94,00 verimle %53,08 B_2O_3 , %92,76 verimle %53,59 B_2O_3 tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.12 60 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtım işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.12’de 60 dakika süre ile 450 °C⁰ ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %92,39 verimle %50,46 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %95,64 verimle %52,96 B₂O₃ , %95,69 verimle %55,04 B₂O₃ , %94,15 verimle %55,61 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

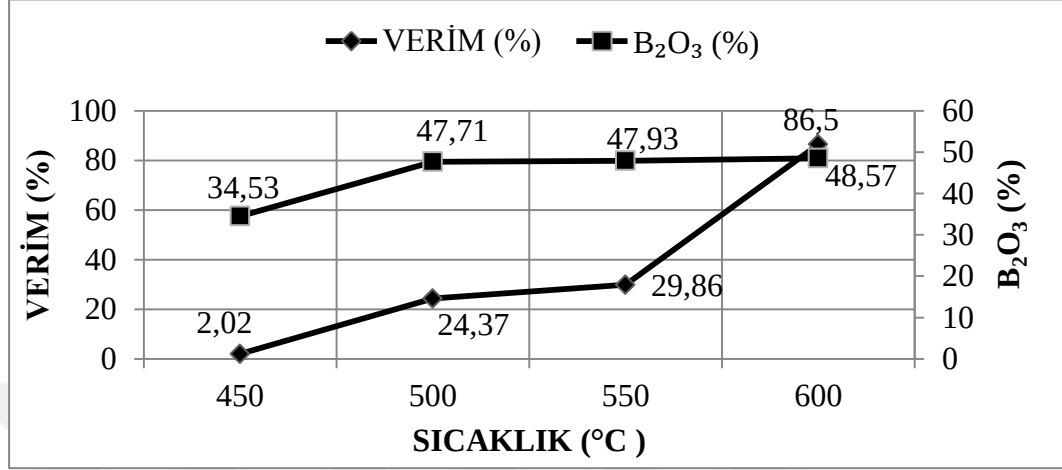


Şekil 10.13 -3+2 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısı işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

Tablo 10.2 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtılma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

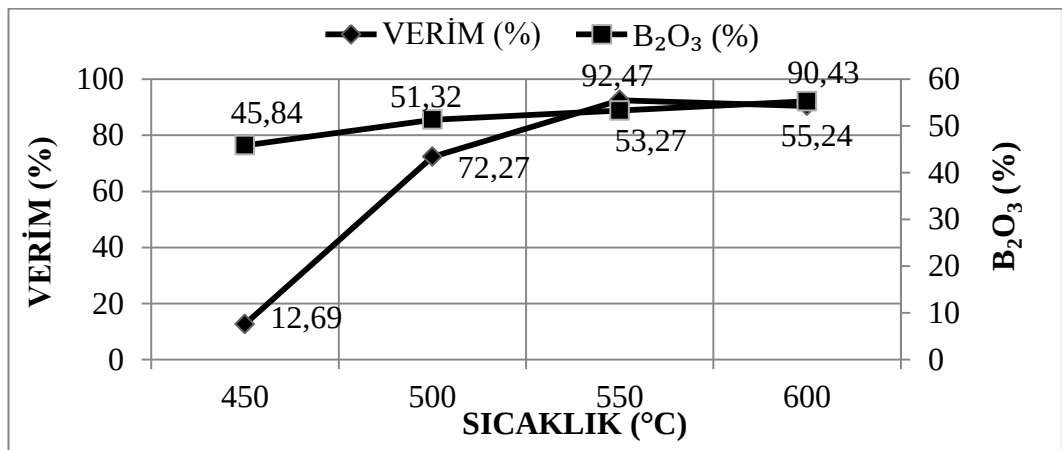
-3+2 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	24,99	100	100	25,01	100	100	25,28	100	100	25,68	100
	KONSANTRE	7,77	36,52	11,35	11,77	43,57	20,5	24	46,54	44,18	43,82	51,94	88,65
	ARTIK	92,23	24,02	88,65	88,23	22,54	79,5	76	18,57	55,82	56,18	5,19	11,35
30	BESLEME	100	25,87	100	100	26,37	100	100	26,65	100	100	27,22	100
	KONSANTRE	21,16	45,57	37,26	47,43	49,96	89,85	46,52	53,82	93,94	48,24	53,46	94,75
	ARTIK	78,84	20,59	62,74	52,57	5,09	10,15	53,48	3,02	6,06	51,76	2,76	5,25
45	BESLEME	100	25,3	100	100	25,08	100	100	24,39	100	100	24,13	100
	KONSANTRE	44,57	49,41	87,05	47,57	50,96	96,64	43,19	53,08	94	41,78	53,59	92,76
	ARTIK	55,43	5,91	12,95	52,43	1,61	3,36	56,81	2,58	6	58,22	3,00	7,24
60	BESLEME	100	24,61	100	100	26,02	100	100	27,74	100	100	26,65	100
	KONSANTRE	45,06	50,46	92,39	46,99	52,96	95,64	48,24	55,04	95,69	45,13	55,61	94,15
	ARTIK	54,94	3,41	7,61	53,01	2,14	4,36	51,76	2,31	4,31	54,87	2,84	5,85

10.1.3 -2+1 mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



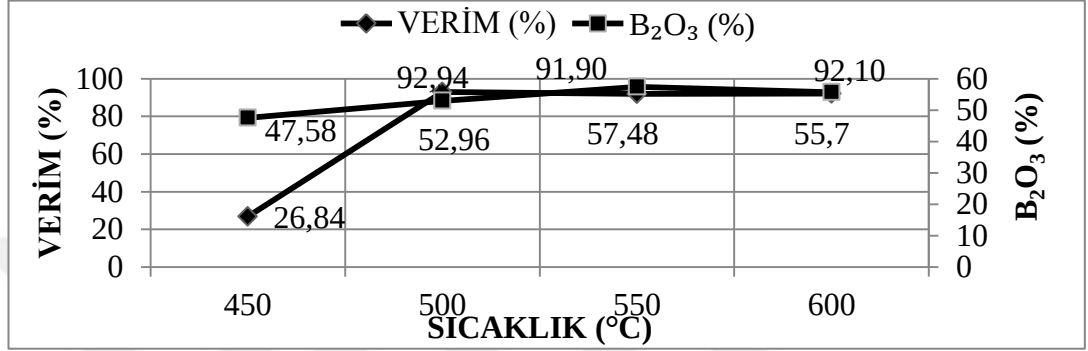
Şekil 10.14 15 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.14’de görüldüğü üzere 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %2,02 verimle %34,53 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %24,37 verimle %47,71 B₂O₃ , % 29,86 verimle %47,93 B₂O₃ , %86,5 verimle %48,57 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



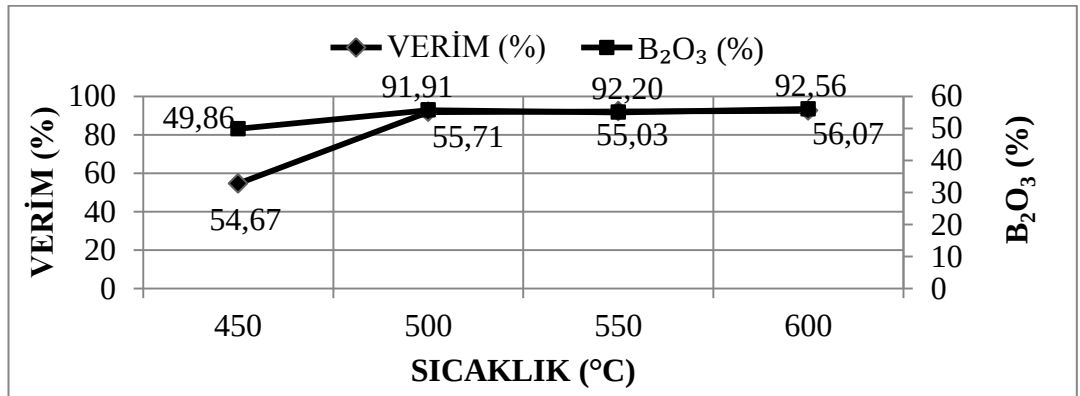
Şekil 10.15 30 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.15’de görüldüğü üzere 30 dakika süre ile 450 C⁰ ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra % 12,69 verimle %45,84 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika dekrepitasyon işlemi 500 C⁰, 550 C⁰, 600 C⁰ ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %72,27 verimle %51,32 B₂O₃ , %92,47 verimle %53,27 B₂O₃ , %90,43 verimle %55,24 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



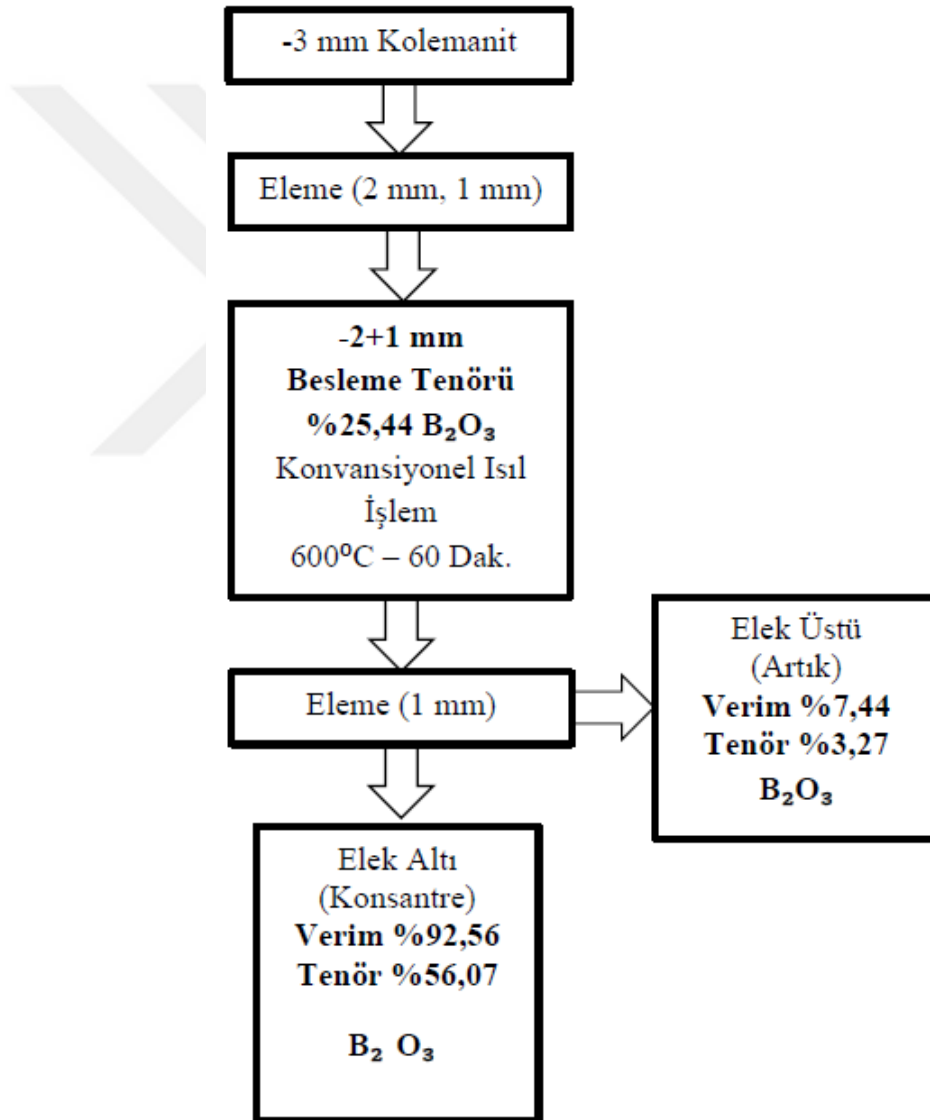
Şekil 10.16 45 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

45 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %26,84 verimle %47,58 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 45 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %92,94 verimle %52,96 B₂O₃ , %91,90 verimle %57,48 B₂O₃ , %92,10 verimle %55,7 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.17 60 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

60 dakika süre ile 450 °C 'de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %54,67 verimle %49,86 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C 'de de uygulanmış ve sırasıyla %91,91 verimle %55,71 B₂O₃ , %92,20 verimle %55,03 B₂O₃ , %92,56 verimle %56,07 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.18 -2+1 mm kolemanit cevherlerine konvansiyonel ısı işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

Tablo 10.3 -2+1mm tane boyutlu kolemanit numunesinin konvansiyonel ısıtılma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-2+1 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	23,2	100	100	23,33	100	100	23,64	100	100	21,94	100
	KONSANTRE	1,36	34,53	2,02	11,92	47,71	24,37	14,74	47,93	29,86	39,09	48,57	86,50
	ARTIK	98,64	23,06	97,98	88,08	20,03	75,63	85,26	19,45	70,14	60,91	4,86	13,50
30	BESLEME	100	23,24	100	100	24,31	100	100	24,71	100	100	24,78	100
	KONSANTRE	6,44	45,84	12,69	34,25	51,32	72,27	42,91	53,27	92,47	40,58	55,24	90,43
	ARTIK	93,56	21,7	87,31	65,75	10,26	27,73	57,09	3,26	7,53	59,42	3,99	9,57
45	BESLEME	100	23,95	100	100	25,09	100	100	26,08	100	100	24,68	100
	KONSANTRE	13,52	47,58	26,84	44,04	52,96	92,94	41,71	57,48	91,90	40,81	55,7	92,10
	ARTIK	86,48	20,27	73,16	55,96	3,17	7,06	58,29	3,62	8,10	59,19	3,29	7,90
60	BESLEME	100	23,31	100	100	25,79	100	100	25,41	100	100	25,44	100
	KONSANTRE	25,56	49,86	54,67	42,55	55,71	91,91	42,59	55,03	92,20	42	56,07	92,56
	ARTIK	74,44	14,2	45,33	57,45	3,63	8,09	57,41	3,45	7,80	58	3,27	7,44

-3+2 mm tane boyutlu numunenin konvansiyonel ısıtım deneylerinde dekrepitasyon hızı ve miktarının -3+0.25 mm tane boyutuna göre daha düşük sıcaklık seviyelerinde gerçekleştiği ve 550 °C maksimum seviye ulaştığı görülmüştür. -3+2 ve -2+1 mm tane boyutlu dar aralıklı numunelerde her ne kadar nicelik olarak maksimum verim ve tenör 550 ve 600 °C de gerçekleşse de numunenin 450 °C de gösterdiği parçalanma hızı ve miktarı oldukça yüksek ve üzerinde durulması gereken verim ve tenör değerleridir.

-3 mm kolemanit numuneleri için konvansiyonel ısıtım işlemi kullanılarak yapılan deneyler neticesinde, -3+0,25 gibi geniş tane boyut aralığında elde edilen verimin daha iri tane boyut aralıklarına göre daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, 0,25 mm üzerinde kalan artık kısmında, ısı enerjisi altında az miktarda parçalanmış Kolemanit taneleri elek altına geçememektedir, 0,25 mm'lik elekten elenince B₂O₃ kazanma verimi %80'ler civarında kalmış, tenör ise % 54'ler seviyesini bulmuştur, Dekrepitasyon sonrası eleme veriminin artırılması için daha üst elek açıklıkları tercih edilebilir ancak bu durumda -3+0,25 mm boyut aralığının özellikle ince tanelerine yakın kısımlarda safsızlıkların fazla olması nedeni ile konsantre tenörü düşecektir.

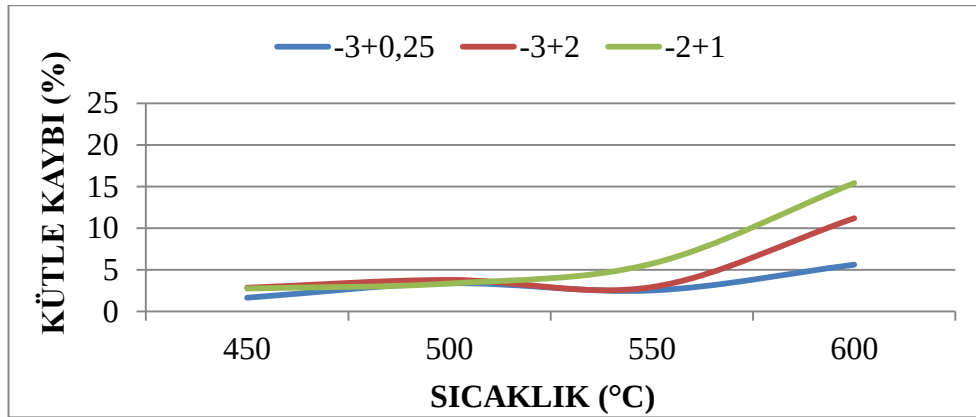
10.1.4 Kolemanit Numunelerinin Konvansiyonel Isıtım Deneylerinde Kütle Kayıpları

Kolemanit numunelerinin 15 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıtım deneylerinde şekil 10.19'da görüldüğü üzere 3 farklı fraksiyonun 450-550 °C arasında kütle kayıplarının neredeyse paralel bir şekilde seyrettiğini ancak 550 °C'den sonra -2+1 mm tane boyutlu numunenin kütle kayıp hızının artarak 600 °C'de %15,41 seviyesinde gerçekleştiği, -3+2 mm tane boyutlu numunenin kütle kaybının %11,18'de kaldığı ve -3+0,25 mm tane boyutlu numunenin kütle kaybının %5,6 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

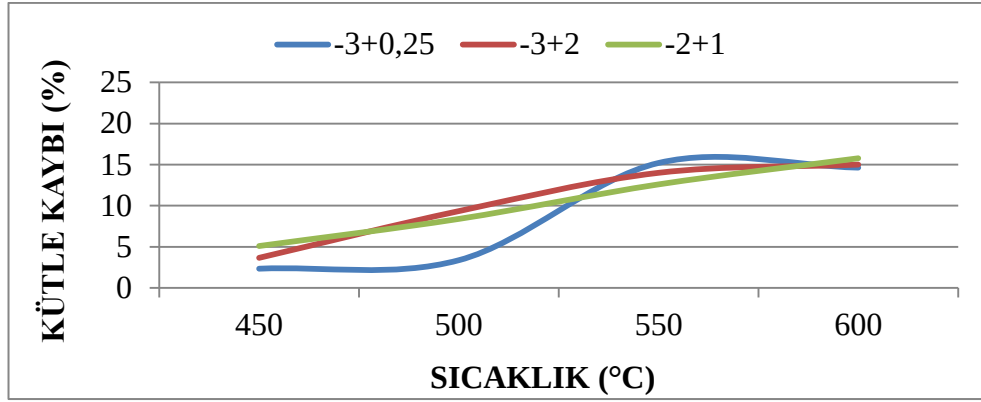
Kolemanit numunelerinin 30 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde şekil 10.20’de görüldüğü üzere -3+2 mm ve -2+1 mm tane boyutlarındaki numunelerin 450-600 °C sıcaklık aralığındaki kütle kayıplarının tamamında eşit düzeyde kaldığı ve 600 °C’de her ikisinin de %16 civarında gerçekleştiği izlenmiştir. -3+0,25 mm tane boyutlu numunenin kütle kaybı 450-500 °C sıcaklık aralığında %4 civarında gerçekleşirken 500 °C’den sonra hızla artarak diğer fraksiyonlardaki kütle kayıplarını yakalayarak 600 °C %16 olarak gerçekleşmiştir.

Kolemanit numunelerinin 45 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde şekil 10.21’de görüldüğü üzere -2+1 ve -3+0,25 mm tane boyutlarındaki kütle kaybı 450 °C’de %5 civarında, 600 °C’de %16 civarında gerçekleşirken. -3+2 mm boyutlu numunenin 600 °C’de %18,55 olarak gerçekleşmiştir.

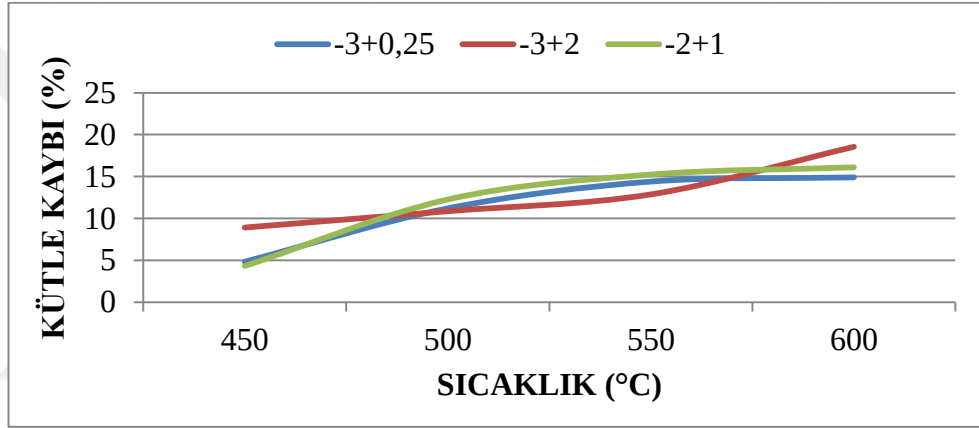
Kolemanit numunelerinin 60 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde şekil 10.22’de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2 ve -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 °C’de kütle kayıplarının sırasıyla %16,56, %18,55, ve %15,76 olarak gerçekleşmiştir.



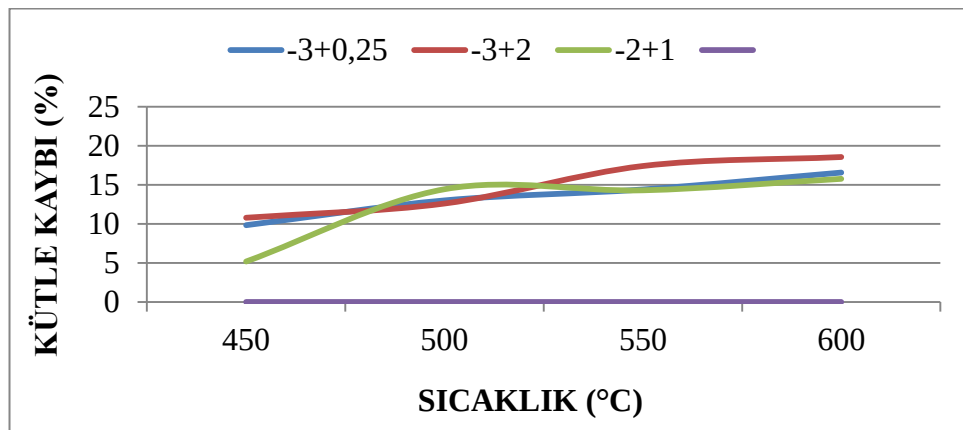
Şekil 10.19 Konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.20 Konvansiyonel ısıtım deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.21 Konvansiyonel ısıtım deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 45 dakika sonundaki kütle kayıpları

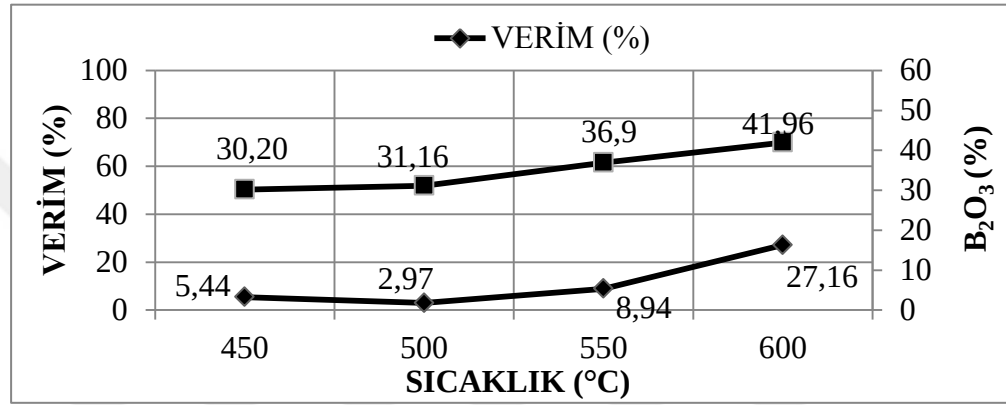


Şekil 10.22 Konvansiyonel ısıtım deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 60 dakika sonundaki kütle kayıpları

10.2 Üleksit Cevherlerine Uygulanan Konvansiyonel Isıl İşlemler

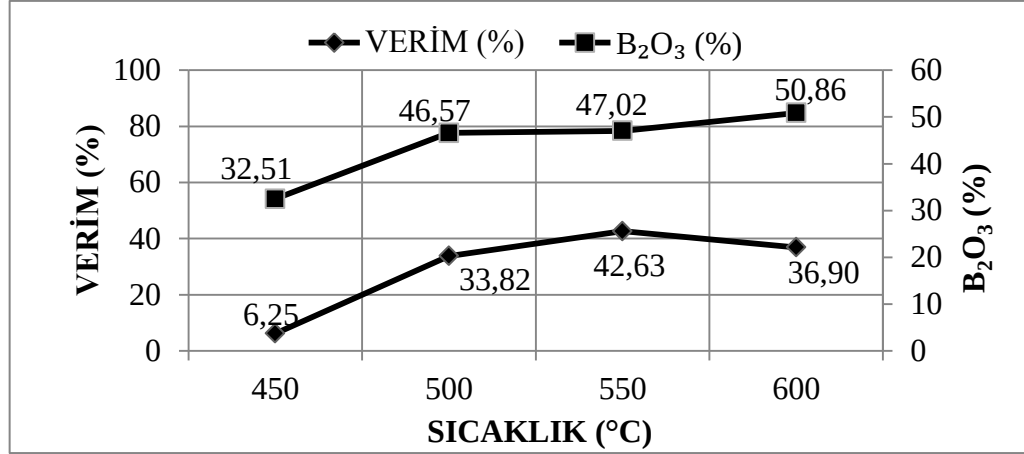
10.2.1 -3+0,25 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler

Üleksit numunesi için konvansiyonel ısıtma işlem parametreleri, kolemanit cevheri ısıtma işlem parametreleri ile aynı seçilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



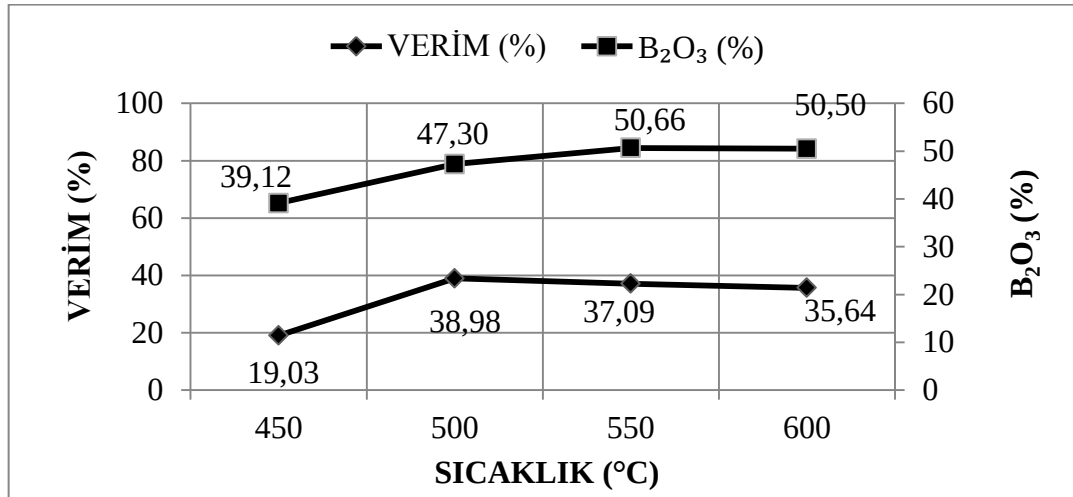
Şekil 10.23 15 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.23’de görüldüğü üzere 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %5,44 verimle %30,20 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %2,97 verimle %31,16 B₂O₃ , % 8,94 verimle %36,9 B₂O₃ , %27,16 verimle %41,96 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.24 30 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

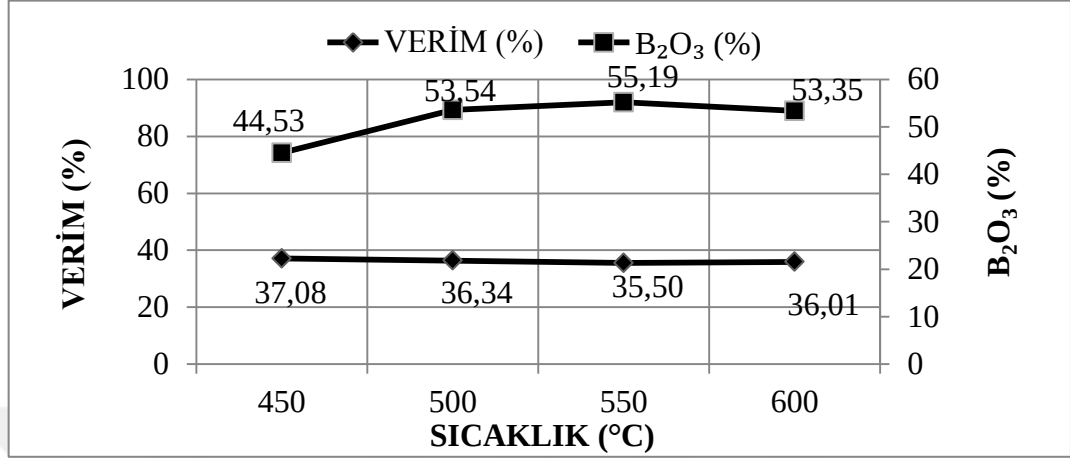
30 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %6,25 verimle %32,51 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %33,82 verimle %46,57 B₂O₃ , %42,63 verimle %47,02 B₂O₃ , %36,90 verimle %50,86 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.25 45 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

45 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %19,03 verimle %39,12 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 45 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %38,98 verimle %

47,30 B₂O₃ , %37,09 verimle %50,66 B₂O₃ , %35,64 verimle %50,50 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

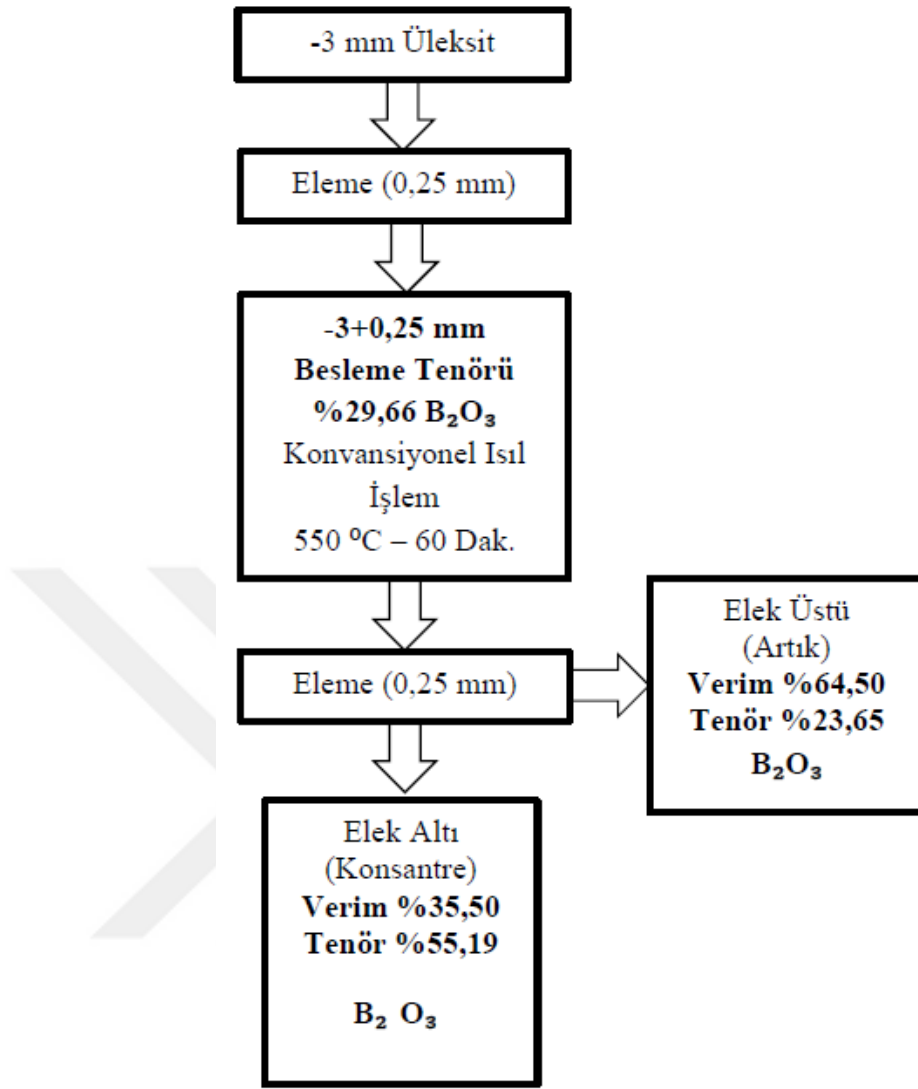


Şekil 10.26 60 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

60 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %37,07 verimle %44,53 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %36,33 verimle %53,54 B₂O₃ , %35,50 verimle %55,19 B₂O₃ , %35,89 verimle %53,35 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

Tablo 10.4 -3+0,25 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıt işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

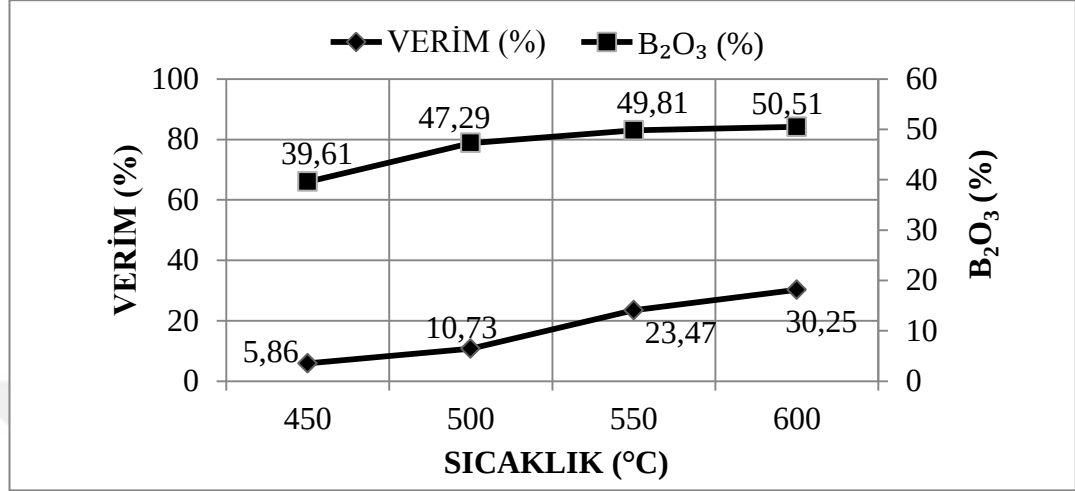
-3+0,25 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	28,3	100	100	29,73	100	100	28,25	100	100	29,56	100
	KONSANTRE	5,1	30,2	5,44	2,84	31,16	2,97	6,85	36,9	8,94	19,14	41,96	27,16
	ARTIK	94,9	28,2	94,56	97,16	29,69	97,03	93,14	27,61	91,06	80,85	26,64	72,84
30	BESLEME	100	26,85	100	100	25,72	100	100	26,2	100	100	29,34	100
	KONSANTRE	5,18	32,51	6,25	18,68	46,57	33,82	23,76	47,02	42,63	21,29	50,86	36,9
	ARTIK	94,82	26,55	93,75	81,32	20,93	66,18	76,23	19,72	57,36	78,71	23,52	63,1
45	BESLEME	100	28,02	100	100	26,09	100	100	28,83	100	100	30,78	100
	KONSANTRE	13,63	39,12	19,03	21,5	47,3	38,98	21,11	50,66	37,09	21,73	50,5	35,64
	ARTIK	86,37	26,27	80,97	78,5	20,28	61,02	78,89	22,99	62,91	78,27	25,31	64,36
60	BESLEME	100	27,44	100	100	31,52	100	100	29,66	100	100	29,57	100
	KONSANTRE	22,85	44,53	37,08	21,4	53,54	36,34	19,09	55,19	35,5	19,96	53,35	36,01
	ARTIK	77,16	22,38	62,92	78,6	25,53	63,66	80,91	23,65	64,5	80,04	23,64	63,99



Şekil 10.27 -3+0,25 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısı işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

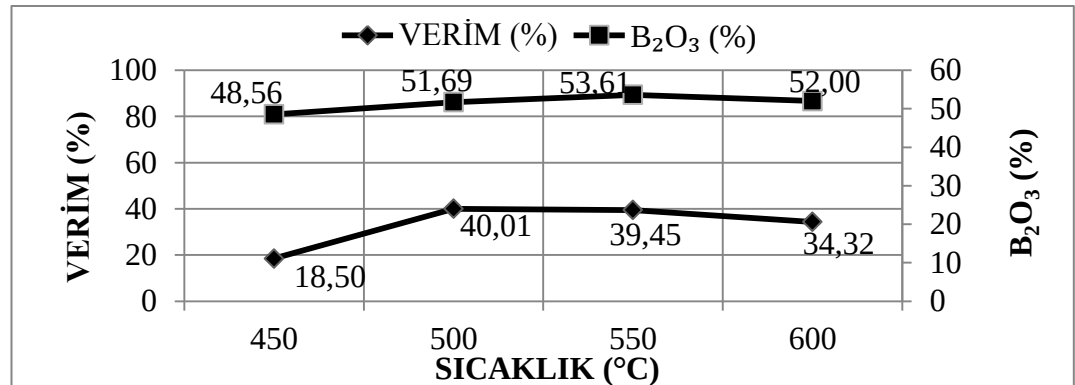
Üleksit numuneleri ile yapılan konvansiyonel ısı işlem deneylerinde kolemanit numunelerine göre oldukça farklı bir dekrepitasyon miktarı vardır. Dekrepitasyon hızı düşük sıcaklıklarda oldukça yüksek seyrederken dekrepitasyonun miktarı oldukça düşük kalmıştır. Tamamen üleksit mineralinin kristal yapısından kaynaklanan bu durumun üleksitin kazanma verimini oldukça düşürdüğü görülmektedir. Üleksit kristal suyunun genleşmeyerek kolemanit mineralinde izlenen fiziksel dağılmaların olmaması ve üleksitin ısı işlem ile zenginleştirilmesinde bir engel olduğu bilgisi ışığında, tenör açısından %50 üzerine varan bir tenör elde edilmesi, ısı işlem zenginleştirilmesi bu cevherler için avantaj teşkil etmektedir.

10.2.2 -3+2 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



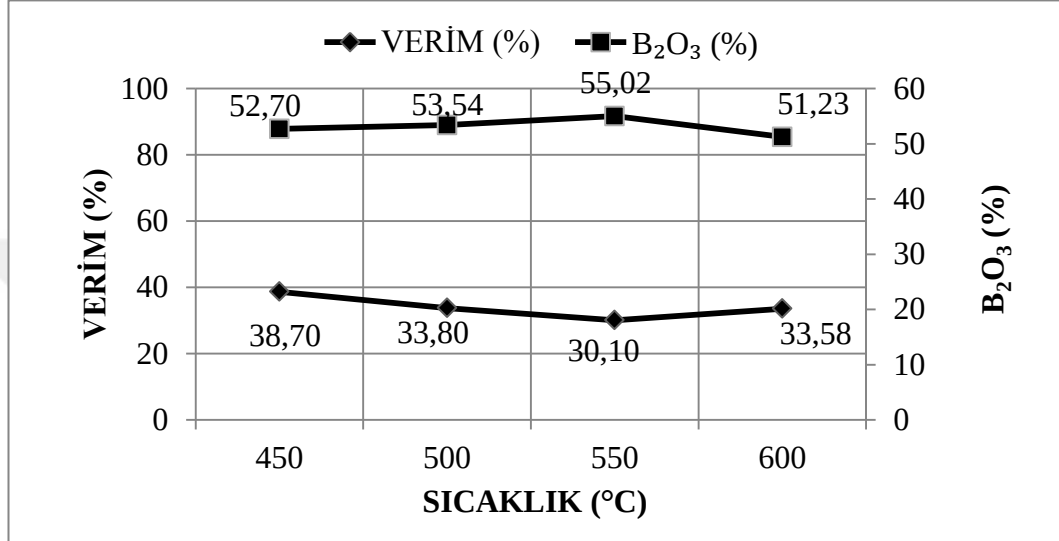
Şekil 10.28 15 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.28’de görüldüğü üzere 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %5,86 verimle %39,61 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %10,73 verimle %47,29 B₂O₃ , %23,47 verimle %49,81 B₂O₃ , %30,25 verimle %50,51 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



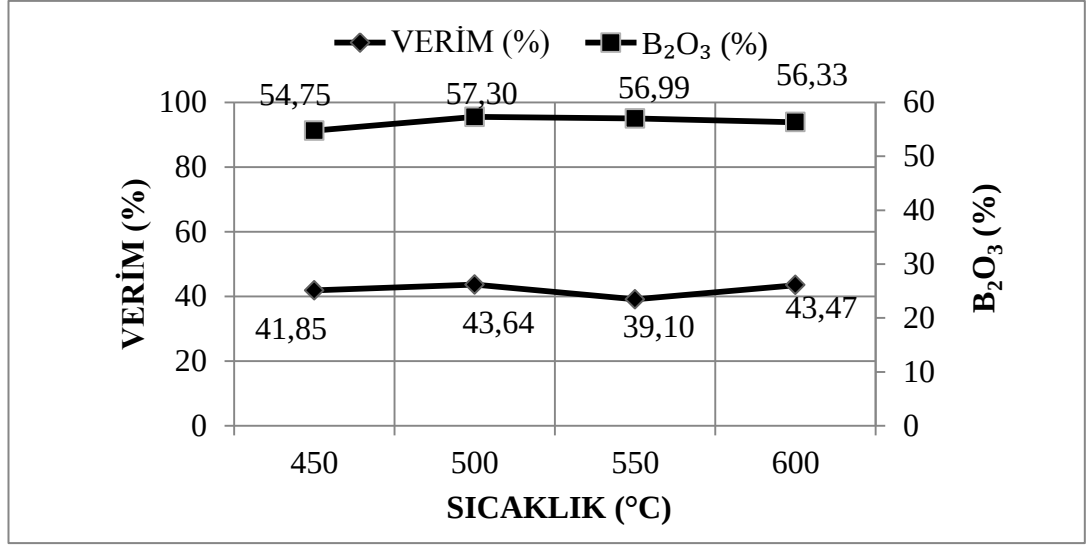
Şekil 10.29 30 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.29’da görüldüğü üzere 30 dakika süre ile 450 °C’de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %18,50 verimle %48,56 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %40,01 verimle %51,69 B₂O₃ , %39,45 verimle %53,61 B₂O₃ , %34,32 verimle %52,00 B₂O₃ konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.30 45 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.30’de görüldüğü üzere 45 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %38,70 verimle %52,70 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 45 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %33,80 verimle %53,54 B₂O₃ , %30,10 verimle %55,02 B₂O₃ , %33,58 verimle %51,23 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



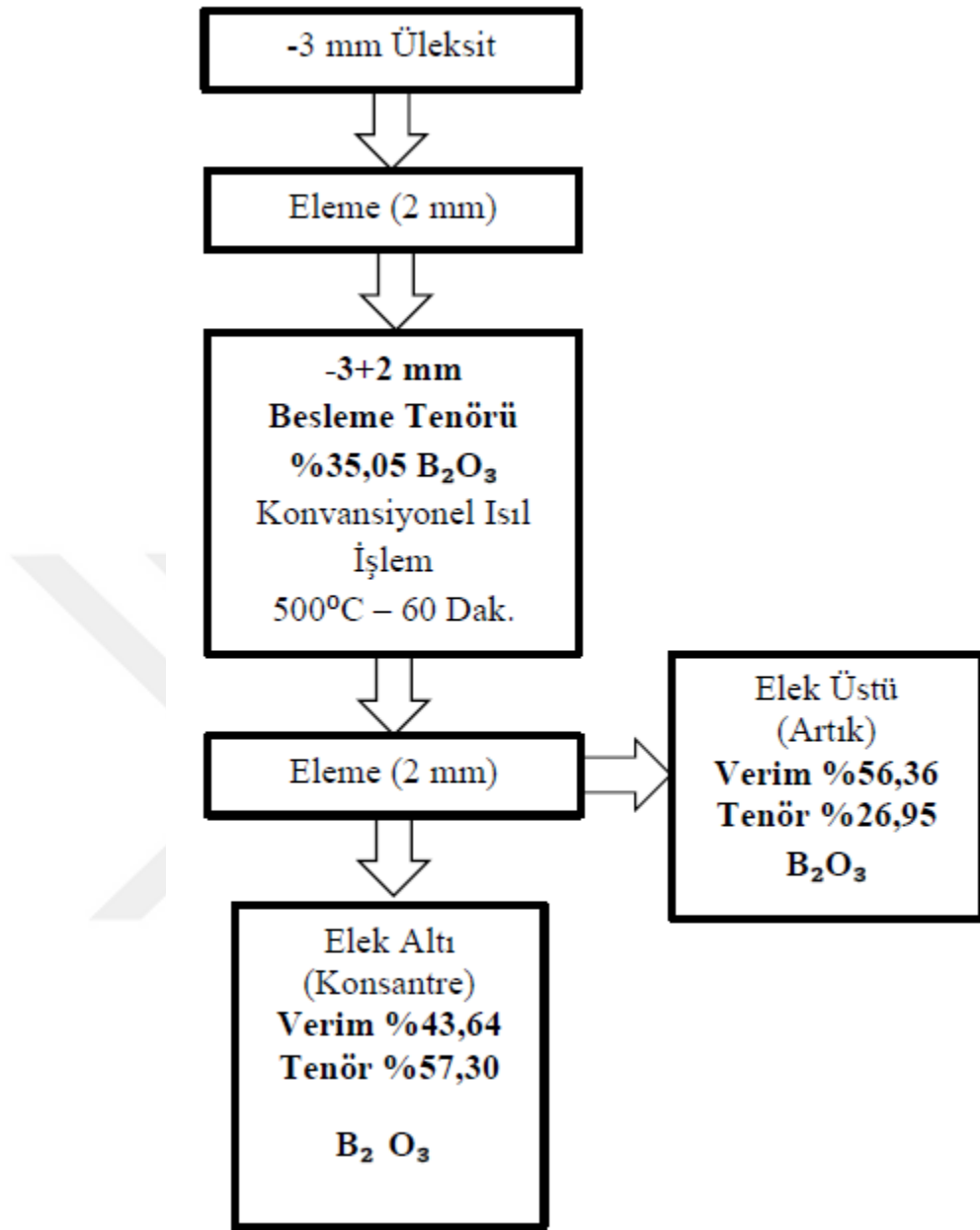
Şekil 10.31 60 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.31’de görüldüğü üzere 60 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %41,85 verimle %54,75 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %43,64 verimle %57,30 B₂O₃ , %39,10 verimle %56,99 B₂O₃ , %43,47 verimle %56,33 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

-3+2 mm üleksit numunesinin parçalanma miktarı 60 dakika sonunda en yüksek seviyeye ulaşmış fakat sıcaklık değişkeni açısından düşünüldüğünde 450 ile 600 °C arasında kayda değer bir parçalanma miktarı tespit edilememiştir. Üleksit cevherleri ile ilgili kalsinasyon zenginleştirmesinde özellikle dar tane boyutlu cevherlerin maliyet açısından avantajlı olması için düşük sıcaklıklarda kalsinasyonun yapılması gerekmektedir. Sıcaklığın parçalanmaya etkisinin sınırlı kalması daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi mineralin krital yapısı ile alakalı bir durumdur.

Tablo 10.5 -3+2 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıt işleminin sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

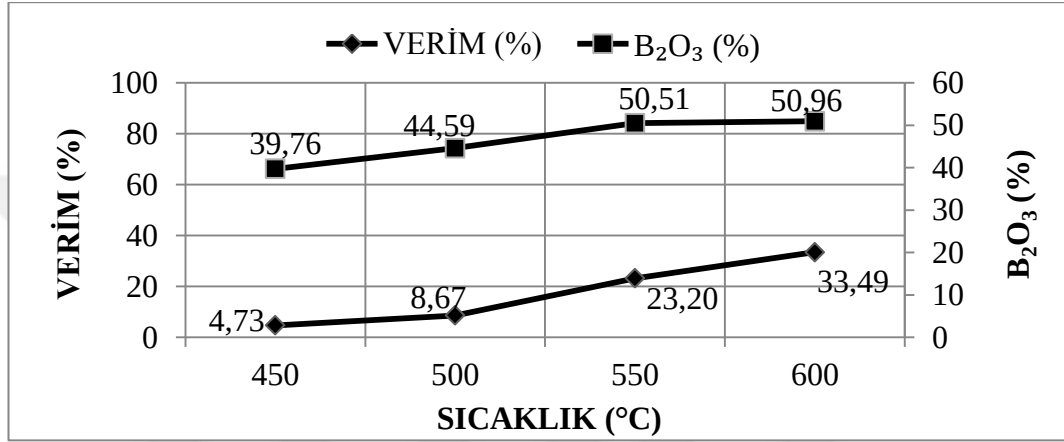
-3+2 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	31,81	100	100	33,93	100	100	35,05	100	100	35,28	100
	KONSANTRE	4,71	39,61	5,86	7,7	47,29	10,73	16,52	49,81	23,47	21,14	50,51	30,25
	ARTIK	95,29	31,43	94,14	92,29	32,82	89,27	83,48	32,13	76,53	78,86	31,2	69,75
30	BESLEME	100	34,41	100	100	30,56	100	100	33,9	100	100	35,90	100
	KONSANTRE	13,12	48,56	18,5	23,66	51,69	40,01	24,95	53,61	39,45	23,7	52	34,32
	ARTIK	86,88	32,28	81,5	76,34	24,02	59,99	75,05	27,35	60,55	76,3	30,9	65,68
45	BESLEME	100	36,35	100	100	30,51	100	100	34,77	100	100	34,39	100
	KONSANTRE	26,7	52,7	38,7	19,27	53,54	33,8	19,02	55,02	30,1	22,55	51,23	33,58
	ARTIK	73,3	30,4	61,3	80,73	25,02	66,2	80,98	30,01	69,9	77,45	29,49	66,42
60	BESLEME	100	33,85	100	100	35,05	100	100	38,28	100	100	33,82	100
	KONSANTRE	25,88	54,75	41,85	26,7	57,3	43,64	26,28	56,99	39,1	26,1	56,33	43,47
	ARTIK	74,12	26,56	58,15	73,3	26,95	56,36	73,72	31,62	60,9	73,9	25,87	56,53



Şekil 10.32 -3+2 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

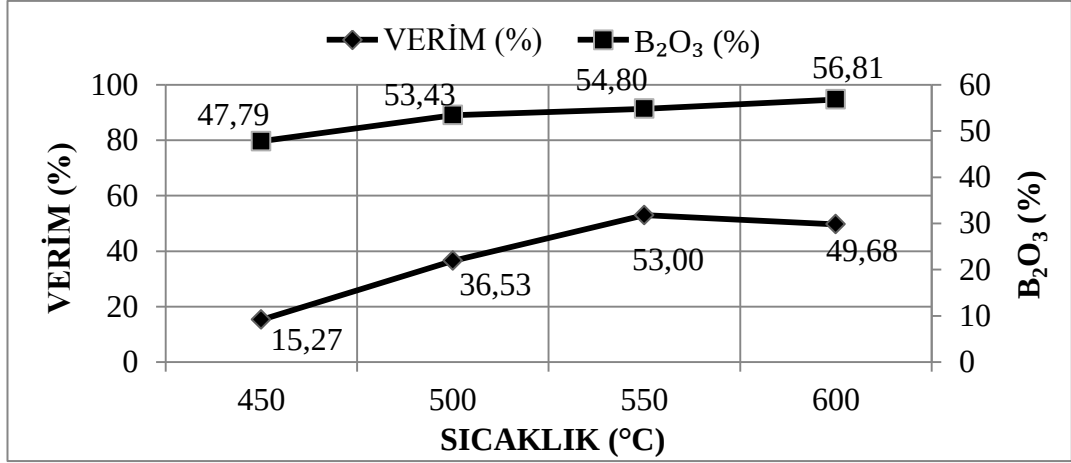
10.2.3 -2+1 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler

-2+1 mm üleksit cevheri için konvansiyonel ısıtma işlem parametreleri, kolemanit cevheri ısıtma işlem parametreleri ile aynı seçilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



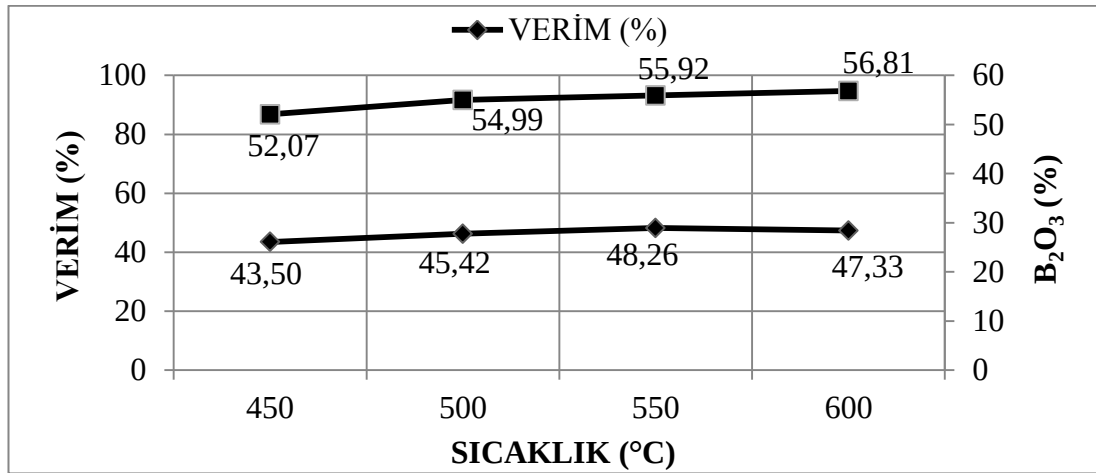
Şekil 10.33 15 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.33’de görüldüğü üzere 15 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,73 verimle %39,76 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %8,67 verimle %44,59 B₂O₃ , %23,20 verimle %50,51 B₂O₃ , %33,49 verimle %50,96 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.34 30 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

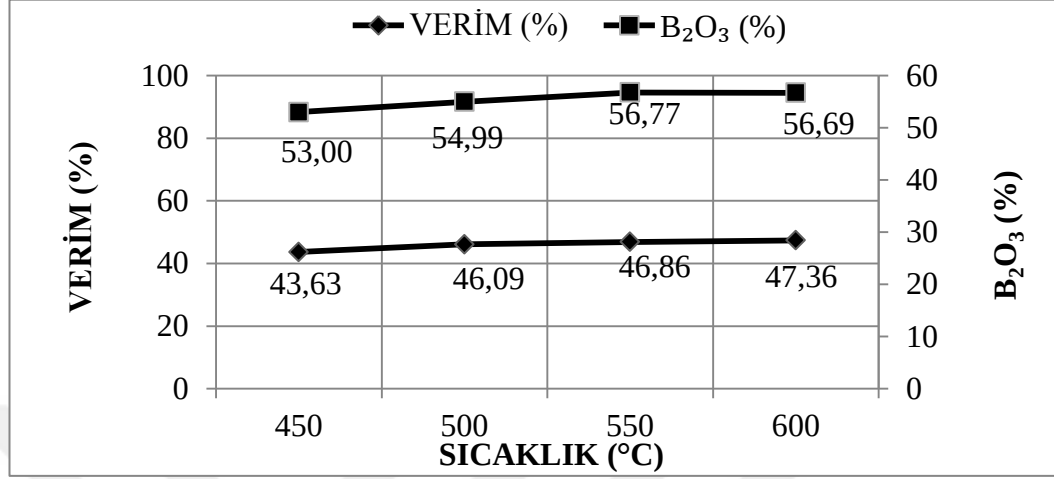
Şekil 10.34'de görüldüğü üzere 30 dakika süre ile 450 °C 'de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %15,27 verimle %47,79 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C 'de de uygulanmış ve sırasıyla %36,53 verimle %53,43 B₂O₃ , %53,00 verimle %54,80 B₂O₃ , %49,68 verimle %56,81 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 10.35 45 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.35'de görüldüğü üzere 45 dakika süre ile 450 °C 'de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %43,50 verimle %52,07 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 45 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C 'de de uygulanmış

ve sırasıyla %45,42 verimle %54,99 B_2O_3 , %48,26 verimle %55,92 B_2O_3 , %47,33 verimle %56,81 B_2O_3 tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

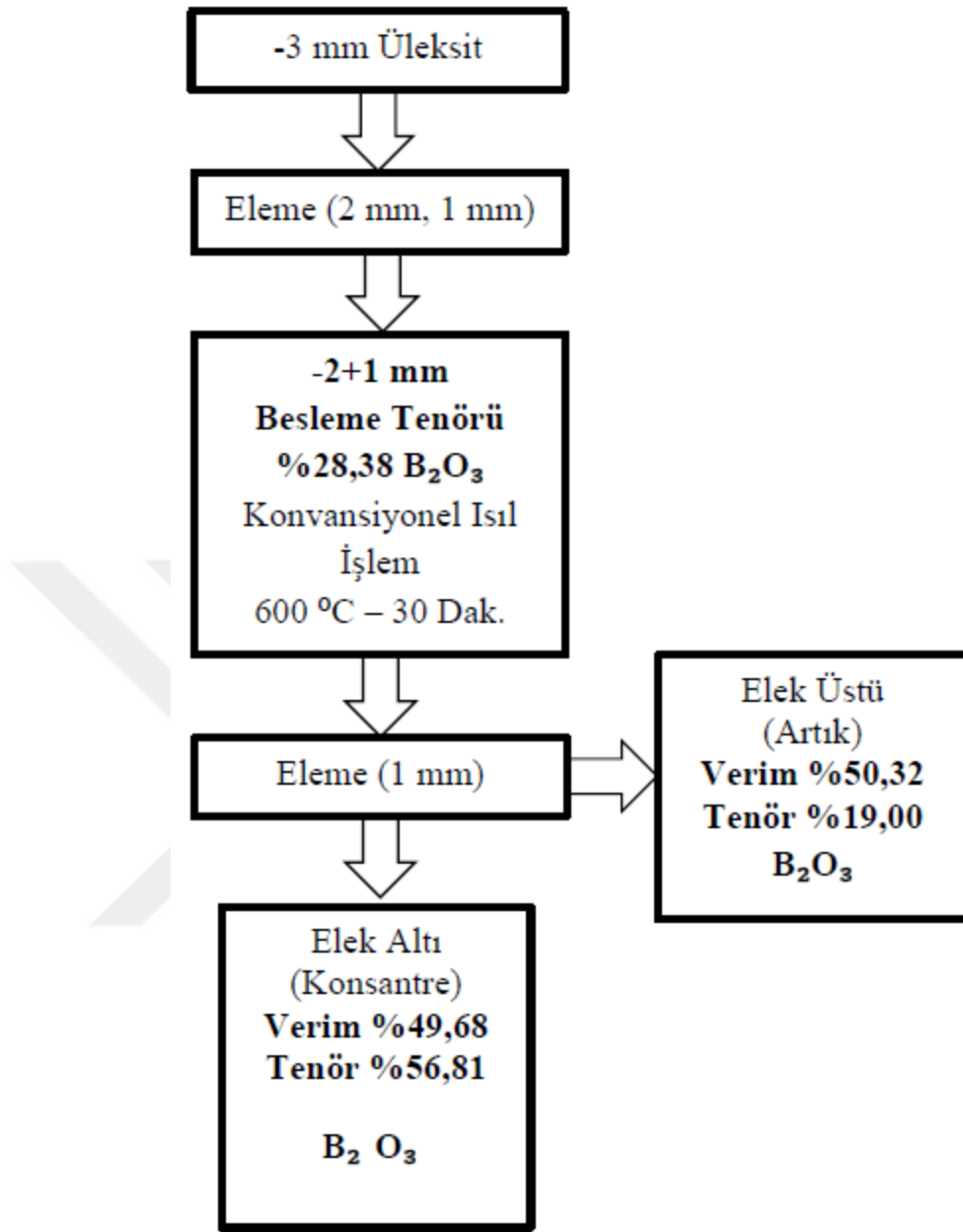


Şekil 10.36 60 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan konvansiyonel ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.36’de görüldüğü üzere 60 dakika süre ile 450 °C ‘de yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %43,63 verimle %53,00 B_2O_3 tenörlü konsantr elde edilmiştir. 60 dakika dekrepitasyon işlemi 500 °C, 550 °C, 600 °C ‘de de uygulanmış ve sırasıyla %46,09 verimle %54,99 B_2O_3 , %46,86 verimle %56,77 B_2O_3 , %47,36 verimle %56,69 B_2O_3 tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

Tablo 10.6 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesinin konvansiyonel ısıt işleminin sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-2+1 MM		SICAKLIK (°C)											
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	450			500			550			600		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	27,82	100	100	27,75	100	100	28,74	100	100	28,61	100
	KONSANTRE	3,31	39,76	4,73	5,4	44,59	8,67	13,2	50,51	23,2	18,81	50,96	33,49
	ARTIK	96,69	27,41	95,27	94,6	26,79	91,33	86,8	25,43	76,8	81,18	23,44	66,51
30	BESLEME	100	29,18	100	100	28,66	100	100	32,13	100	100	28,38	100
	KONSANTRE	9,33	47,79	15,27	19,6	53,43	36,53	31,08	54,8	53	24,82	56,81	49,68
	ARTIK	90,67	27,27	84,73	80,4	22,63	63,47	68,92	21,92	47	75,18	19	50,32
45	BESLEME	100	30,14	100	100	29,7	100	100	30,91	100	100	31,14	100
	KONSANTRE	25,18	52,07	43,5	24,53	54,99	45,42	26,68	55,92	48,26	25,95	56,81	47,33
	ARTIK	74,82	22,76	56,6	75,47	21,48	54,58	73,32	21,81	51,74	74,05	22,15	52,67
60	BESLEME	100	29,33	100	100	29,87	100	100	30	100	100	30,66	100
	KONSANTRE	24,15	53	43,63	25,04	54,99	46,09	24,77	56,77	46,86	25,62	56,69	47,36
	ARTIK	75,85	21,8	56,37	74,96	21,48	53,91	75,23	21,19	53,14	74,38	21,7	52,64



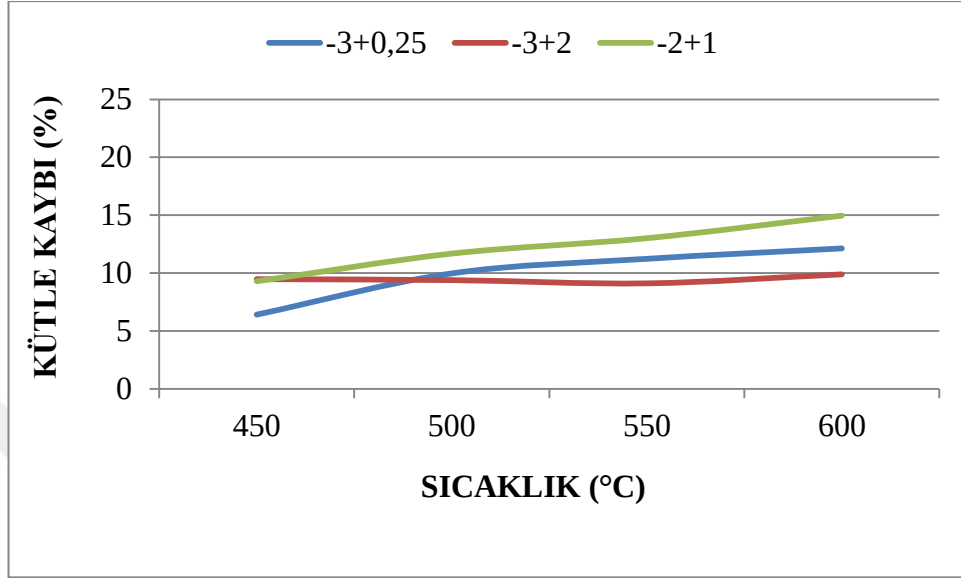
Şekil 10.37 -2+1 mm üleksit cevherlerine konvansiyonel ısıt işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

Üleksit numuneleri için yapılan çeşitli boyutlardaki deney serilerinden görüldüğü üzere özellikle 550 ve 600 °C’de yapılan denemelerde, kolemanit numuneleri deneylerinden elde edilen %90’nın üzerindeki verimler yakalanamamıştır. Üleksit numuneleri ile yapılan dekrepitasyon deneyleri sonrası ısıtıl işleminden çıkan numunenin elekten elendikten sonra artık olarak kabul edilen elek üstünde ısıtıl işlem ile dağılmamış üleksit tanelerinin görüntüsü aşağıda verilmiştir.

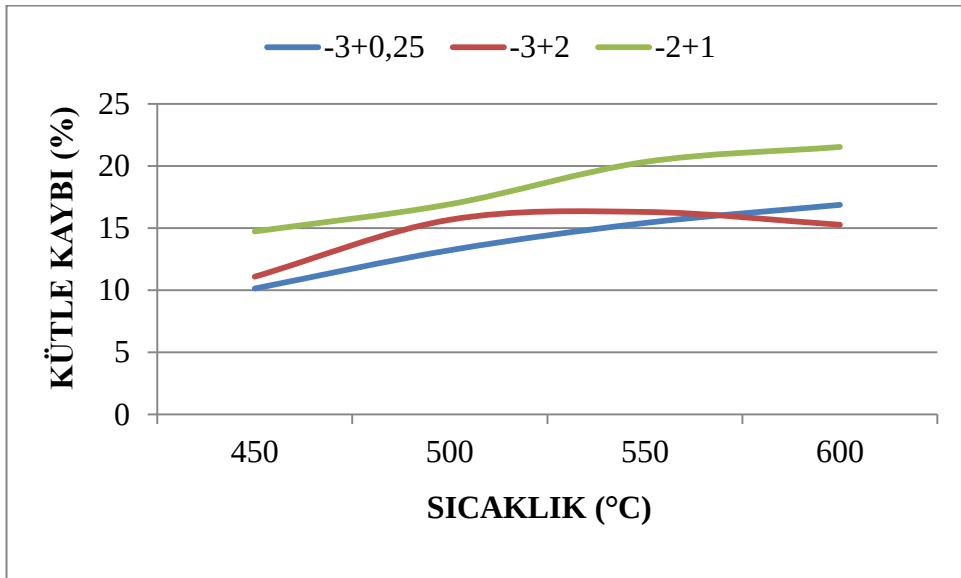


Şekil 10.38 Üleksit numunelerinin konvansiyonel ısıtıl işlem sonrası elek üstünde parçalanmamış üleksit tanelerinin elenmeden önce ve sonra görüntüntüleri (Kişisel arşiv, 2019)

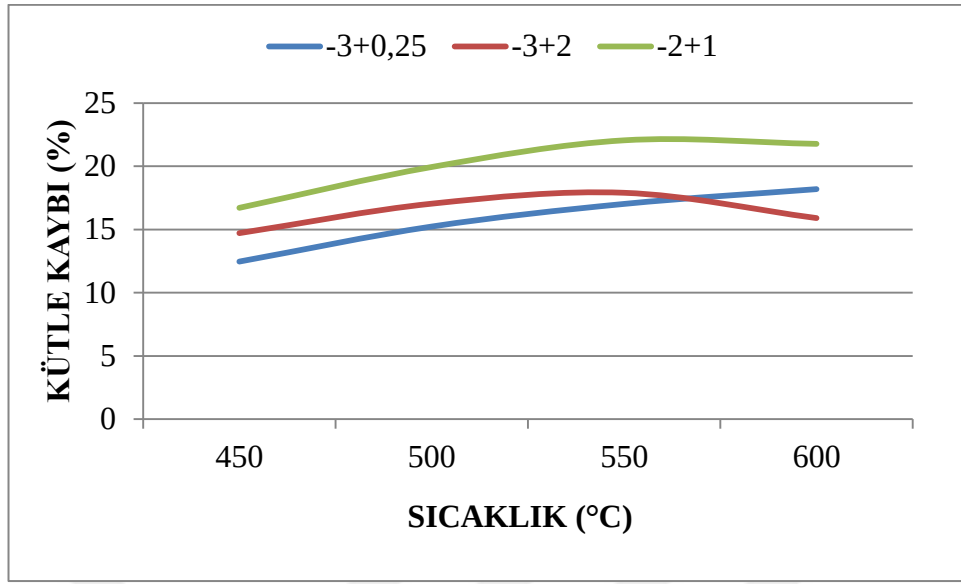
10.2.4 Üleksit Numunelerinin Konvansiyonel Isıl İşlem Deneylerinde Kütle Kayıpları



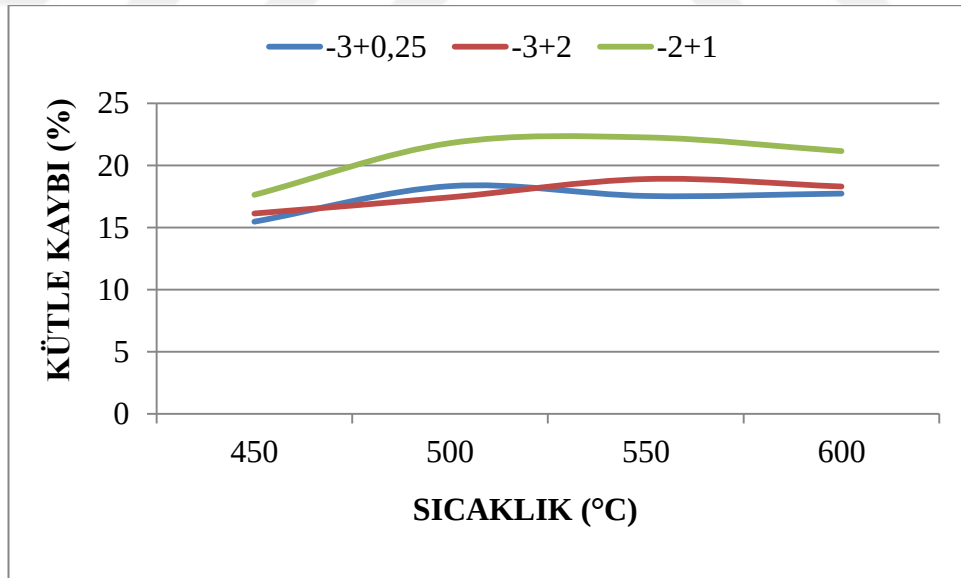
Şekil 10.39 Konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.40 Konvansiyonel ısıtıl işlem deneylerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.41 Konvansiyonel ısıt işlemlerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 45 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.42 Konvansiyonel ısıt işlemlerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 60 dakika sonundaki kütle kayıpları

Üleksit numunelerinin 15 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıt işlemlerinde şekil 10.39'da görüldüğü üzere -3+2 ve -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 450 °C'de gerçekleşen kütle kayıpları %9 civarında gerçekleşirken, 600 °C'de sırasıyla %9,89 ve %14,86 olarak gerçekleşmiştir. -3+2 mm tane boyutlu numunenin tüm sıcaklık aralığında kütle kaybı %10'lar civarında sabit kalmıştır. En fazla kütle kaybı -2+1 mm tane boyutlu numunede 600 °C'de %14,96 olarak gerçekleşmiştir.

Üleksit numunelerinin 30 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıt işlemlerinde şekil 10.40'da görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 450 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %10,14, %11,09, %14,73 olarak gerçekleşirken, numunelerin 600 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %16,87, %15,27 ve %21,53 olarak gerçekleşmiştir.

Üleksit numunelerinin 45 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıt işlemlerinde şekil 10.41'de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 450 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %12,46, %14,71, %16,71 olarak gerçekleşirken, numunelerin 600 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %18,19, %15,90 ve %21,77 olarak gerçekleşmiştir.

Üleksit numunelerinin 60 dakika boyunca yapılan konvansiyonel ısıt işlemlerinde şekil 10.42'de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 450 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %15,47, %16,13, %17,63 olarak gerçekleşirken, numunelerin 600 °C'deki kütle kayıpları sırasıyla %17,73, %18,30 ve %21,15 olarak gerçekleşmiştir.

10.3 Kolemanit Cevherlerine Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlemler

Mikrodalga ısıtma işlemi çalışmalarında daha önce konvansiyonel ısıtma işlemi çalışmalarında kullanılan -3 mm kolemanit ve üleksit cevherleri kullanılmıştır, Mikrodalga fırın olarak klasik mutfak fırını kullanılmış ve söz konusu cevherler 50'şer gram şeklinde ayrılarak otoklavlanabilir borosilikat cam kaplarda 600, 700 ve 800 watt'lık enerji altında mikrodalga enerjisine maruz bırakılmıştır.

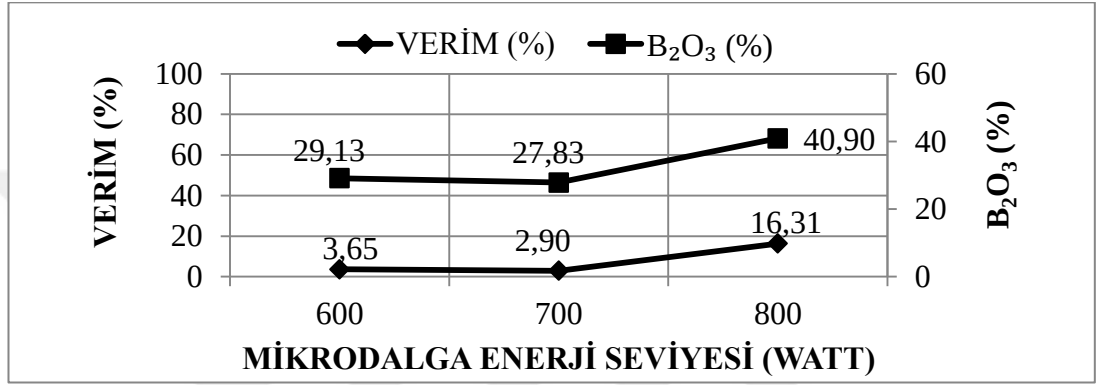


Şekil 10.43 Mikrodalga ısıtma işlemi dekrepitasyonunda kullanılan Arçelik marka cihaz ve Elektrolux marka cihaz (Kişisel arşiv, 2019)

Mikrodalga cihazı 1000 watt çıkış gücünde olup, ayarlanabilir 5 kademeye sahiptir. Mikrodalga ısıtma işlemi dekrepitasyonu için 120, 360 ve 400 watt güçlerinde denemeler yapılmış ancak numunelerde dekrepitasyon izlenmemiştir. Bu aşamadan sonra 600, 700 ve 800 watt güçlerinde denemeler yapılmış ve numunenin belli sürelerde dekrepite olduğu izlenmiştir.

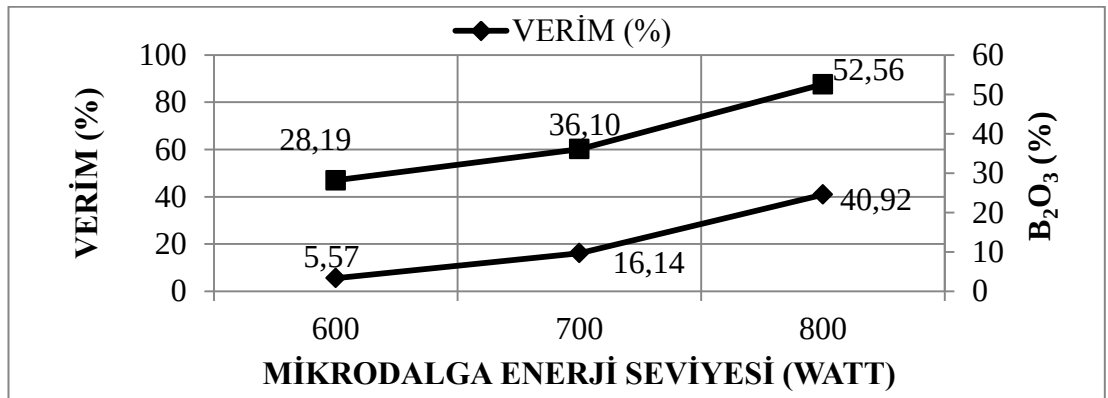
Dekrepatasyonun izlendiği 600, 700 ve 800 watt güçlerinde numune cihaz içerisinde 20, 22,5 ve 30 dakika sürelerince bırakılmış 30 dakikadan sonra verim ve tenör yatay bir seyir izlediğinden işlem süresi 30 dakikada sonlandırılmıştır.

10.3.1 -3+0,25 mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



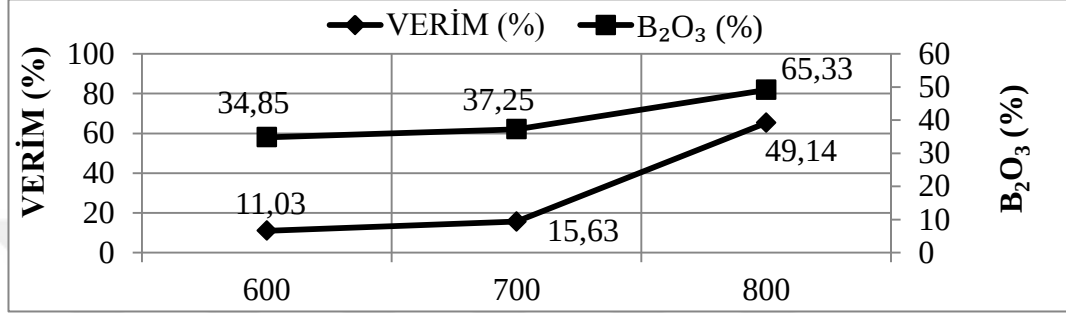
Şekil 10.44 15 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısı işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.44’de görüldüğü üzere, 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepatasyon işleminden sonra %3,65 verimle %29,13 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepatasyon işlemi 700 ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %2,90 verimle %27,83 tenörlü B₂O₃ konsantresi, %16,31 verimle %40,90 tenörlü B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.



Şekil 10.45 22,5 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısı işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.45’de görüldüğü üzere, 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %5,57 verimle %28,19 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir, 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %16,14 verimle %36,10 B₂O₃ tenörlü konsantresi, %40,92 verimle %52,56 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 10.46 30 dakika boyunca -3+0,25 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısı işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.46’de görüldüğü üzere, 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %11,03 verimle %34,85 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir, 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış sırasıyla %15,63 verimle %37,25 B₂O₃ tenörlü konsantre, %65,33 verimle %49,14 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Kolemanit numunelerine uygulanan mikrodalga ısı işlem deneyleri sırasında mikrodalga cihazının ürettiği enerji seviyelerinin (600, 700, 800 watt) ortaya çıkaracağı sıcaklık değerini ölçmek için **Flir** marka termal kamera kullanılmıştır. Termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerlerinin üretilen watt ve zaman göre değişimi incelendiğinde 5 dakika sonunda numunenin 221°C’ye ulaştığı, 30 dakika sonunda ise 329 °C’ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Mikrodalga cihazı 30 dakikadan sonra cihazın ürettiği sıcaklık nedeni ile emniyet unsuru olarak cihaz kendini kapatmaktadır. Bu nedenle mikrodalga ısı işlem deneyleri 30 dakika maksimum sınırı ile sonlandırılmıştır. Mikrodalga enerji seviyelerinin ürettiği sıcaklık ve zaman çizelgesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 10.47 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan Flir-150 marka termal kamera (Kişisel arşiv, 2019)

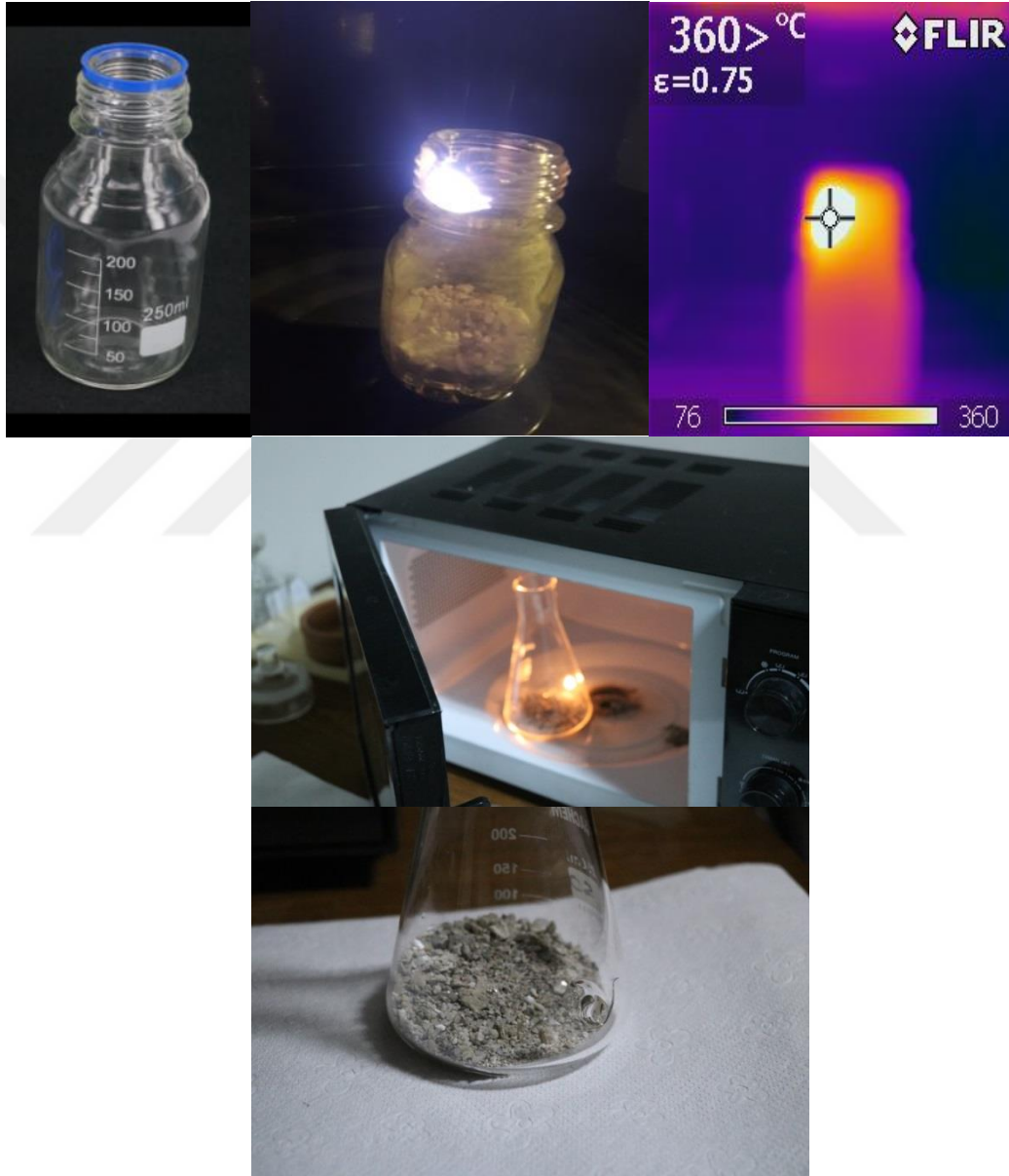
Tablo 10.7 Kolemanit numuneleri için mikrodalga cihazının ürettiği enerji seviyelerinin zamana göre sıcaklık değişimi

ENERJİ SEVİYESİ (Watt)	ZAMAN (DAKİKA)	ULAŞILAN SICAKLIK SEVİYESİ (°C)
800	5	231
	10	274
	15	307
	20	327
	25	338
	30	329



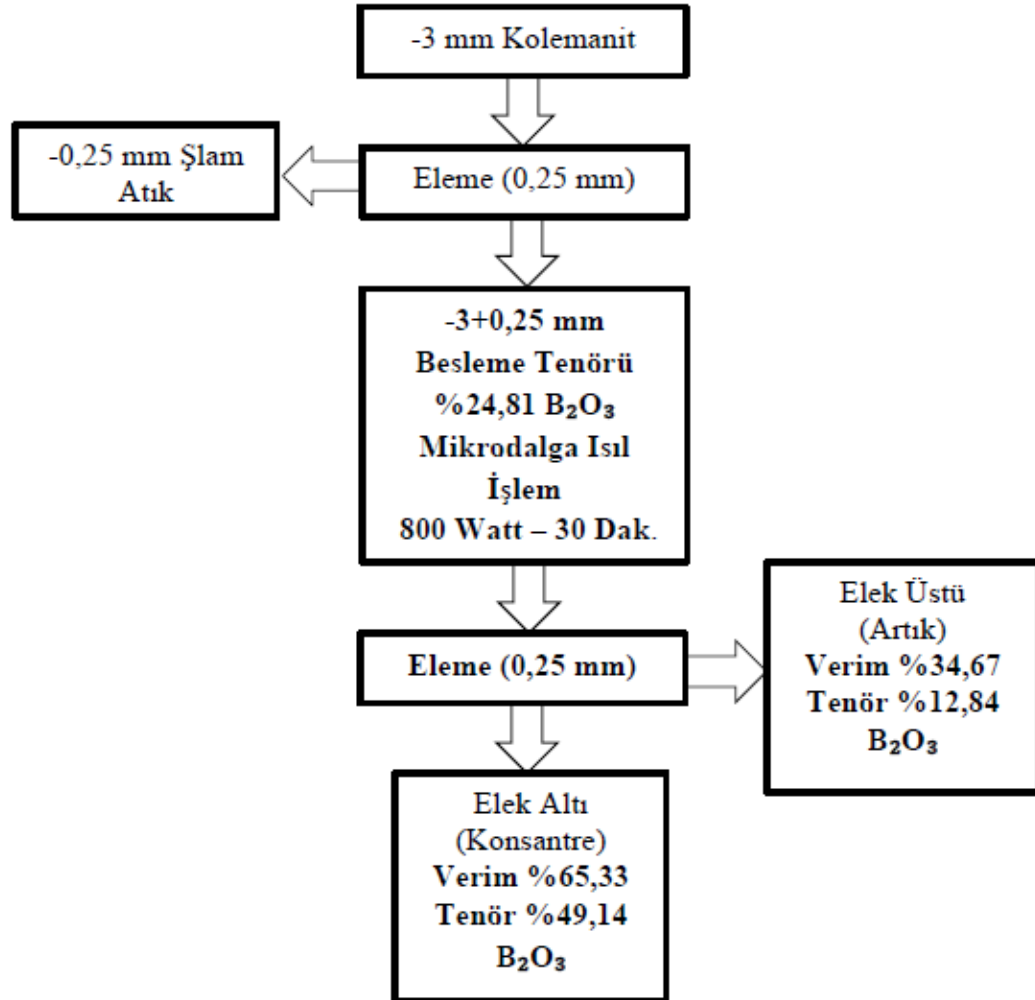
Şekil 10.48 800 watt seviyesinde, 5. (Solda) ve 30. dakika da (Sağda) numunelerin ulaştığı sıcaklık seviyelerinin termal görüntüsü (Kişisel arşiv, 2019)

Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan dekrepitasyon deneylerinde 3 esas sorundan bahsedilebilir. Birincisi, deney sırasında mikrodalga enerjisi ürün deney kabı üzerinde tek bir noktaya yoğunlaşarak bu noktayı çok yüksek sıcaklıklara getirmekte ve ürünün ısınmasını engellemektedir. Bu soruna ait termal ve dijital görüntüler aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.49 Mikrodalga ısıtma işlem deneylerinde enerjinin numune kabı üzerinde plazma oluşturma görüntüleri (Kişisel arşiv, 2019)

Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan deneylerde ikinci sorun ise daha önce yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi cihazın belirli bir sıcaklık ve süre değerinin üzerinde kendini kapatmasıdır. Cihazın deney sırasında kendini kapatması deneyi kesintiye uğratmakta ve zaman fonksiyonunun sonuçlar üzerindeki etkisinin ölçülmesi mümkün olmamaktadır. Diğer bir sorun ise kullanılan numune kabıdır, Mikrodalga deneyleri sırasında Borosilikat cam ve çeşitleri, toprak kap, seramik kroze vb çeşitli numune kapları kullanılmış ancak bunlar arasında en uygun numune kabının otaklavlanabilir borosilikat cam şişe olduğu belirlenmiştir. Diğer borosilikat cam şişe çeşitlerinde genel olarak numunenin ısınmadığı ve dekrepitasyonun meydana gelmediği gözlemlenmiştir.

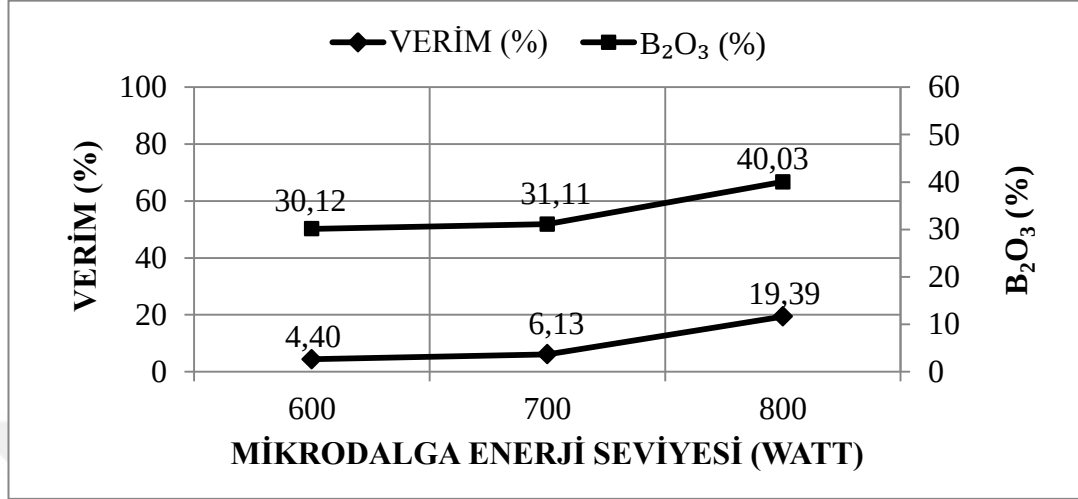


Şekil 10.50 -3+0,25 mm kolemanit cevherlerine mikrodalga ısı işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

Tablo 10.8 -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıt ışıem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

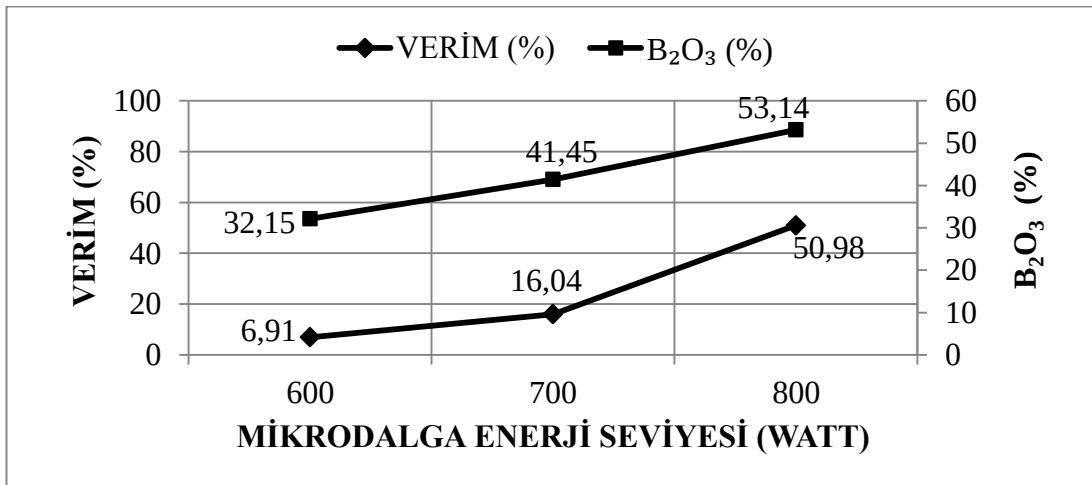
-3+0,25 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	25,4	100	100	25,8	100	100	26,14	100
	KONSANTRE	3,18	29,13	3,65	2,7	27,83	2,9	10,43	40,9	16,31
	ARTIK	96,82	25,28	96,35	97,3	25,75	97,1	89,57	24,42	83,69
22,5	BESLEME	100	24,64	100	100	23,53	100	100	24,29	100
	KONSANTRE	4,87	28,19	5,57	10,52	36,1	16,14	18,91	52,56	40,92
	ARTIK	95,13	24,46	94,43	89,48	22,05	83,86	81,09	17,7	59,08
30	BESLEME	100	23,84	100	100	24,32	100	100	24,81	100
	KONSANTRE	7,55	34,85	11,03	10,21	37,25	15,63	32,99	49,14	65,33
	ARTIK	92,45	22,95	88,97	89,79	22,85	84,37	67,01	12,84	34,67

10.3.2 -3+2 mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



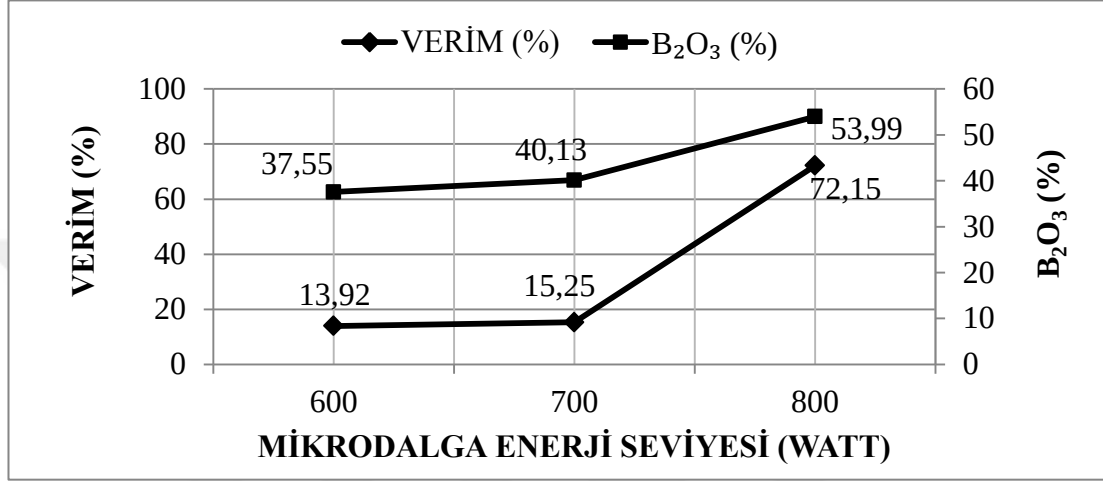
Şekil 10.51 15 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.51’de görüldüğü üzere, 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,40 verimle %30,12 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %6,13 verimle %31,11 B₂O₃ konsantresi, %19,39 verimle %40,03 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 10.52 22,5 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.52’de görüldüğü üzere 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %6,91 verimle %32,15 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir, 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %16,04 verimle %41,45 B₂O₃ konsantresi, %50,98 verimle %53,14 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

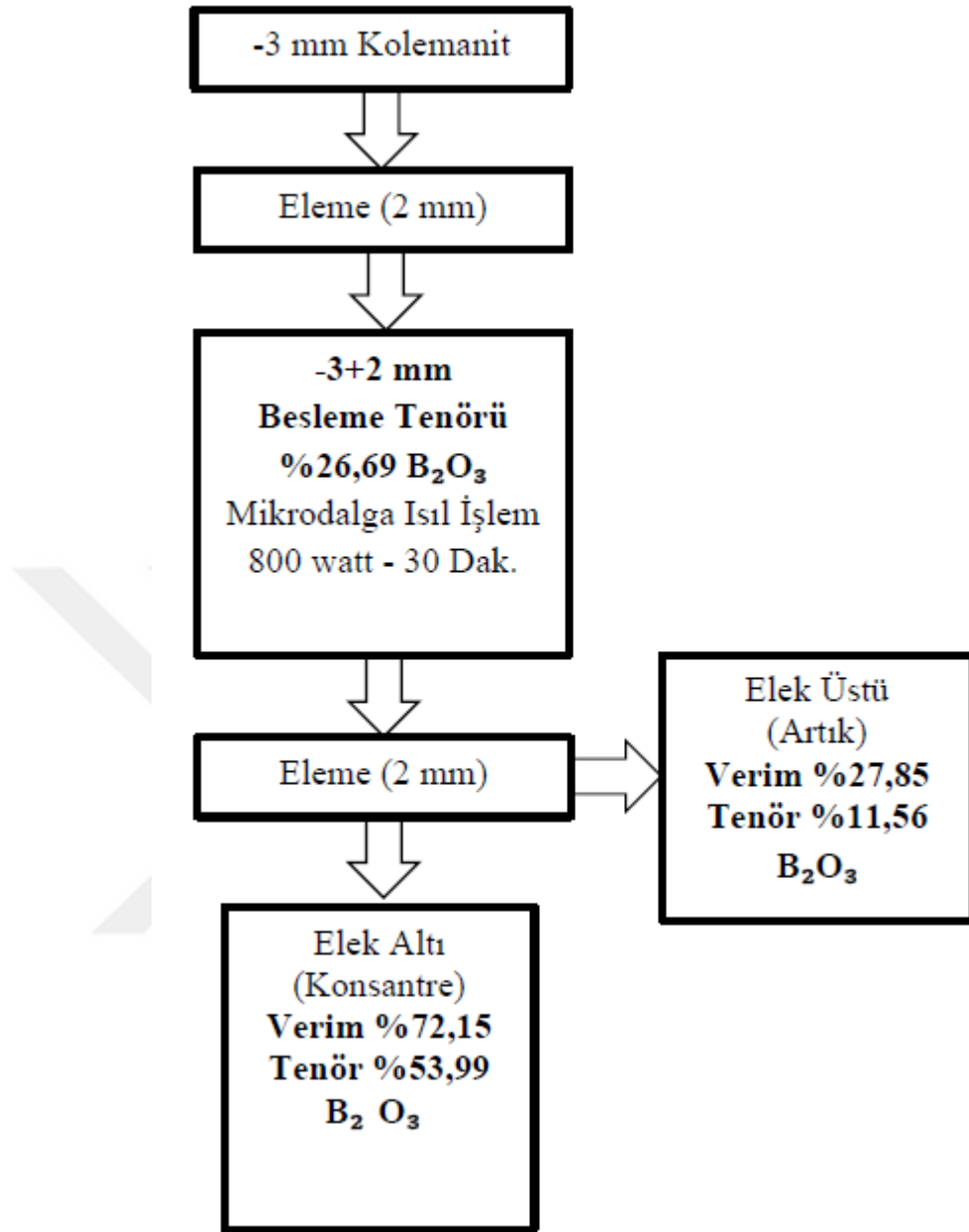


Şekil 10.53 30 dakika boyunca -3+2 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.53’de görüldüğü üzere 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %13,92 verimle %37,55 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir, 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %15,25 verimle %40,13 B₂O₃ konsantresi, %72,15 verimle %53,99 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

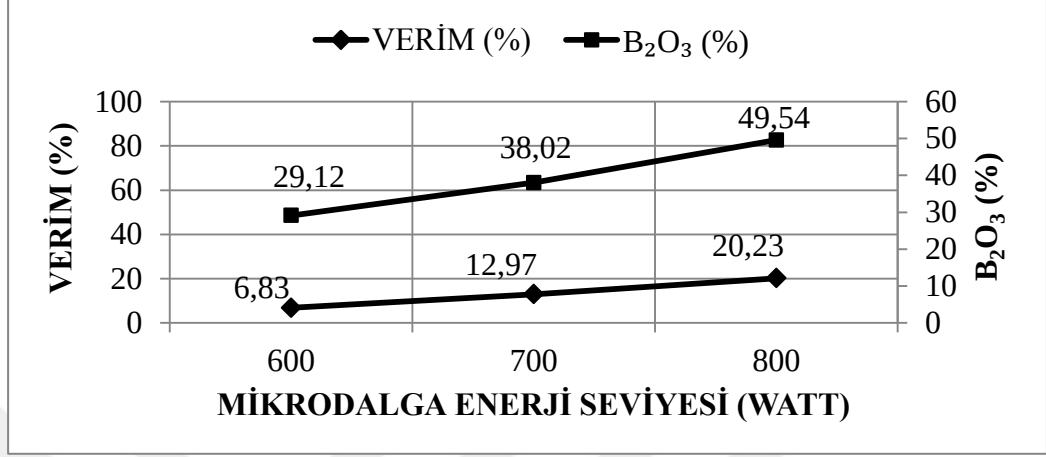
Tablo 10.9 -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıt ışıem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-3+2 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	28,04	100	100	28,17	100	100	25,51	100
	KONSANTRE	4,1	30,12	4,4	5,55	31,11	6,13	12,36	40,03	19,39
	ARTIK	95,9	27,95	95,6	94,45	28	93,87	87,64	23,47	80,61
22,5	BESLEME	100	27,29	100	100	26,85	100	100	26,41	100
	KONSANTRE	5,87	32,15	6,91	10,39	41,45	16,04	25,34	53,14	50,98
	ARTIK	94,13	26,99	93,09	89,61	25,16	83,96	74,66	17,34	49,01
30	BESLEME	100	27,79	100	100	25,72	100	100	26,69	100
	KONSANTRE	10,31	37,55	13,92	9,79	40,13	15,25	35,67	53,99	72,15
	ARTIK	89,69	26,68	86,08	90,21	24,15	84,75	64,33	11,56	27,85



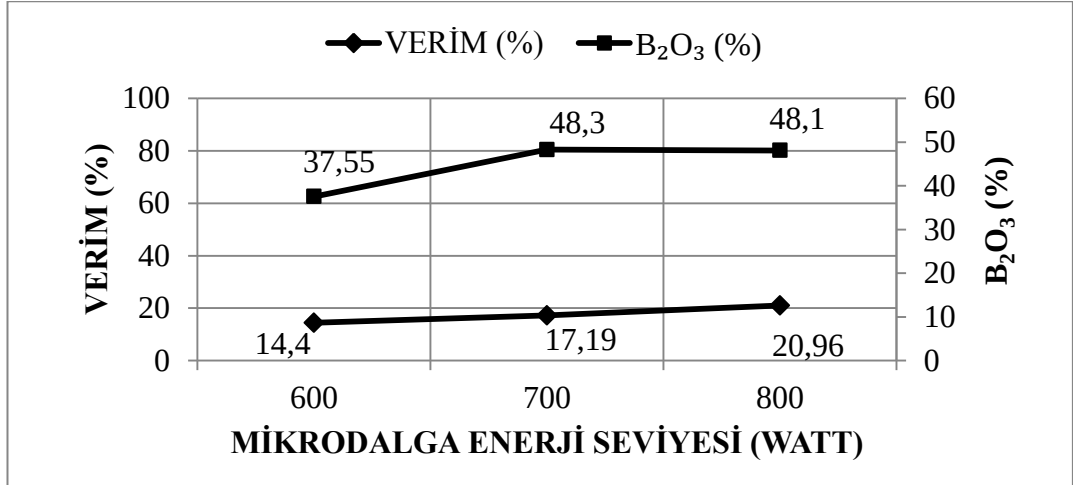
Şekil 10.54 -3+2 mm kolemanit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtılarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

10.3.3 -2+1 mm Tane Boyutlu Kolemanit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



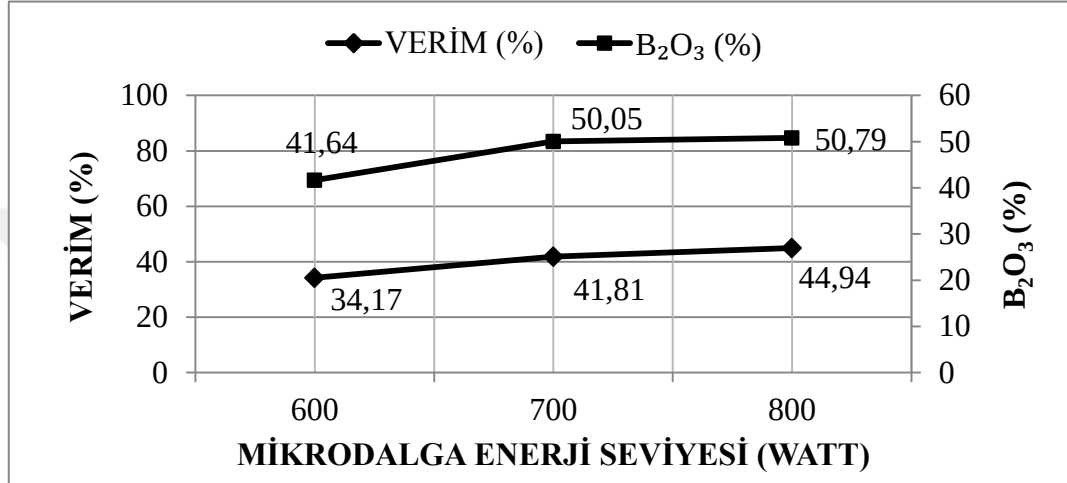
Şekil 10.55 15 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.55’de 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %6,83 verimle %38,02 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde’de uygulanmış ve sırasıyla %12,97 verimle %38,02 B₂O₃ konsantresi, %20,23 verimle %49,54 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 10.56 22,5 dakika boyunca -2+1 mm kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıt işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.56'de 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %14,4 verimle %37,55 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde'de uygulanmış ve %17,19 verimle %48,30 B₂O₃ konsantresi, %20,96 verimle %48,10 tenörlü B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.

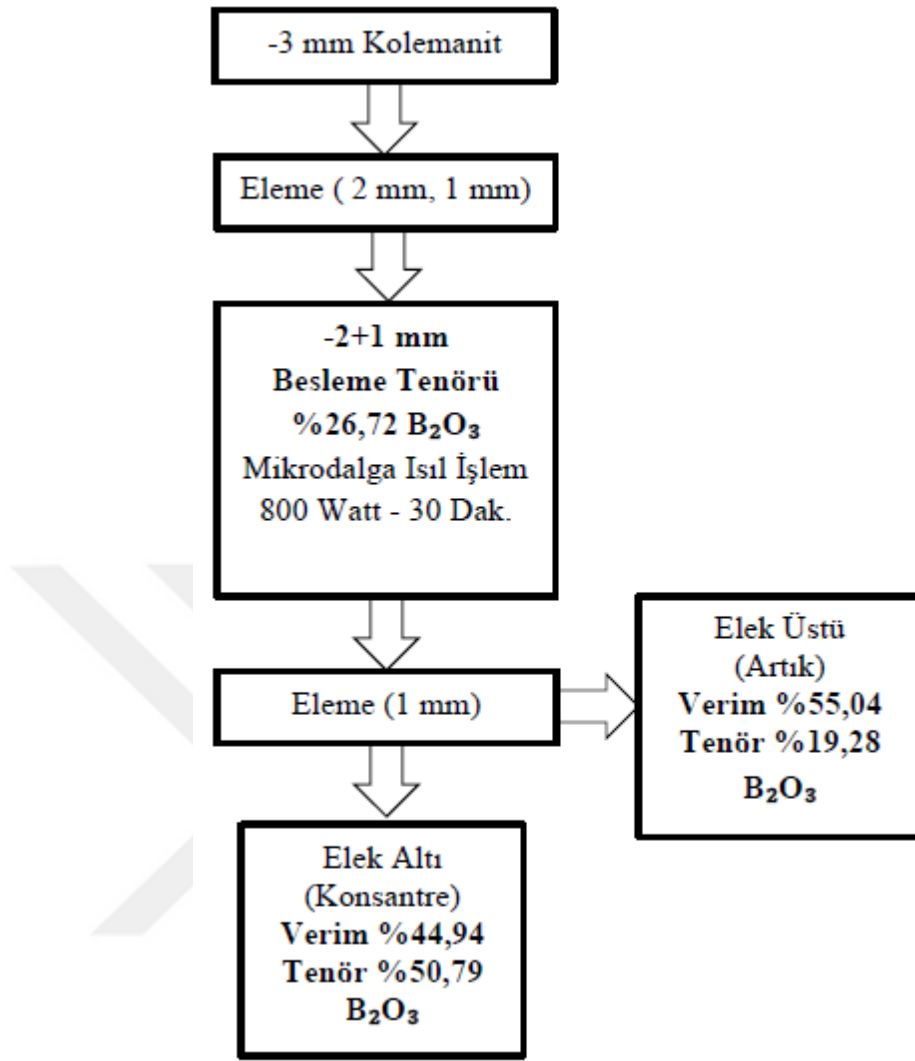


Şekil 10.57 30 dakika boyunca -2+1 mm Kolemanit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.57'de görüldüğü üzere, 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %34,17 verimle %41,64 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde'de uygulanmış ve sırasıyla %41,81 verimle %50,05 B₂O₃ konsantre, %44,94 verimle %50,79 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

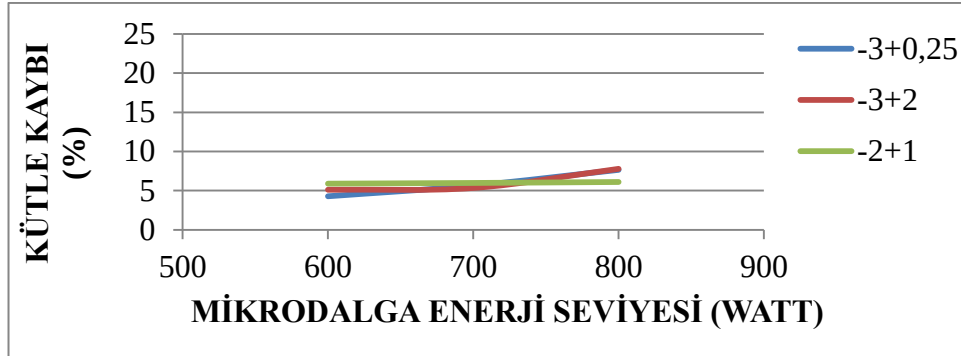
Tablo 10.10 -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-2+1 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	25,02	100	100	25,21	100	100	26,78	100
	KONSANTRE	5,88	29,12	6,83	8,6	38,02	12,97	10,94	49,54	20,23
	ARTIK	94,12	24,77	93,16	91,4	24,01	87,03	89,06	23,99	79,77
22,5	BESLEME	100	25,27	100	100	25,47	100	100	27,58	100
	KONSANTRE	9,7	37,55	14,4	9,07	48,3	17,19	12,02	48,1	20,96
	ARTIK	90,3	23,96	85,6	90,93	23,2	82,81	87,98	24,78	79,04
30	BESLEME	100	24,61	100	100	26,38	100	100	26,72	100
	KONSANTRE	20,21	41,64	34,17	22,04	50,05	41,81	23,66	50,79	44,94
	ARTIK	79,79	20,31	65,83	77,96	19,7	58,19	76,34	19,28	55,06

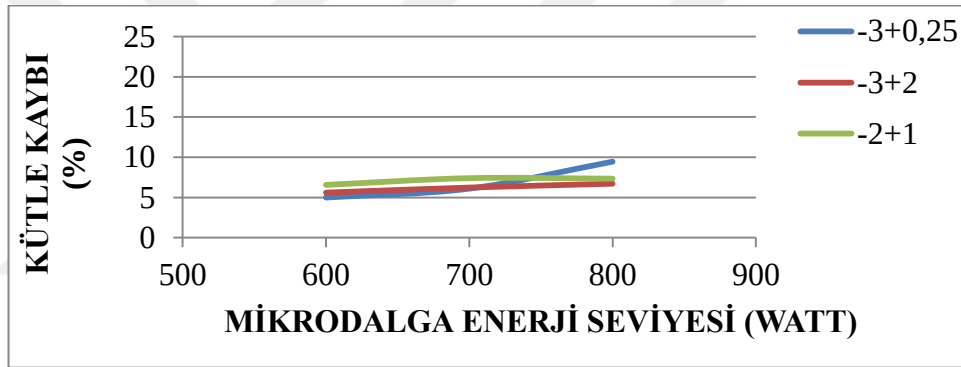


Şekil 10.58 -2+1 mm kolemanit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtılarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

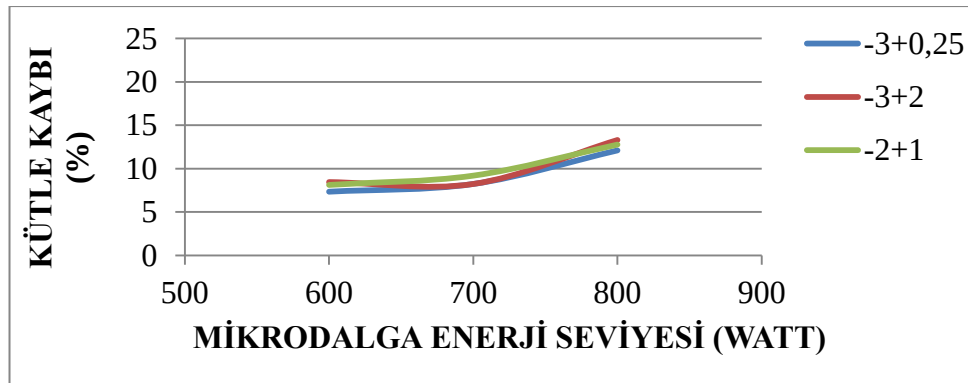
10.3.4 Kolemanit Numunelerinin Mikrodalga Isı Enerjisi Altında Kütle Kayıpları



Şekil 10.59 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.60 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 22,5 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.61 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlem dekrepatasyon deneylerinde kullanılan üç kolemanit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları

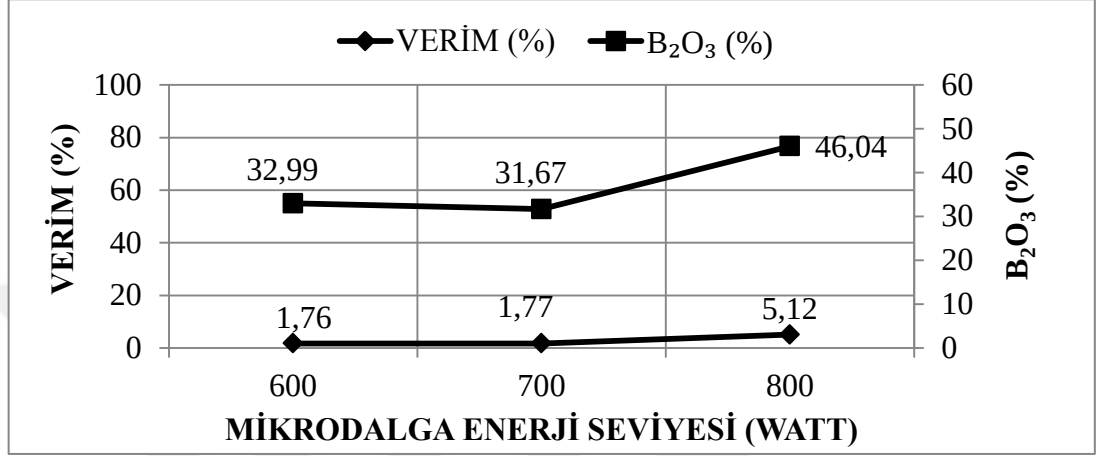
Kolemanit numuneleri ile 15 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde şekil 10.59'da görüldüğü üzere -3+0,25 mm, -3+2 mm, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %4,28, %5,11, %5,89 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %7,65, %7,78 ve %6,10 olarak gerçekleşmiştir.

Kolemanit numuneleri ile 22,5 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde, şekil 10.60'da görüldüğü üzere -3+0,25 mm, -3+2 mm ve -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %4,99, %5,60, %6,56 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %9,45, %6,71 ve %7,34 olarak gerçekleşmiştir.

Kolemanit numuneleri ile 30 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde şekil 10.61'de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %7,34, %8,45, %8,12 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %12,10, %13,3 ve %12,77 olarak gerçekleşmiştir.

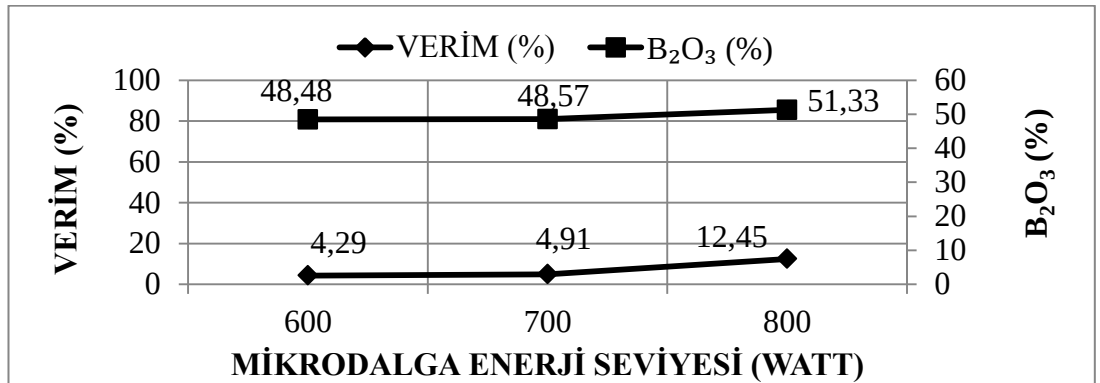
10.4 Üleksit Cevherlerine Uygulanan Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlemler

10.4.1 -3+0,25 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



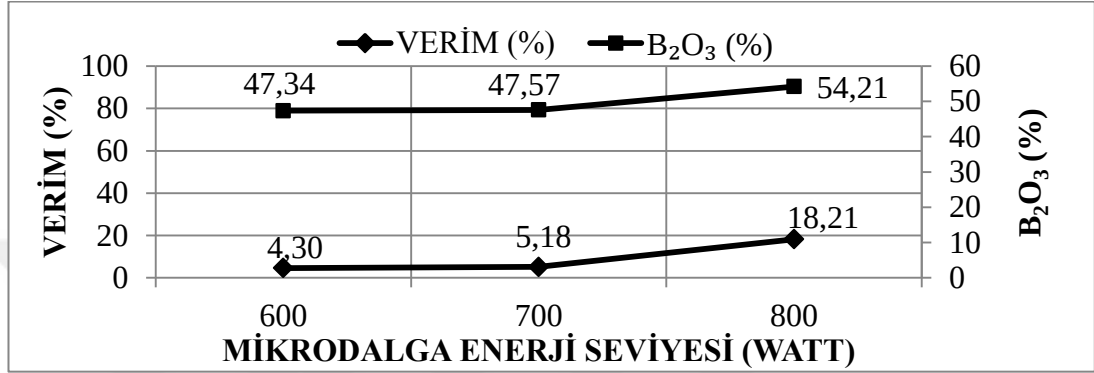
Şekil 10.62 15 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.62’de görüldüğü üzere, 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %1,76 verimle %32,99 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %1,77 verimle %31,67 tenörlü B₂O₃ konsantresi, %5,12 verimle %46,04 tenörlü B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.



Şekil 10.63 22,5 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.63’de görüldüğü üzere, 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,29 verimle %48,48 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %4,91 verimle %48,57 B₂O₃ tenörlü konsantresi, %12,45 verimle % 51,33 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

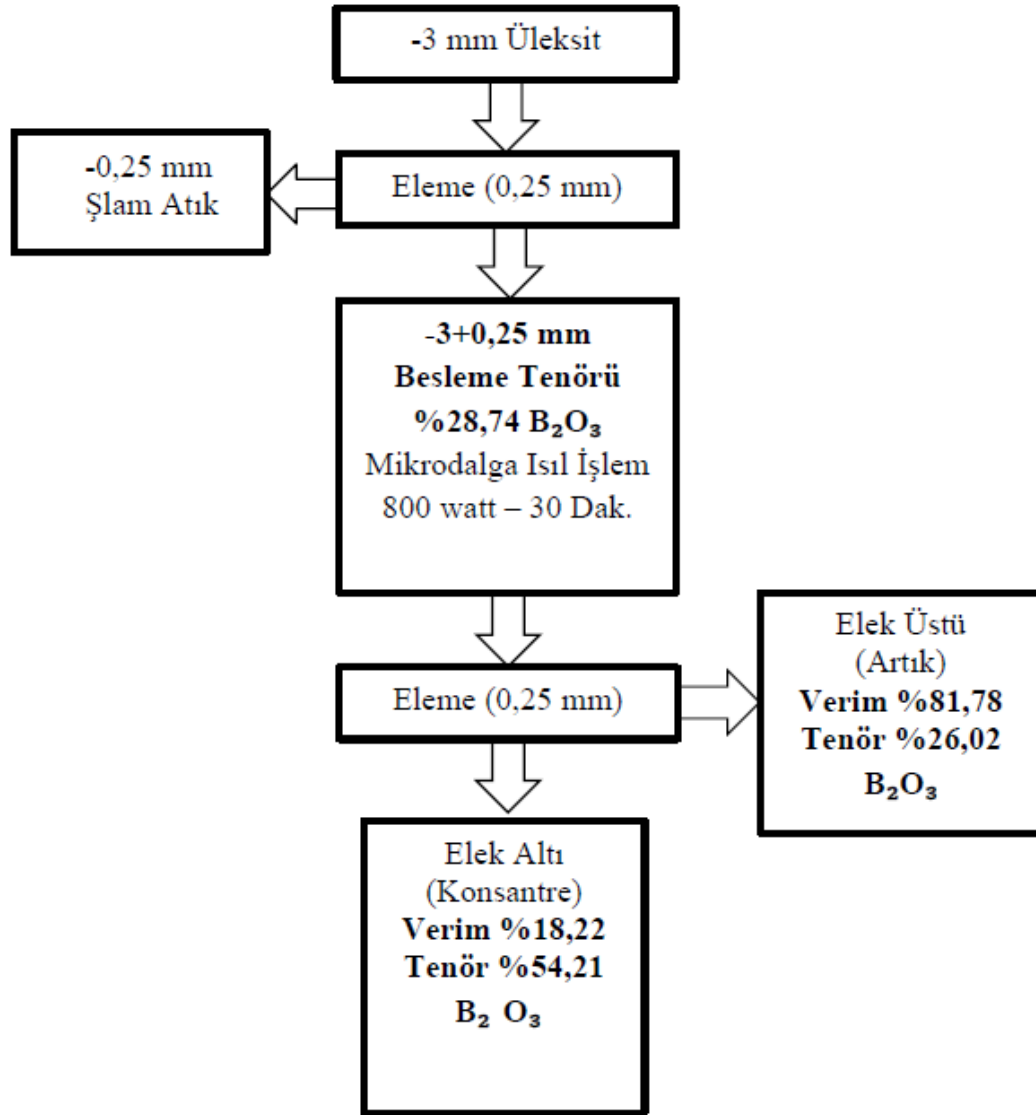


Şekil 10.64 30 dakika boyunca -3+0,25 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.64’de görüldüğü üzere, 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,30 verimle %47,34 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış sırasıyla %5,18 verimle %47,57 B₂O₃ tenörlü konsantre, %18,21 verimle %54,21 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

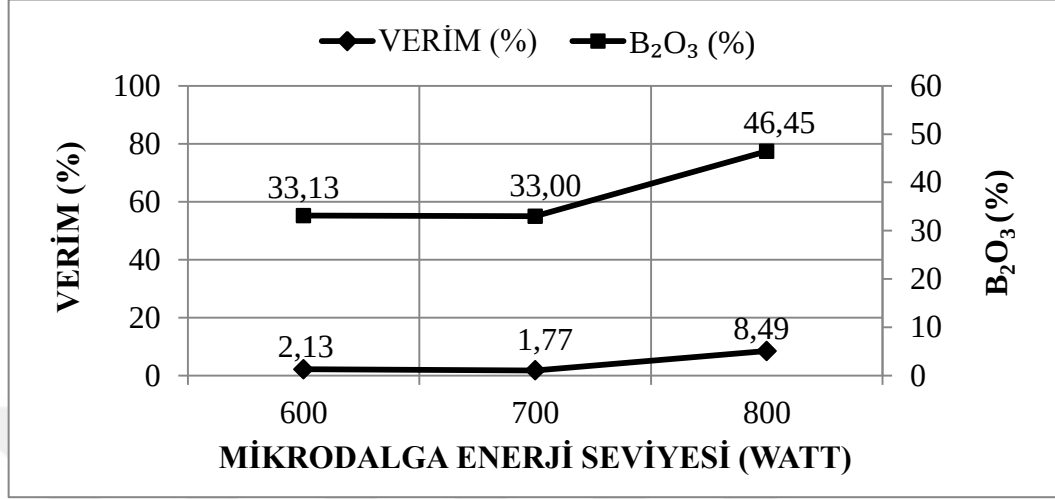
Tablo 10.11 -3+0,25 mm tane boyutlu üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-3+0,25 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	30,83	100	100	29,82	100	100	28,66	100
	KONSANTRE	1,65	32,99	1,76	1,67	31,67	1,77	3,19	46,04	5,12
	ARTIK	98,35	30,8	98,24	98,33	29,79	98,23	96,81	28,09	94,88
22,5	BESLEME	100	28,7	100	100	29,45	100	100	30,47	100
	KONSANTRE	2,54	48,48	4,29	2,98	48,57	4,91	7,39	51,33	12,45
	ARTIK	97,46	28,19	95,71	97,02	28,87	95,09	92,61	28,81	87,56
30	BESLEME	100	29,55	100	100	28,71	100	100	28,74	100
	KONSANTRE	2,89	47,63	4,3	3,13	47,57	5,18	9,66	54,21	18,22
	ARTIK	97,11	29,02	95,4	96,37	28,12	94,82	90,34	26,02	81,78



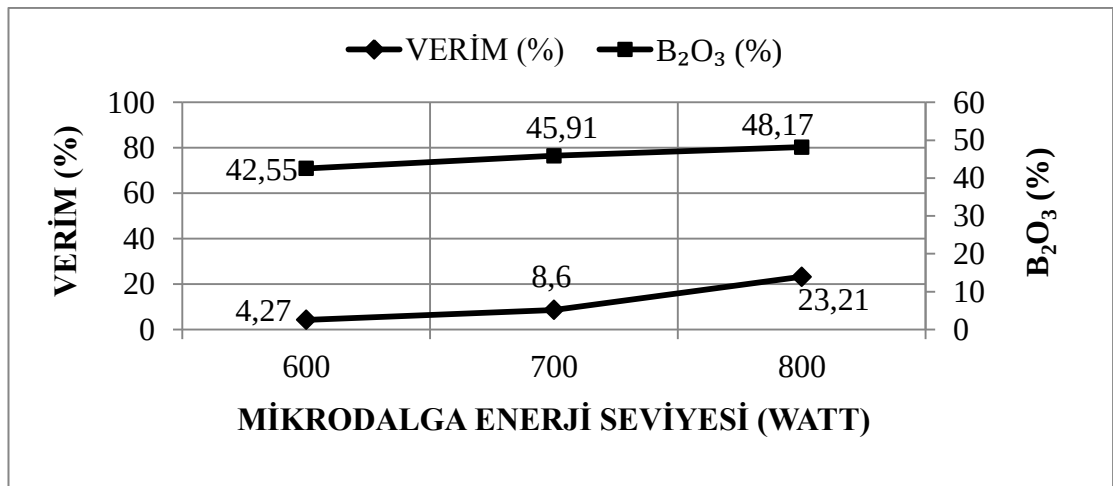
Şekil 10.65 -3+0,25 mm Üleksit cevherlerine mikrodalga ısı işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

10.4.2 -3+2 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



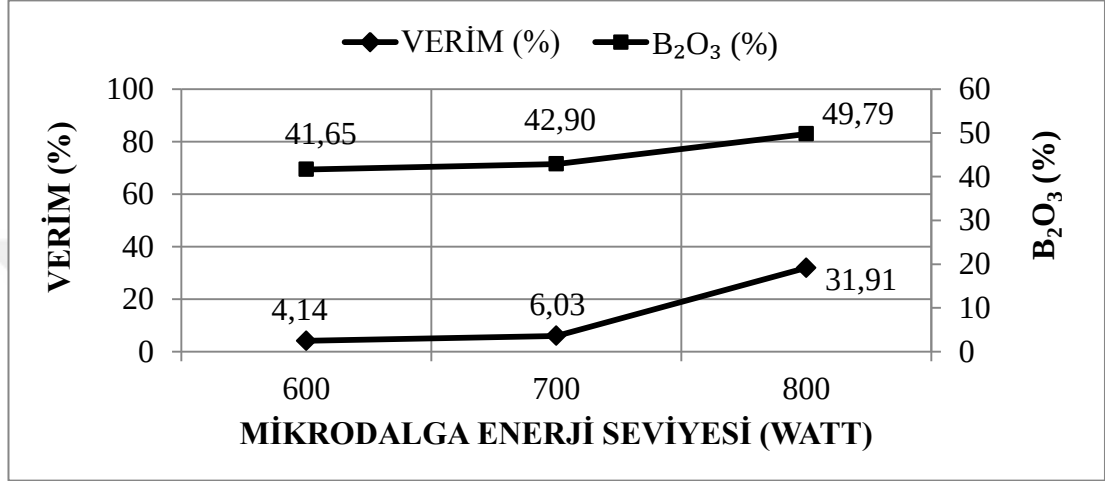
Şekil 10.66 15 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıl işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.66’da görüldüğü üzere 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %2,13 verimle %33,13 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %1,77 verimle %33,00 B₂O₃ konsantresi, %8,49 verimle %46,45 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 10.67 22,5 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıl işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.67’de görüldüğü üzere 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,27 verimle %42,55 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir, 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %8,60 verimle %45,91 B₂O₃ konsantresi, %23,21 verimle %48,17 B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.

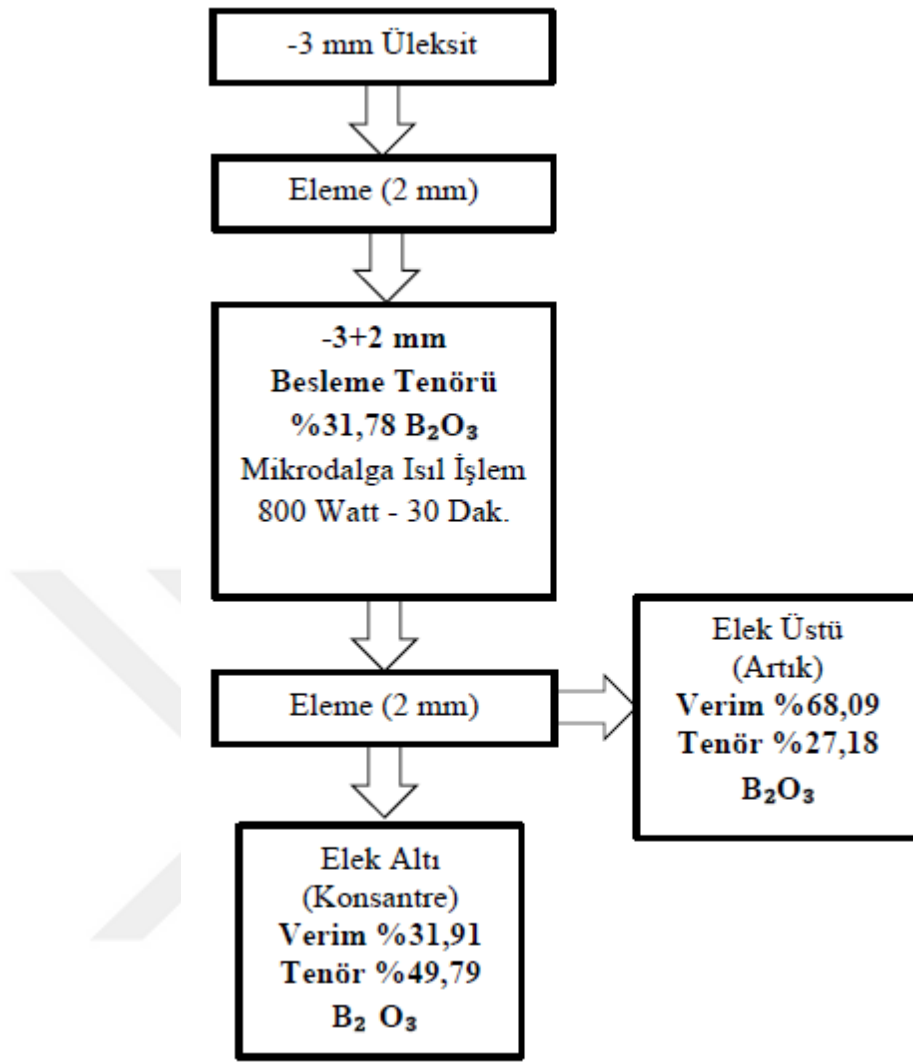


Şekil 10.68 30 dakika boyunca -3+2 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıtma işlemi sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.68’de görüldüğü üzere, 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,14 verimle %41,65 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyesinde’de uygulanmış ve sırasıyla %6,03 verimle %42,90 B₂O₃ konsantresi, %31,91 verimle %49,79 B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.

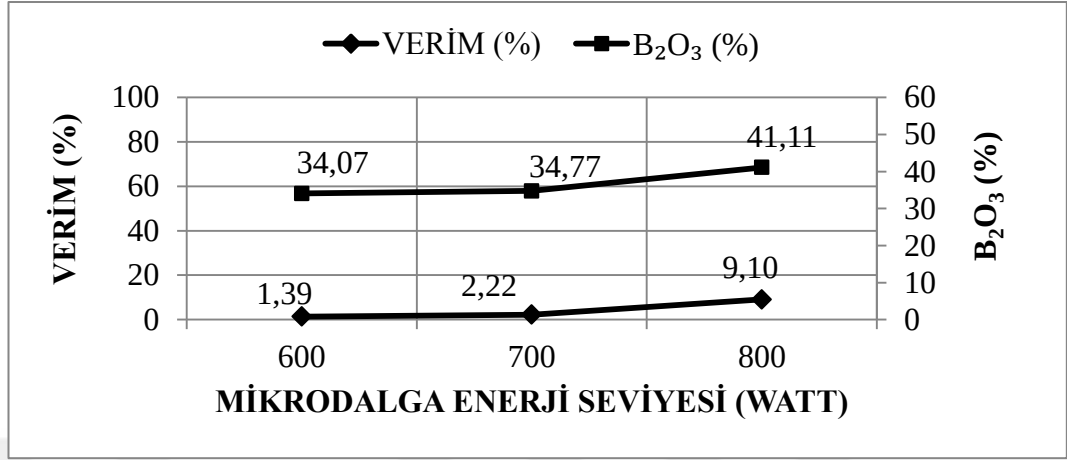
Tablo 10.12 -3+2 mm üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtma işlem sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-3+2 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	29,1	100	100	28,94	100	100	31,67	100
	KONSANTRE	1,87	33,13	2,13	1,55	33	1,77	5,79	46,45	8,49
	ARTIK	98,13	29,03	97,87	98,45	28,88	98,23	94,21	30,76	91,51
22,5	BESLEME	100	31,06	100	100	30,63	100	100	31,91	100
	KONSANTRE	3,12	42,55	4,27	5,74	45,91	8,6	15,38	48,17	23,21
	ARTIK	96,88	30,69	95,73	94,26	29,71	91,4	84,62	28,96	76,79
30	BESLEME	100	31,09	100	100	32,4	100	100	31,78	100
	KONSANTRE	3,09	41,65	4,14	4,56	42,9	6,03	20,38	49,79	31,91
	ARTIK	96,91	30,76	95,86	95,44	31,9	93,97	79,62	27,18	68,09



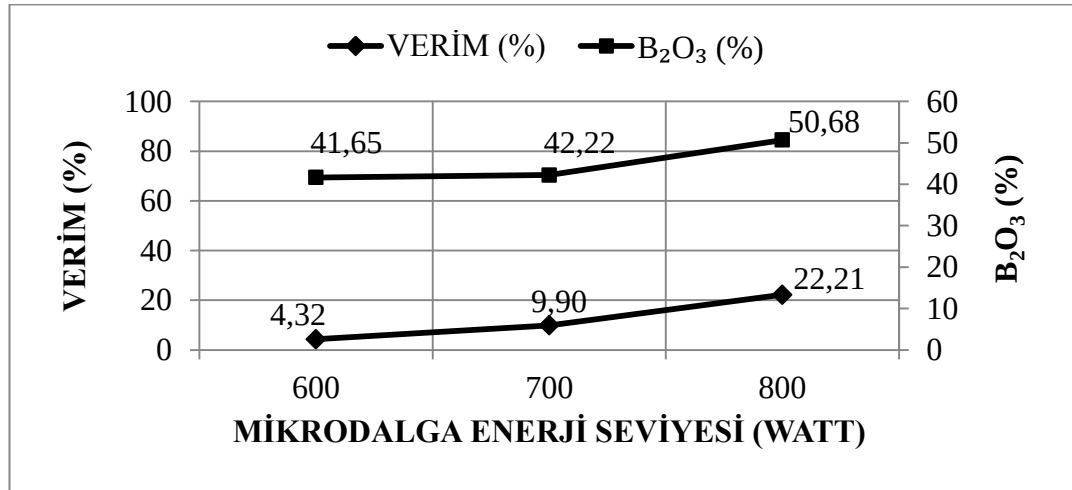
Şekil 10.69 -3+2 mm üleksit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıtılarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

10.4.3 -2+1 mm Tane Boyutlu Üleksit Numunesine Mikrodalga Enerjisi Isıl İşlem Uygulanarak Yapılan Deneyler



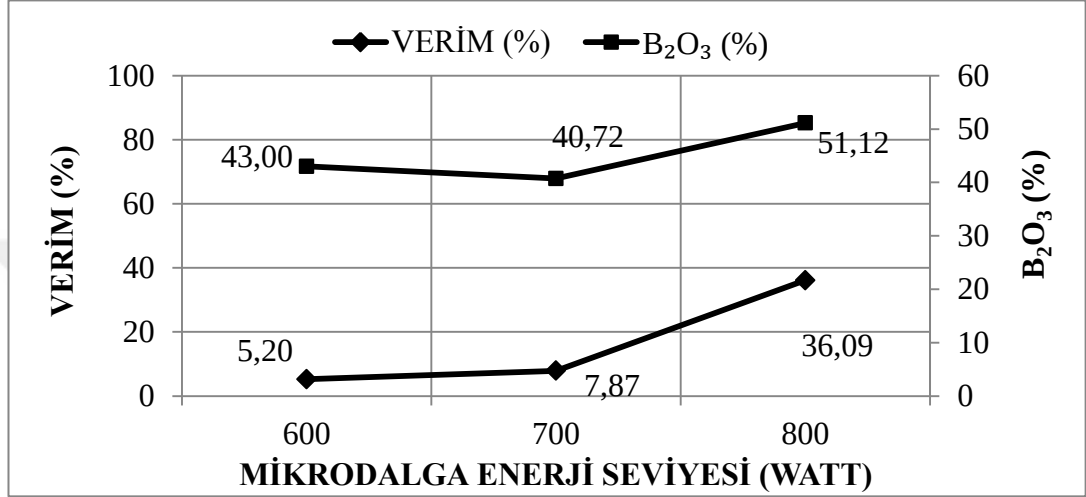
Şekil 10.70 15 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıl işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.70’da görüldüğü üzere, 15 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %1,39 verimle %34,07 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 15 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde’de uygulanmış ve sırasıyla %2,22 verimle %34,77 B₂O₃ konsantresi, %9,10 verimle %41,11 B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.



Şekil 10.71 22,5 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısıl işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.71’de görüldüğü üzere, 22,5 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %4,32 verimle %41,65 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 22,5 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde’de uygulanmış ve %9,90 verimle %42,22 B₂O₃ konsantresi,%22,21 verimle %50,68 B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.

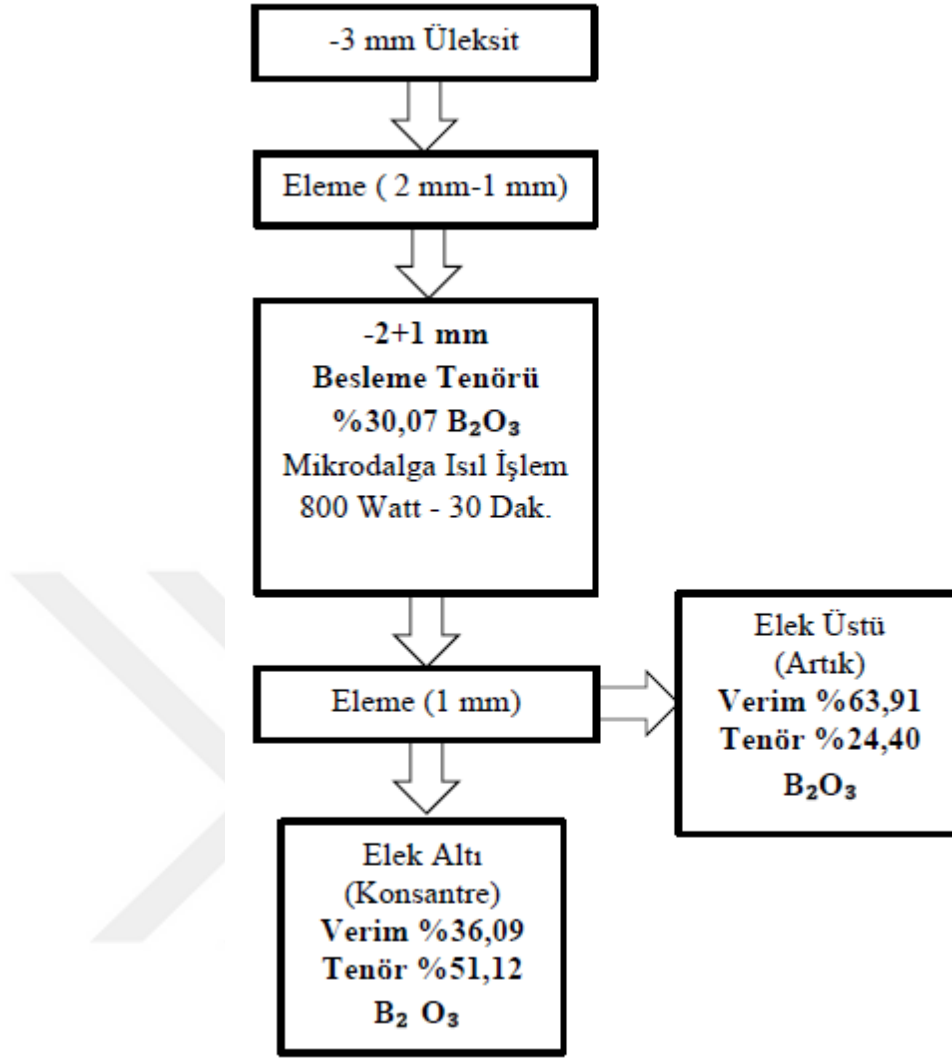


Şekil 10.72 30 dakika boyunca -2+1 mm üleksit numunesine uygulanan mikrodalga enerjisi ısı işlem sonrası tenör ve verim dağılımı

Şekil 10.72’de görüldüğü üzere, 30 dakika süre ile 600 watt enerji seviyesinde yapılan dekrepitasyon işleminden sonra %5,20 verimle %43,00 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30 dakika mikrodalga dekrepitasyon işlemi 700 watt ve 800 watt seviyelerinde’de uygulanmış ve sırasıyla %7,87 verimle %40,72 B₂O₃ konsantre, %36,09 verimle %51,12 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

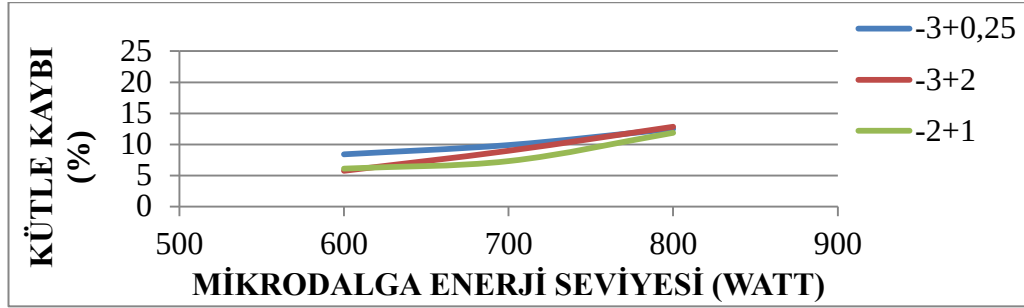
Tablo 10.13 -2+1 mm tane boyutlu üleksit numunesinin mikrodalga enerjisi ısıtma işlemi sonucuna göre verim ve tenör dağılımı

-2+1 MM		MİKRODALGA GÜCÜ (WATT)								
SÜRE (Dak.)	ÜRÜNLER	600			700			800		
		AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)	AĞIRLIK (%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM (%)
15	BESLEME	100	27,73	100	100	27,55	100	100	27,63	100
	KONSANTRE	1,13	34,07	1,39	1,76	34,77	2,22	6,12	41,11	9,1
	ARTIK	98,87	27,66	98,61	98,24	27,43	97,78	93,88	26,76	90,9
22,5	BESLEME	100	28,39	100	100	27,9	100	100	28,88	100
	KONSANTRE	2,95	41,65	4,32	6,54	42,22	9,9	13,23	50,68	22,21
	ARTIK	97,05	27,99	95,68	93,46	26,9	90,1	86,77	25,56	77,79
30	BESLEME	100	27,59	100	100	29,02	100	100	30,07	100
	KONSANTRE	3,34	43	5,2	5,61	40,72	7,87	21,23	51,12	36,09
	ARTIK	96,66	27,06	94,8	94,39	28,33	92,13	78,77	24,4	63,91

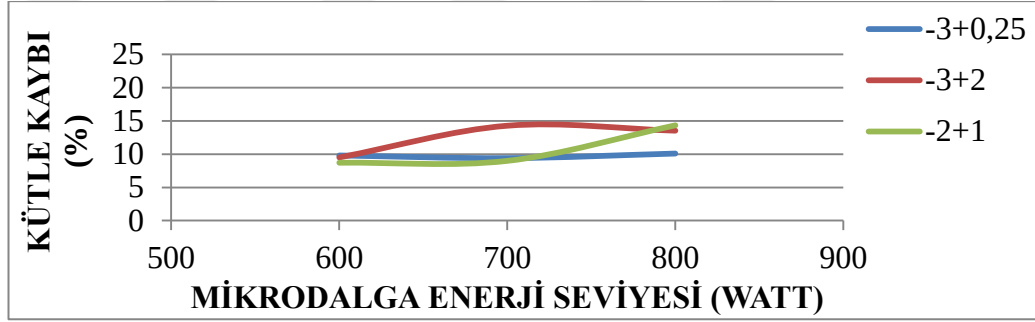


Şekil 10.73 -2+1 mm üleksit cevherlerine mikrodalga enerjisi ısıl işlem uygulanarak en yüksek verim ve tenör değerlerinin elde edileceği akım şeması

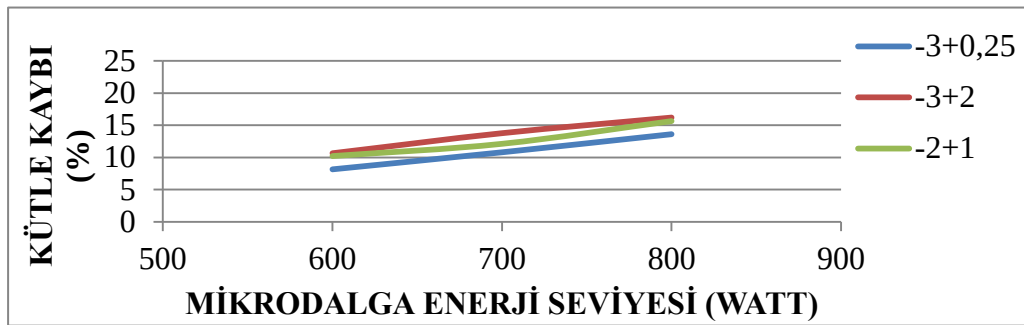
10.4.4 Üleksit Numunelerinin Mikrodalga Isı Enerjisi Altında Kütle Kayıpları



Şekil 10.74 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlemlerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 15 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.75 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlemlerinde kullanılan üç Üleksit fraksiyonunun 22,5 dakika sonundaki kütle kayıpları



Şekil 10.76 Mikrodalga enerjisi ısıtma işlemlerinde kullanılan üç üleksit fraksiyonunun 30 dakika sonundaki kütle kayıpları

Üleksit numuneleri ile 15 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde, şekil 10.73'de görüldüğü üzere -3+0,25 mm, -3+2 mm, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %8,41, %5,76, %6,11 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %12,50, %12,84 ve %11,87 olarak gerçekleşmiştir.

Üleksit numuneleri ile 22,5 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde, şekil 10.74'de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %9,80, %9,51, %8,71 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %10,09, %13,53 ve %14,34 olarak gerçekleşmiştir.

Üleksit numuneleri ile 30 dakika boyunca yapılan mikrodalga ısıtım işlem deneylerinde, şekil 10.75'de görüldüğü üzere -3+0,25, -3+2, -2+1 mm tane boyutlu numunelerin 600 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %8,15, %10,65, %10,21 olarak gerçekleşirken, numunelerin 800 watt mikrodalga enerji seviyesindeki kütle kayıpları sırasıyla %13,61, %16,20 ve %15,65 olarak gerçekleşmiştir.

BÖLÜM ON BİR

SONUÇ VE ÖNERİLER

- Yapılan çalışmalar kapsamında kullanılan numuneler olan -3 mm kolemanit ve üleksit cevherleri sırasıyla % 22,87 B₂O₃ ve % 27,99 B₂O₃ içermektedir.
- -3+0,25 mm tane boyutlu kolemanit numuneleri konvansiyonel ısıtma işlem enerjisine maruz bırakıldıktan sonra 0,25 mm elekten elenerek; elek altının konsantre olarak alınması hedeflenmiş ve sonuçta yüksek B₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Buna göre; optimum sonuç, 600 °C sıcaklıkta 30 dakika dekrepitasyon sonrası %80,82 verimle %55,25 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.
- -3+2 mm ve -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numuneleri ise; konvansiyonel ısıtma işlemine maruz bırakıldıktan sonra fraksiyon aralıkları kendi alt boyut elek açıklığından elenmiş ve sonuçta daha yüksek verimli bir konsantre elde edilmiş, B₂O₃ tenörleri ise -3+0,25 mm tane boyutlu numuneden elde edilen tenörlere yakın olduğu görülmüştür. Buna göre, optimum değerlerin elde edildiği deney sonuçları şöyledir; -3+2 mm tane boyutlu kolemanit numunesi ile 60 dakika, 550 °C sıcaklıkta yapılan konvansiyonel ısıtma işlem deneylerinde %95,62 verim ile %55,04 tenörlü B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir. -2+1 mm tane boyutlu kolemanit numunesine 60 dakika, 600 °C sıcaklıkta yapılan ısıtma işlem deneylerinde %92,56 verim ile %56,07 tenörlü B₂O₃ konsantresi elde edilmiştir.
- Üleksit cevherlerinin konvansiyonel ısıtma işlem enerjisi altındaki kalsinasyon davranışı, kolemanit cevherlerinden farklı sonuçlar vermiştir. -3+0,25 mm tane boyutlu numuneden optimum değerlerin elde edildiği deney şartları 550 °C sıcaklık ve 60 dakikadır. Buna göre; %35,50 verimle %55,19 B₂O₃ konsantre elde edilmiştir. -3+2 tane boyutlu numuneden elde edilen optimum sonuçlar ise 60 dakika ve 600 °C deney şartlarında elde edilen %43,63 verim ve %57,30 B₂O₃ konsantresi şeklindedir. -2+1 mm tane boyutlu Üleksit

numunesine 30 dakika boyunca 600 °C sıcaklık altında uygulanan deneylerden elde edilen optimum sonuçları ise; %49,68 verimli ve %56,81 B₂O₃ tenörlü konsantre şeklindedir.

- Üleksit ısıtıl işlem deneylerinde elde edilen verimlerin kolemanit ısıtıl işlem deneylerinde elde edilen verimlerden oldukça düşük kaldığı izlenmiştir. Üleksit tanelerinin bir kısmının ısı enerjisi altında parçalanmadığından elektrik altına geçmediği görülmüştür.
- Söz konusu cevherlerin mikrodalga ısıtıl işlem enerjisi altındaki davranışı Konvansiyonel ısıtıl işleme göre tamamen farklılık göstermektedir. Bunun nedeni ise kullanılan numune kabının mikrodalga enerjiyi absorbe etmesi ve numunelerin cihazın ayarlanan enerji seviyesinde ısıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir neden ise mutfak tipi mikrodalga cihazlarının belli bir süreden sonra kendini korumaya alarak kapanması ve deney şartlarında süreklilik sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Deney şartlarında süreklilik sağlanması durumunda istenilen verim ve tenör düzeylerine ulaşılabilmesi yüksek ihtimaldir
- -3+0,25 mm kolemanit numunelerinin mikrodalga ısıtıl enerjisi altında yapılan deneylerde elde edilen optimum verim ve tenör değerleri sırasıyla %72,15 ve %53,99'dur. Bu değerlerin elde edildiği deney şartları 30 dakika ve 800 watt şeklindedir. -3+2 mm tane boyutlu numuneye 30 dakika uygulanan 800 watt enerji seviyesinde elde edilen verim ve tenör değerleri sırasıyla %72,15 ve %53,99 şeklindedir. -2+1 mm tane boyutlu numuneye ise 30 dakika boyunca 800 watt mikrodalga enerjisi uygulandığında elde edilen verim ve tenör değerleri sırasıyla %45,95 ve %50,79 şeklindedir.
- Üleksit numunelerinin mikrodalga ısıtıl enerjisi altındaki dağılım özellikleri yine konvansiyonel ısıtıl enerjisi altındaki dağılım özelliği ile benzerlik göstermiş ve elde edilen B₂O₃ verimleri düşük seviyede kalmıştır. Deneylere konu olan her üç fraksiyon aralığındaki üleksit numunelerinden elde edilen optimum sonuçların deney şartları 30 dakika süre ve 800 watt enerji

seviyesidir. -3+0.25 mm, -3+2 mm ve -2+1 mm tane boyutlu numunelerden elde edilen verim ve tenör değerleri sırasıyla; %18,20 verim - %54,21 B₂O₃ tenör, %31,92 verim - %49,79 B₂O₃ tenör ve %36,09 verim - %51,12 tenör şeklindedir.

- Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletmesinde 1,5 milyon ton üzerindeki -3 mm kolemanit ve üleksit konsantratör atıklarının yaklaşık 1 milyon tonu kolemanit ve 500 bin tonu üleksit'tir. Kolemanit cevherinin -3 +0,25 mm fraksiyonunda 550 °C konvansiyonel kalsinasyonu ile %37,5 ağırlık verimiyle (375000 ton) %55,25 B₂O₃ tenörle kazanılabileceği görülmektedir. Dünya piyasalarında kalsine kolemanit ton birim fiyatı 500 USD olduğu göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 190 milyon dolarlık bir gelir elde edilmesi mümkün görülmektedir. Bu durumun yapılabilecek yatırımlar ile birlikte değerlendirilmesi ülke ekonomimiz açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aycul, Ö. (2008). *Eti Bor Emet-Hisarcık Koleanit artıklarının dekrepitasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, DPÜ, Kütahya.
- Aytekın, Y., Laçın, C. ve Yamık, A. (1988). Kırka Tinkal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması. 2. *Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir*. 2, 268-280
- Barış, M., Metin, F., Karabulut, N. ve Özyücel, F., (2018). 8-125 mm Koleanit cevherinin NIR/CCD optik ayırıcı ile zenginleştirilmesi. *Dergipark*, 6 (2), 414-425
- Bütüner, R. (2011). *Emet bölgesi düşük tenörlü Koleanit stoklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, DPÜ, Kütahya.
- Bor Araştırma Enstitüsü. (2016). *Bor Mineralleri*. 18 Eylül 2018, <http://www.boren.gov.tr>
- DPT, (1995). *Yedinci beş yıllık kalkınma planı madencilik ÖİK endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayii hammaddeleri çalışma grubu raporu*, Ankara.
- Doğan, M, Z., Kaytaz, Y., Önal, G. ve Perek K, T. (1997). Bigadiç ve Kestelek Bor artıklarının ısıtma işlem, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir*, 2, 76-85
- Ediz, N. ve Özdağ, H. (2001). Bor mineralleri ve ekonomisi, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2), 133-151

Eskibalıcı, M.F. (2007). *Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Eti Maden, (2006). *Kalite el kitabı*. Ankara

Eti Maden. (2017). *Bor stratejik planı*. 14 Eylül 2018, <http://www.etimaden.gov.tr>

Eti Maden. (2010). *Bor sektör raporu*. 14 Eylül 2018, <http://www.etimaden.gov.tr>

Helvacı, C. (2004). Türkiye Borat yatakları, jeolojik konumu, ekonomik önemi ve Bor politikası, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 5, 66-71

Helvacı, C. ve Alaca, O. (1991). Bigadiç Borat yatakları ve çevresinin jeolojisi ve mineralojisi, *MTA Dergisi* 113, 61-92

Güyağüler, T. (2011). Türkiye Bor potansiyeli 4. *Endüstriyel hammaddeler sempozyumu*, 4, 18-27

Hacıfazlıoğlu, H. (2016). *Ders notları*. İstanbul, İstanbul Üniversitesi

İTO, (2006). *Bor raporu*. İstanbul

İpekoğlu, Ü. ve Polat, M. (1987). Bor endüstrisine genel bakış, *Madencilik Dergisi*, 26 (1) 5- 15

Kaytaç, Y., Önal, G. ve Güney, A. (1986). Bigadiç Kolemanit artıklarının değerlendirilmesi, 1. *Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu*, 1, 237-249

Kılınç, E., Mordoğan, H. ve Tanrıverdi, M., (2001). Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve teknolojisi, 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu İzmir*, 4, 211-234

Kılıç, A.M. (2004). Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri, 2. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, 2, 56-63

MTA. (2016). *Bor hakkında genel bilgiler*. 18 Eylül 2018, [http:// www.mta.gov.tr](http://www.mta.gov.tr)

Özdağ, H., Bozkurt, R. ve Uçar, A. (1988). Kestelek Bor yıkama atıklarından Borun kazanılması. 2. *Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu*, 2, 98-102

Özkan, Ş.G., Çebî, H., Delice, S. ve Doğan, M. (1997). Bor minerallerinin özellikleri ve madenciliği. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 2, 75-81

Sezgin, S., Gökmen, F. ve Dursun, N. (2005). Tarımda Bor'un Önemi, 1. *Ulusal Bor Çalıştayı*, Ankara 1, 147-154

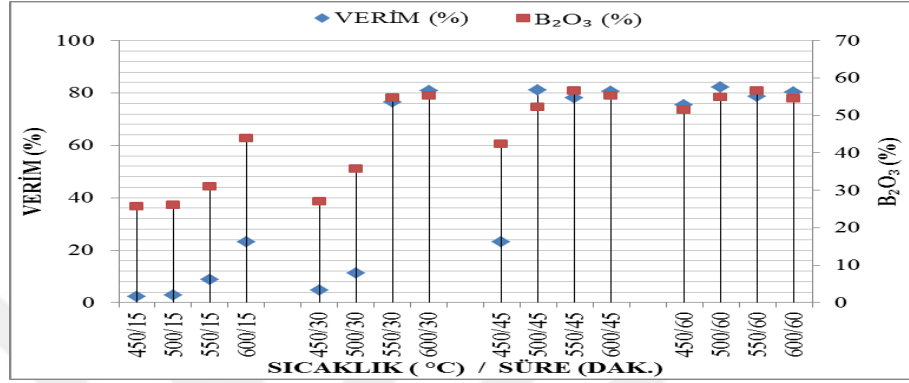
Tolun, R., Yazar, B. ve Gündiler, İ. (1972). Kolemanit cevherlerinin dekrepitasyon yolu ile zenginleştirilmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 11, (5), 278-281

Yağmur, Y. (2012). *Birlikte çöktürme - mineralizasyon yöntemi ile sulu çözeltilerden Bor kazanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

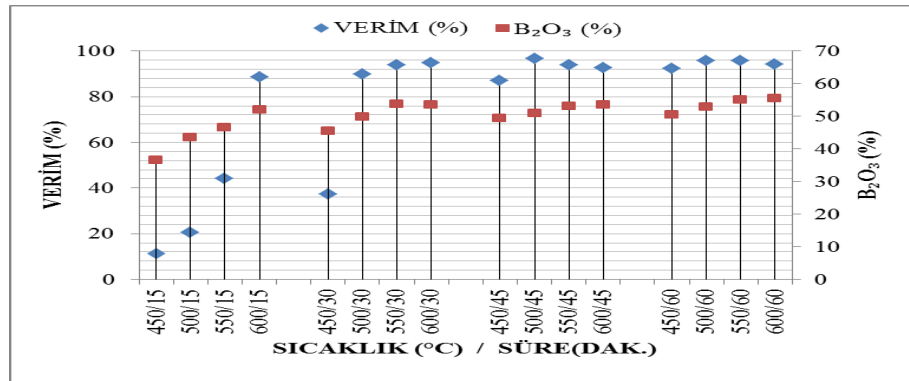
Yazar, B. (1973). Düşük tenörlü Kolemanit cevherinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi*, 3, 89-94

EKLER

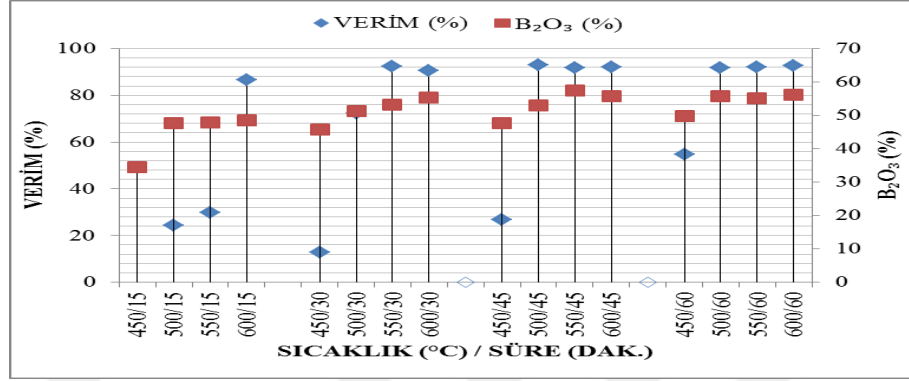
Ek - 1: -3+0,25 Kolemanit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde edilen Tenör ve Verim dağılımı



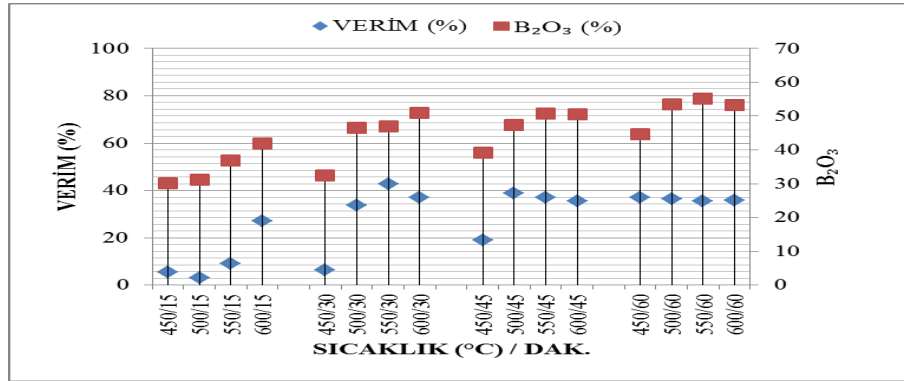
Ek - 2: -3+2 mm Kolemanit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



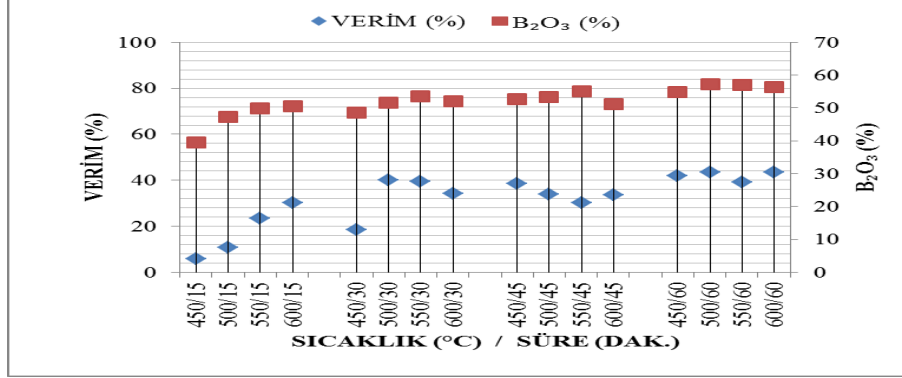
Ek - 3: -2+1 mm Kolemanit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



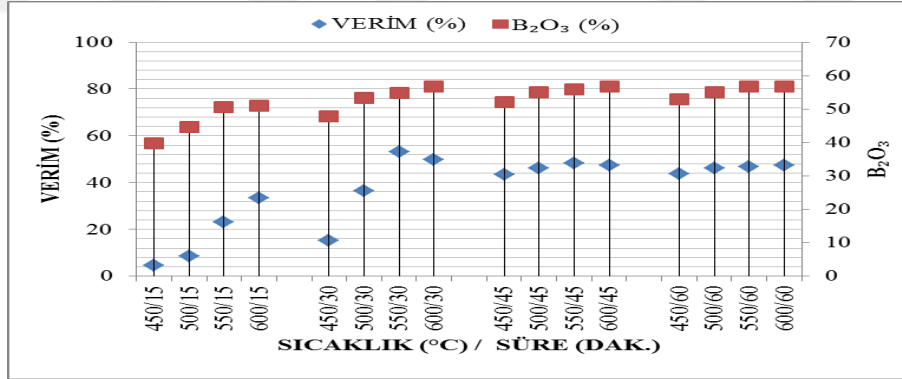
Ek - 4: -3+0,25 Üleksit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



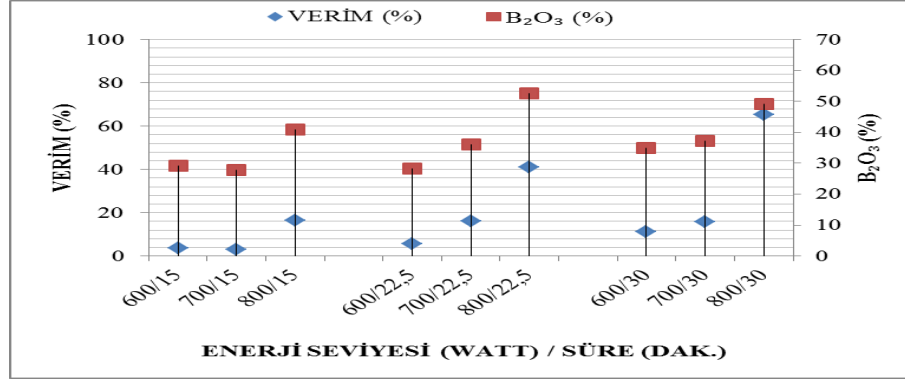
Ek - 5: -3+2 mm Üleksit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



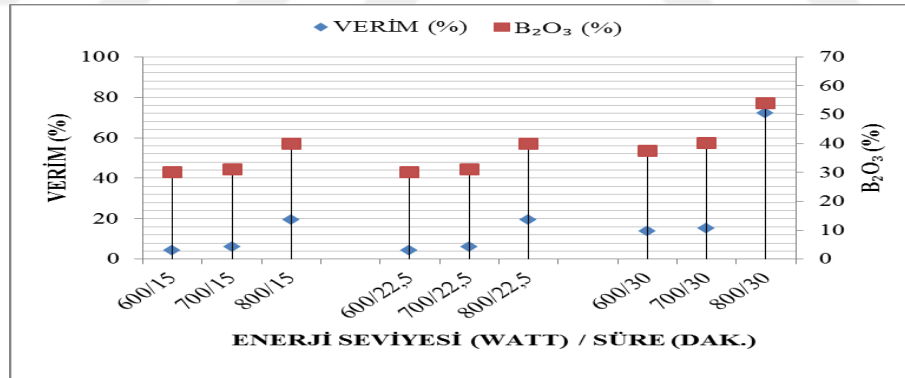
Ek - 6: -2+1 mm Üleksit Numunesine 15-60 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



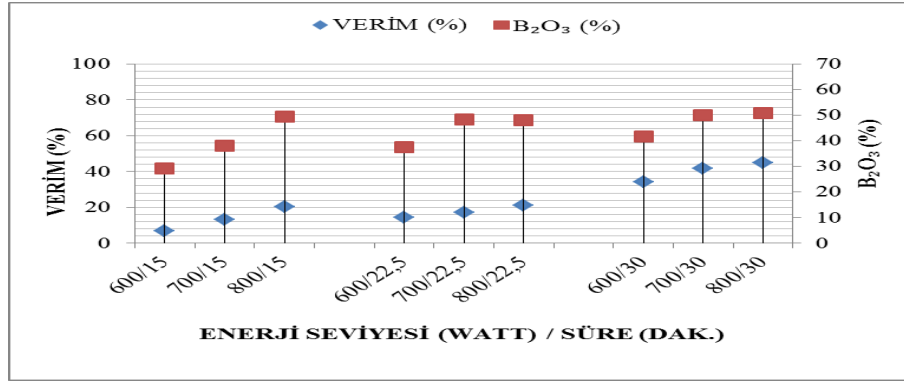
Ek - 7: -3+0,25 Kolemanit Numunesine 15-30 dak. Mikrodalga Enerji Isıl İşlem Uygulanarak Elde edilen Tenör ve Verim Dağılımı



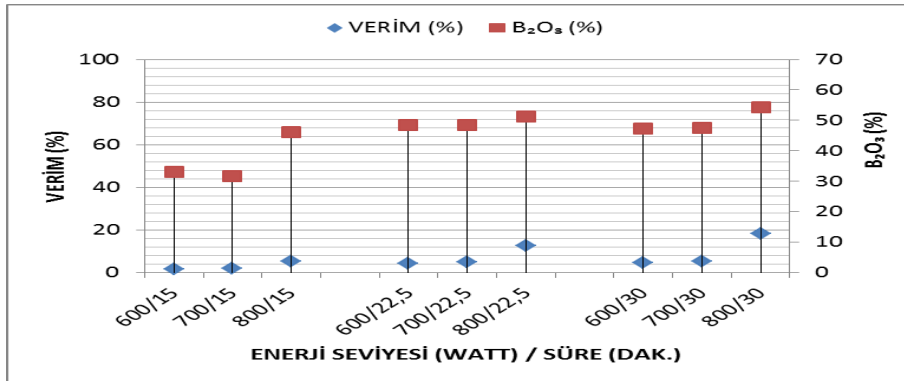
Ek - 8: -3+2 mm Kolemanit Numunesine 15-30 dak. Mikrodalga Enerji Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



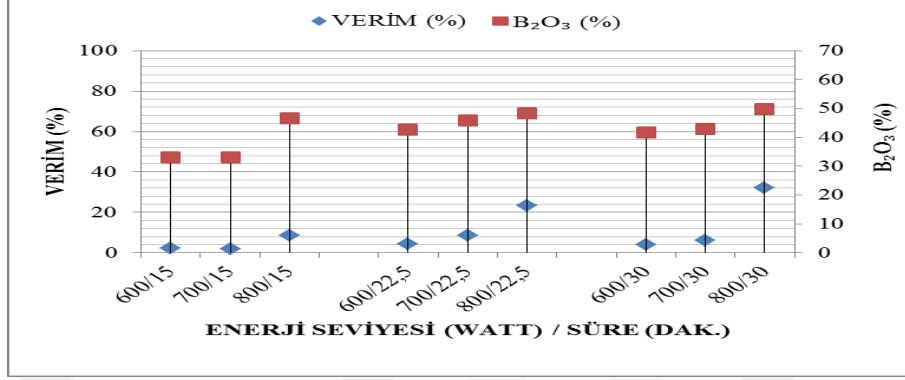
Ek - 9: -2+1 mm Kolemanit Numunesine 15-30 dak. Mikrodalga Enerji Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



Ek - 10: -3+0,25 Üleksit Numunesine 15-30 dak. Mikrodalga Enerji Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



Ek - 11: -3+2 mm Üleksit Numunesine 15-30 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı



Ek - 12: -2+1 mm Üleksit Numunesine 15-30 dak. Konvansiyonel Isıl İşlem Uygulanarak Elde Edilen Tenör ve Verim Dağılımı

