

EMET KOLEMANİT KONSANTRATÖR -3 mm
ATIKLARINDAN KALSİNASYON VE
BRİKETLEME İLE SATILABİLİR ÜRÜN
ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI
Medine KOCA
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Ekim-2007

EMET KOLEMANİT KONSANTRATÖR -3 mm ATIKLARINDAN KALSİNASYON VE
BRİKETLEME İLE SATILABİLİR ÜRÜN ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI

Medine KOCA

Dumlupınar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail BENTLİ

Ekim-2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Medine KOCA' nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Emet Kolemanit Konsantratör -3 mm Atıklarından Kalsinasyon ve Briketleme ile Satılabilir Ürün Eldesinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2007

Üye : Prof. Dr. Ahmet YAMIK

Üye : Prof. Dr. Muammer KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail BENTLİ (Danışman)

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.... Gün ve Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT

Fen bilimleri Enstitü Müdürü

EMET KOLEMANİT KONSANTRATÖR -3 mm ATIKLARINDAN KALSİNASYON VE BRİKETLEME İLE SATILABİLİR ÜRÜN ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI

Medine Koca

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. İsmail Bentli

ÖZET

Bor atıklarının çevreye verdiği zarar ve depolama maliyetleri Bor İşletmelerinin önemli problemlerinden biridir. Bu çalışmada -3 mm Emet Kolemanit Espey Konsantratör tesisi atıklarından satılabilir bir ürün elde etmek amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu problemler çözülmeye çalışılırken, aynı zaman da ülke ekonomisine de katkı sağlanacaktır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık numunesinde % 19.2 B₂O₃ ve dikkate değer miktarlarda Arsenik ile Fe₂O₃ tespit edilmiştir. B₂O₃'ü kazanmak amacıyla dekrepitasyon yöntemi kullanılmıştır. Zenginleştirme ile elde edilen çok ince boyutlarda kalsine kolemanit konsantreleri briketleme yöntemi ile satılabilir hale getirilmiştir. Dekrepitasyon deneyleri sonunda -1.18 +0.5mm boyutunda 850°C sıcaklıkta 60 dk sürede % 53.91 B₂O₃ kazanma verimiyle ve %92.58 arsenik uzaklaştırma verimiyle 700 ppm Arsenik içeren % 35.64 B₂O₃ kalsine kolemanit konsantrisi elde edilebilmektedir. -0.5 +0.212 mm boyutunda 850°C sıcaklıkta 60 dk sürede % 56.86 B₂O₃ kazanma verimiyle ve %82.67 Arsenik uzaklaştırma verimiyle 1610 ppm Arsenik içeren % 36.07 B₂O₃ elde edilebilmektedir. -1.18 +0.5mm ve -0.5 +0.212mm boyutundaki kalsine kolemanit tenörlerinin birbirine yakın olması nedeniyle birleştirilmiş ve briketleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Briketlenecek kalsine kolemanitin tenörü % 35.87 B₂O₃ ve boyutu 0.212 mm'nin altındadır. Optimum briketleme deney şartları olarak 20 gr numune miktarı, % 30.28 borik asit miktarı, % 25 nem ve 6 kN basınç kuvveti tespit edilmiştir. Bu koşullarda % 43 B₂O₃ tenörüne sahip briketlerin ortalama basınç dayanımları 6.615 N/mm² olarak ölçülmüştür.

Emet Espey -3mm konsantratör atıkları ile yapılan laboratuvar ölçekli Dekrepitasyon ve Briketleme deneyleri sonucunda, tenörü % 43 B₂O₃ ve boyutları 30mm çapında, 30 mm yüksekliğinde olan satılabilir kolemanit briketleri elde edilebilmektedir. Dekrepitasyon yönteminin kuru olması çevreye daha az zarar verilmesine neden olacaktır.

Anahtar Kelimeler:Atık Değerlendirme, Briketleme, Bor Atıkları, Dekrepitasyon, Kalsinasyon.

AN INVESTIGATION INTO APPLICATION OF CALCINATION AND BRIQUETTING TO -3 MM TAILING OF EMET-COLEMANITE CONCENTRATOR PLANT

Medine Koca

Mining Engineering, M. Sc. Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail Bentli

SUMMARY

Some of the main problems Borate Industries faces are higher holding costs and serious environmental hazards caused by borate tailing. The goal of this research study is to produce a saleable borate product from the -3mm tailings of Emet-Espey Concentrator Plant. By solving this problem, it will contribute significantly to our countries economy.

In experimental studies, it has been observed that the tailings samples contained % 19.2 B_2O_3 and significant amount of Arsenic (As) and Fe_2O_3 . Decrepitation method is used to recover the B_2O_3 contents of the samples. After processing the very finely sized colemanite concentrates by calcinations, the samples were briquetted to obtain the saleable products.

By applying the decrepitation tests, a calcined colemanite concentrate containing % 35.64 B_2O_3 and 700 ppm Arsenic at a recovery of % 53.91 B_2O_3 and removal rate of % 92.58 Arsenic were produced of 850°C in 60 minute tests from the -1.18 +0.5 mm size samples. For the -0.5 +0.212 mm size samples, a concentrate containing % 36.07 B_2O_3 and 1610 ppm Arsenic were produced at a recovery of % 56.86 B_2O_3 and removal rate of % 82.67 Arsenic at 850°C in the 60 minute tests. For the -1.18 +0.5 mm and -0.5 +0.212 mm size samples, they were added to test together by briquetting since their grades were very close each other. The grade of calcined colemanite samples which are briquetted are % 35.87 B_2O_3 and sized under 0.212 mm. Optimum parameters of briquetting tests were obtained as samples weight of 20 gr, % 30.28 boric acid, % 25 moisture and 6 kN compressive stress. In these conditions, the average compressive strengths of briquette samples with a grade of % 43 B_2O_3 were measured as 6.815 N/mm².

From the results of laboratory-scale decrepitation tests on the tailings of-3mm sized, Emet-Espey Concentrator Plant, saleable products with % 43 B_2O_3 content with 30mm diameter and 30 mm height can be obtained by briquetting method. Additionally, less environmental hazards will be caused by decrepitation because of dry processing.

Keywords: Borate Tailings, Decrepitation, Calcinations, Briquetting, Tailing Evaluation

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım sırasında sabır ve anlayış gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail BENTLİ'ye içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar deneylerimde bana yardım eden ve destek olan İnşaat Mühendisliği Laboratuvarından Uzman Murat Çetin'e ve Maden Mühendisi Emine Gökçe'ye teşekkür ederim.

Özellikle tüm öğrenim yaşamımda her türlü imkânı sağlayan aileme çok teşekkür ederim.

Medine KOCA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Borun Oluşumu ve Mineralleri.....	2
2.2. Bor Elementinin Genel Özellikleri.....	3
2.3. Bor Minerallerinin Genel Özellikleri	4
2.4. Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları	5
2.5. Türkiye’deki ve Dünyadaki Bor Yatakları ve Rezervi.....	8
2.6. Türkiye’de ve Dünyada Bor Üretimi.....	10
2.7. Türkiye’de ve Dünyada Bor Tüketimi	11
2.8. Türkiye’de ve Dünyada Bor Ticareti.....	12
3. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	13
3.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri.....	13
3.1.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme (Tavuklama)	13
3.1.2. Aşındırarak sınıflama ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme	13
3.1.3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme.....	14
3.2. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri.....	15
3.3. Isıl İşlem (Dekrepitasyon) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme.....	16
3.3.1. Bor cevherlerinin dekrepitasyon ile zenginleştirme akım şemaları	17
3.4. Briketleme	29
3.4.1. Bor cevherlerinin briketleme akım şemaları.....	31

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLME STRATEJİLERİ.....	37
4.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri.....	37
4.2. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri	37
4.2.1. Atıkların uygun şekilde depolanması.....	37
4.2.2. Atıklardan borun tekrar kazanılması.....	38
4.2.3. Atıkların uygun sektörde kullanılması.....	39
5. MALZEME VE YÖNTEM	40
5.1. Malzeme	40
5.1.1. Elek analizi	41
5.1.2. Emet kolemanit yatağının mineralojisi ve jeolojisi	42
5.2. Yöntem.....	43
5.2.1. Kalsinasyon ve ayırma yöntemi.....	43
5.2.2. Briketleme yöntemi.....	43
5.2.3. Mukavemet ölçüm yöntemi	46
5.2.4. Yoğunluk analizi yöntemi.....	47
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
6.1. Kalsinasyon Deneyleri	49
6.1.1. Kalsinasyon sıcaklığının tespiti	49
6.1.2. Kalsinasyon süresinin tespiti	54
6.1.3. Kalsine ve atık ürünlerin yoğunluk analizi	58
6.2. Briketleme Deneyleri	58
6.2.1. Numune miktarının tespiti	59
6.2.2. Borik asit miktarının tespiti	60
6.2.3. Nem miktarının tespiti	62
6.2.4. Basma kuvveti miktarının tespiti	63
6.2.5. Hipotez testi	64
7. SONUÇLAR ve YORUM	65
KAYNAKLAR DİZİNİ	69
EKLER.....	76
EK-1 Deney Sonuç Tabloları	76
Ek Çizelge 1. -3 +1.18mm'de sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deney sonuçları.....	76

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
Ek Çizelge 2. -1.18 +0.5mm’de sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deney sonuçları.....	77
Ek Çizelge3. -0.5 +0.212mm’de sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deney sonuçları.....	78
Ek Çizelge 4. -0.212mm’de sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deney sonuçları..	79
Ek Çizelge 5. -3 +1.18mm’da gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deney sonuçları.....	80
Ek Çizelge 6. -1.18 +0.5mm’de gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deney sonuçları.....	80
Ek Çizelge 7. -0.5 +0.212mm’de gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deney sonuçları.....	81
Ek Çizelge 8. -0.212mm’de gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deney sonuçları.....	81
Ek Çizelge 9. Kalıba ilave edilen harç miktarının briketleme mukavemetine etkisi.....	82
Ek Çizelge 10. Borik asit miktarının briketleme mukavemetine etkisi.....	82
Ek Çizelge 11. Nem miktarının briketleme mukavemetine etkisi.....	82
Ek Çizelge 12. Basma kuvvetinin briketleme mukavemetine etkisi.....	82
Ek Çizelge 13. Optimum sonuçlara göre tekrarlanan test sonuçları.....	83
EK–2 Kolemanitte B ₂ O ₃ ve Arsenik Analiz Yöntemi.....	84
EK–3 Hipotez Testi.....	86
EK–4 Bor ve Bor Türevleri Tesisleri Akım Şeması.....	87
Ek Şekil 1. Emet-Kolemanit İşletmesi Espey Konsantratör Tesisi akım şeması.....	87
Ek Şekil 2. Emet-Kolemanit İşletmesi Hisarcık Konsantratör Tesisi akım şeması.....	88
Ek Şekil 3. Emet-Kolemanit İşletmesi Borik Asit Fabrikası Teknolojik akım şeması.....	89
Ek Şekil 4. Bigadiç-Kolemanit İşletmesi Kırma-Öğütme Tesisi akım şeması.....	90
Ek Şekil 5. Bigadiç-Kolemanit İşletmesi Konsantratör Tesisi akım şeması.....	91
Ek Şekil 6. Kırka-Boraks İşletmesi Konsantratör Tesisi akım şeması.....	92
Ek Şekil 7. Kırka-Boraks İşletmesi Boraks Penta I Fabrikası Tesisi akım şeması.....	93
Ek Şekil 8. Kırka-Boraks İşletmesi Boraks Penta II Fabrikası Tesisi akım şeması.....	94
Ek Şekil 9. Kırka-Boraks İşletmesi Boraks Penta III Fabrikası Tesisi akım şeması.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünya Bor Rezervlerinin Oransal Dağılımı.....	9
3.1. Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemiyle Zenginleş. Akım Şeması	17
3.2. Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi Akım Şeması	18
3.3. Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi Akım Şeması.....	19
3.4. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratların Kompaktlanması için Dehidrasyon Akım Şeması	20
3.5. Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon yolu İle Zenginleş. Araştırılması Akım Şeması	21
3.6. Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi Akım Şeması	22
3.7. Kolemanitin Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkisi Akım Şeması	23
3.8. Tinkal ve Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi ve Yaş Yöntemle Ekonomik Yönden Mukayesesi Akım Şeması.....	24
3.9. Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem İle Zenginleştirme Yöntemleri Akım Şeması.....	25
3.10. Tinkal Cevherinin Kalsinasyon-Klasifikasyon Yöntemi İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması	26
3.11. Üleksitteki Kalsinasyon Parametrelerinin Tayini ve Kolemanitten Üleksiti Ayırma İmkani Akım Şeması.....	27
3.12. Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi Akım Şeması.....	28
3.13. Emet Hisarcık Şlam Atıklarının Zenginleştirilmesi ve Briketlenmesi Akım Şeması ...	31
3.14. Toz Üleksite Boyut Kazandırma Akım Şeması	32
3.15. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratın Kompaktlanma Akım Şeması.....	33
3.16. Kolemanit gibi Metalik Olamayan Mineralin Aglomerasyonu Akım Şeması	34
3.17. Tinkal Cevherlerinden Elde Edilen Konsantre ve Artığın Kompaktlaştırılması ve Konsantrenin Çözülmesi Akım Şeması	35
3.18. Kolemanit Flotasyon Konsantrelerinin Briketleme Yoluyla Aglomerasyonu Akım Şeması	36
4.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesinde Mevcut Seçenekler	38
5.1. Emet Kolemanit Atık Numunesinin Tane Boyutuna Bağlı Olarak B ₂ O ₃ Tenör ve Dağılımı	41
5.2. 3mm Emet Kolemanit Atık Numunesinin XRD Grafiği.....	42
5.3. Briketleme Deneğinde Kullanılan Silindirik Kalıp.....	44
5.4. Briketleme Kullanılan Hidrolik Pres Makinesinin Görünümü	44
5.5. Briketlenmiş Kalsine Kolemanit Numunelerinin Görünüşü	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. Trittech Marka Tek Eksenli Basınç Cihazı	46
6.1. Deneysel Çalışmaların Akım Şeması.....	48
6.2. Dekrepitasyon Deneyleri Akım Şeması.....	49
6.3. -3 +1.18mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları	50
6.4. -1.18 +0.5mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları	51
6.5. -0.5 +0.212 boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları .	52
6.6. -0.212mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları ..	53
6.7. -3 +1.18mm boyutunda gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları	54
6.8. -1.18 +0.5mm boyutunda gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları	55
6.9. -0.5+0.212mm boyutunda yapılan dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları.....	56
6.10. -0.212mm boyutunda yapılan dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları.....	57
6.11. Briketleme deneyi akım şeması	59
6.12. Kalıba ilave edilen harç miktarının briketleme mukavemetine etkisi.....	60
6.13. Borik asit miktarının briketleme mukavemetine etkisi	61
6.14. Nem miktarının briketleme mukavemetine etkisi	62
6.15. Basma kuvvetinin briketleme mukavemetine etkisi.....	63
6.16. Optimum sonuçlara göre tekrarlanan test sonuçları	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Başlıca bor mineralleri	3
2.2. Ham bor ürünleri	6
2.3. Rafine bor ürünleri	7
2.4. Bor cevher ve ürünlerinin kullanım alanları	8
2.5. Türkiye borat yataklarının ana özelliği	10
2.6. Türkiye bor rezervleri ve Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler	10
5.1. Emet Kolemanit Tesisi -3 mm atık numunesinin kimyasal analiz sonuçları	40
5.2. Atık kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi ve %B ₂ O ₃ dağılımları	41
7.1. Dekrepitasyon deney sonuçları	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
q_u	Serbest basınç mukavemeti
P_{max}	Kırılma anındaki en büyük yük
A_f	En kesit alanı
A_o	Numunenin başlangıç da ki en kesit alanı
H_o	Numunenin yüksekliği
G_p	Piknometre ağırlığı
G_{NP}	Piknometre+numune ağırlığı
G_{NPS}	Piknometre+su+numune ağırlığı
G_{PS}	Piknometre+su ağırlığı

Kısaltmalar Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Bleu	Belçika-Lüksemburg Ekonomik Birliği

1.GİRİŞ

Bor modern teknolojide çok çeşitli ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Gelişen teknolojiler, bor kullanımını ve bora bağımlılığı artırmaktadır. Bu nedenle borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da belirginleşmektedir [1]. Türkiye sahip olduğu bor minerallerinin rezervlerinin büyüklüğü, nitelikleri ve çeşitliliği açısından Dünya’da birinci sırada bulunmaktadır [2, 3].

Etibor A.Ş. son yıllarda arama, üretim, zenginleştirme, pazarlama ve araştırma alanlarında önemli faaliyetler gerçekleştirmiştir. Özellikle bor zenginleştirme tesislerine ve rafine bor ürünleri üretecek tesislere büyük önem verilmiştir [2, 3, 4]. Etibor A.Ş. yapmış olduğu yatırımlarla sadece üretimi ve ürün çeşidini arttırmakla kalmamış, aynı zamanda çevreye de büyük önem vermiştir. Bor işletmelerinin olduğu yerlerde atık barajı inşa edilerek borlu suların çevreye vereceği zararlar önlenmiştir. Ancak daha önemli olan atık barajlarından tamamen kurtulmaktır. Bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalardan olumlu sonuçlar alındığı belirtilmektedir [3].

Ülkemizdeki tüm bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlu cevherlere uygulanabilmekte, ince boyuttaki (-0.5 mm) %15-20 B₂O₃ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir [5, 6]. Bu tesislerde her yıl 600 000 ton atık ortaya çıkmakta bunlar da stoklama ve çevre kirliliğine neden olmaktadır [7]. Ayrıca atıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da büyük önem taşımaktadır. Bu tesislerden birisi olan Eti Bor Emet Kolemanit İşletmesi Tesisi’nden %88’i kaba ve %12’ si ince olmak üzere yılda 1,5 milyon ton atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklardan %26’lara varan B₂O₃ kaybı meydana gelmektedir [8, 9].

Bu çalışmanın amacı Emet-Espey atık sahasından alınan -3 mm şlam atıkları içerisindeki kolemanit minerallerinin satılabilir bir ürün haline getirilmesi amacıyla dekrepitasyon ve briketleme işlemlerini kapsamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Borun Oluşumu ve Mineralleri

Bor yatağı oluşumu için bölgede; genç volkanizmanın egemen olması, az yağış alan kurak ya da yarı kurak yörelerin varlığı, bölgenin tektonik yapısının magmadan kaynaklanan ve bor içeren buhar ya da sıcak suların yukarılara doğru hareketine izin vermesi, buharın ve sıcak suların bor yatağı oluşturması için iyon alışverişini gerçekleştirebilmesi ve içerisinde çökelebilecek kapalı göl sistemlerinin olması gibi karmaşık olayların varlığı gereklidir. Borca zengin sıcak sular ve buharlar (genellikle bor halojenürler ve borik asit buharları) magmadan kaynaklanan termal akıntılarla birlikte, bulunan fay hatları boyunca yol almakta, kapalı göl sistemine ulaştıklarında gölde mevcut olan Na ve Ca iyonları ile reaksiyona girerek bor tuzlarını oluşturmaktadırlar. Getirimin devam etmesi ve buharlaşma sonucu göldeki bor tuzu konsantrasyonu sürekli olarak artmaktadır [10, 11].

Kökenleri ve jeolojik ortamına göre bor minerallerinin oluşum yerleri 3 gruba ayrılabilir. Bunlar;

- 1- Genelde silikat ve demir oksitlerden oluşan ve sokulumlarla ilişkili skarn mineralleri,
- 2- Denizel tortullarla ilişkili magnezyum oksitler,
- 3- Karasal tortullar ve volkanik aktivite ile ilişkili sulu sodyum ve kalsiyum boratlarıdır.

Türkiye’de üretilen boraks, kernit, kolemanit ve üleksit 3. grupta yer almakta ve bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu’da bulunmaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi’nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km’lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km’lik bir alanda Bigadiç, Sultançayırı, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır. Bor yataklarını oluşturan playa göllerindeki tortulların litolojisi, birbirlerinden az çok farklılıklar göstermesine karşın genellikle çakıltaşı, kumtaşı, tuf, tüfit, kiltası, marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır [11].

Bor mineralleri yapılarında bulunan Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılırlar. Na kökenli olanlara tinkal (boraks), Ca kökenli olanlara kolemanit ve Na-Ca kökenli olanlara üleksit denir. Bu minerallerin bir çoğu bileşim olarak aynı olmasına rağmen bünyelerinde içerdikleri su miktarlarının farklı olması nedeniyle birbirlerinden ayrılırlar. Kristalleşmiş tek

bor minerali borakstır. Bazı pegmatitik ve kontakt metamorfik kayalar da turmalin, ludijit veya datolit gibi bor mineralleri içerirler. Kütlesel olarak yatak oluşturmalarının yanı sıra tuzlu göl sularında bulunan bor da ekonomik olarak işletilebilmektedir [11, 13]. Başlıca bor mineralleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Başlıca bor mineralleri

Adı	Formülü	%B ₂ O ₃	% H ₂ O	Öz.Ağır(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	50.9	21.9	2.26-2.48
Pandermit	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	2.40
Borasil	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2		2.90
Szaybelit	Mg(BO ₂)(HO)	41.4		
Göl suları		1.5-2.0		

2.2. Bor Elementinin Genel Özellikleri

Yeryüzünün 51. yaygın elementi olan bor, toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunur. Toprakta ortalama 10-20 ppm, deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.001-1.5 ppm bor bulunmaktadır [2].

Bor elementinin atom ağırlığı 10.81±0.005, ergime noktası 2190±20°C, kaynama noktası 3660 °C, ısıl genleşme katsayısı (25-1050 °C arasında, 1°C için) 5x10⁻⁶ – 7x10⁻⁶, buharlaşma ısısı 128 kcal/g atom, mors sertliği 11, oksidasyon sayısı 3, elektronegatifliği 2, iyonlaşma derecesi 191 kcal/g atom olarak ölçülmüştür. Kimyasal sembolü “B” olup, periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir [6, 13, 14, 15].

Borun kimyasal özellikleri yapısına ve tane boyuna göre değişir. Amorf yapıdaki bor birçok kimyasal madde ile kolayca reaksiyona girerken, kristal yapıdaki bor daha zor reaksiyona girmektedir. Bor; metallerle ve metaloksitlerle boridleri, karbonlarla borkarbiti, halojenürlerle borhalidleri oluşturur. Yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit, 1000 °C’nin üzerindeki sıcaklıkta oksijen ile reaksiyonu sonucu bor oksit oluşur [9, 16, 17].

Bor elementinin genel özellikleri aşağıda sıralanmaktadır;

- Erime derecesi yüksektir.
- Eriyip soğutulduğunda çok sert ve kırılabilir bir madde haline gelir [18] .
- Elmastan sonra ametaller arasında elektronegatifliği en yüksek olan elementtir [19].
- Karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla olan elementtir [6].
- Üzerine alkol ve sülfürik asit dökülerek yakıldığında yeşil bir alevle yanar. Bu bor minerallerinin tespitinde oldukça sık kullanılan bir özelliktir [18, 20].
- Oksijene karşı ilgisi çok yüksek olan bir elementtir [6].
- Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron boyutundaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez. Bor kristalken siyah renkli, gevrek, sert ve katı haldedir, amorf bor siyah ve kahverengidir [1, 10].
- Yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilir katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan katı yakıt hücresi olarak da kullanılmaktadır [12].
- Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu metallere has bir özellik değildir. Diğer metalik özelliklerinin de çok düşük olması nedeni ile bor ametal olarak sınıflandırılmaktadır [10, 18, 20, 21].

2.3. Bor Minerallerinin Genel Özellikleri

- Boratlar ülkemiz hammadde kaynaklarının en önde gelenlerinden biridir.
- Dünyadaki toplam rezervin %70'den fazlası ülkemizde bulunur.
- Kullanım alanının çok çeşitli olmasına rağmen B_2O_3 'ün geri kazanılması mümkündür.
- Bor minerali yerine başka bir bor minerali kullanılabilirken, bor ürünlerinin yerini alabilecek kalitede ve ucuz bir ikame hammadde yoktur.
- Bor 2.33 gr/cm^3 yoğunluklu kristal ve 2.3 gr/cm^3 yoğunluklu amorf olmak üzere iki şekilde bulunur [13, 22].

- Kolemanit minerali monoklinal sistemde kristallenmiştir. Birçok yatakta parlak kristaller halinde ve oluklar içinde yer almaktadır. Beyaz-gri ve yeşilimsi gri gibi tipik renkleri vardır. Sertliği 4-4,5 ve özgül ağırlığı 2,52 olup suda hemen hemen hiç çözünmemesine rağmen asitte çok kolaylıkla erimektedir. 25 °C’de sudaki çözünürlüğü yaklaşık 0,81 gr/l’dir. 400 °C’nin üzerinde ısıtıldığı zaman çatırdayarak pudra halinde kalsine (dekrepitasyon) olmaktadır [6, 23].

- Boraks (Tinkal), bor endüstrisi için diğerlerine göre çok daha önemli bir mineraldir. En belirgin özelliği suda çok kolay çözünmesidir. Çözünürlük ve suda çözünme hızı, su sıcaklığı ile artar. Genellikle renksiz ve saydam olmasına rağmen, bünyesindeki diğer bileşenlere göre pembe veya sarımsı gri renkler de taşıyabilmektedir. Sertliği 2-2.5 olup, dilinimi nadiren iyi, gevrek ve konkoidal kırınımlıdır. Monoklinal ve kristal yapısı kısa prizma şeklindedir. Özgül ağırlığı 1.72 olup, maden yataklarında killi ara katlı, üleksit ve tinkalkonit ile birlikte bulunur. Boraks minerali başlıca Borun Ca-ABD, Kıbrıs-Türkiye ve Tincalayu-Arjantin’de bulunmaktadır [23].

- Üleksit, Playa tipi göllerde veya yakın-kuaterner yaşlı bataklıkları yakınlarında bulunan en yaygın bor mineralidir. Bu şekilde oluşan üleksitler yumuşak, nem içeriği yüksek, lifsi kristaller şeklinde bulunurlar. Bu tip üleksitlere Güney Amerika ve Çin’de rastlanmaktadır. Türkiye’de ve ABD’de ki Boron ve Death Valley’de bulunan neojen yaşlı üleksitler ise daha sert, yoğun ve iyi tabakalanmıştır. Bu üleksit beyaza çalan hafif şeffaf görünüşünden dolayı “pamuk gülü” olarak da adlandırılır. Sertliği 2.5 ve özgül ağırlığı 1.96’dır. Soğuk suda az sıcak suda ve asit içerisinde kolayca çözülür [2].

2.4. Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları

Endüstride kullanılan bor ürünleri, üretim aşamaları ve prosesleri ile kullanım alanları dikkate alınarak; ham bor ürünleri, rafine bor ürünleri, uç ürünleri olarak sınıflandırılabilir.

Günümüzde hammadde, rafine ürün ve nihai ürün şeklinde, en az 200’ ünde alternatifsiz olmak üzere 250’yi aşkın kullanım alanı bulunmaktadır [1, 24].

Ham bor ürünleri; Dünya’da üretilen bor cevherlerinin hemen hemen tamamı bir zenginleştirme işleminden sonra, ya parça ya da öğütülmüş konsantre halinde pazarlanır ve kullanılır. Bu tür ürünler ham bor olarak tanımlanmaktadır. Ham bor ürünleri Çizelge 2.2.’de verilmiştir. Ham bor ürünleri %90 dolayında borik asit, boraks pentahidrat ve dekahidrat gibi rafine ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli amaçlara yönelik olarak cam elyafı, borosilikat cam, nükleer uygulamalar ve metalürjide kullanılmaktadır [1].

Türkiye tinkal, üleksit ve kolemanit konsantrelerini üretilip Dünyaya satmaktadır. Bu satışlar ile dünya konsantre satışlarının yaklaşık %80'ni karşılamaktadır [25].

Çizelge 2.2. Ham bor ürünleri

Ürünün adı	Formülü	Bulunduğu yer
Tinkal konsantre	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin
Üleksit konsantre	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin
Kolemanit konsantre- Öğütülmüş kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin, Şili
Hidroborasit konsantre	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, Arjantin
Szaybelit konsantre	$\text{MgBO}_2(\text{HO})$	Kazakistan, Çin

Bor cevherleri ve bileşiklerinin satılmasında ve fiyatlandırılmasında temel unsur B_2O_3 içeriğidir. Kullanım alanlarında bazı sınırlamalar şu şekildedir;

- Cam endüstrisinde B_2O_3 %7 düzeyindedir. Ayrıca TiO_2 , Fe_2O_3 , PbO istenmemektedir.
- Cam yünü üretiminde B_2O_3 oranı, cam yünü türüne göre %7.5 ile %22.5 arasında değişmektedir. %1 TiO_2 , %0.5 Fe_2O_3 oranına izin verilirken PbO istenmemektedir. Pyreks cam üretiminde B_2O_3 içeriği %13.5 düzeyindedir.
- Borik asit içerisinde %56 B_2O_3 istenmektedir.
- Kalsine kolemanit konsantrelerinde %42 B_2O_3 istenmektedir. Kullanım alanlarının özel niteliklerine göre bu oranlar dışında bazı eser element içerikleri de (As gibi) önem kazanmaktadır [26].

Rafine bor ürünlerinin temel kullanım alanları; cam ve cam elyafı, sabun ve deterjan, seramik, yangın geciktirici gereçler, tarım, nükleer uygulamalar, metalürji, ilaç ve kozmetik, elektronik ve bilgisayar sanayi dalları olarak sayılabilir [12].

Türkiye de rafine bor ürünlerinden boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, sodyum pentahidrat ve sodyum perboratın üretim ve pazarlama işlemleri gerçekleştirilmektedir [27]. Rafine bor ürünleri Çizelge 2.3.'de verilmiştir. Türkiye boraks penta ve dekahidrat üretiminde Dünya üretiminin %23'nü borik asitin %11'ni gerçekleştirmektedir [1,25]. Ülkemizde rafine bor ürünlerin üretimi hızla artmaktadır. 2005 yılında Emet Borik Asit fabrikası kurulmuş ve yeni bir tesis kurulması amacıyla fizibilite çalışmaları devam etmektedir.

Çizelge 2.3. Rafine bor ürünleri

Ürünün adı	Formülü	B ₂ O ₃ (%)
Boraks pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47.8
Boraks dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5
Susuz boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69.3
Borik asit	H ₂ BO ₃	56.5
Susuz borik asit	B ₂ O ₃	100.0
Sodyum perborat	NaBO ₃ .4H ₂ O	22.0
Sodyum metaborat	Na ₂ B ₂ O ₄ .4H ₂ O	64.2
Sodyum oktaborat	Na ₂ B ₈ O ₁₃	81.8

Uç ürünler; ham ve rafine bor ürünlerinden üretilirler. En önemli özellikleri ileri teknoloji gerektiren yöntemleri ile üretilmeleridir. Belli başlı bor uç ürünleri elementer bor, bor karbür, bor nitür ve bor alaşımları (demirli, nikelli ve kobaltlı) sayılabilir.

Elementer bor günümüzde askeri faaliyetler sırasında, aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. Uç ürünler içinde en çok kullanılan bor karbüdür. En önemli özelliklerinden biri elmasan sonra ikinci en yüksek sertliğe sahip olmasıdır. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve nötron absorpsiyon yeteneğini vardır. Bu özellikleri nedeniyle askeri araçları zırhlanmasında ve nükleer reaktörlerde kullanılır. Bor nitür hekzagonal ve kübik sistemde kristalleşen bir bileşiktir. Hekzagonal bor nitür, beyaz granit olarak da tanımlanır. Oksidasyon direnci olan ve yüksek ısıya dayanan bir bor türevidir. Toz haldeki hekzagonal bor nitür yüksek sıcaklıkta yağlama malzemesi olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kübik bor nitür ise elmas sertliğinde bir üründür. Suni elmas diye tanımlanır ve 1320 °C'ye kadar özelliklerini korur [1, 28, 29].

Ferrobör çeliği bor ile alaşımlandırma ve trafo çekirdeklerinde amorf malzeme olarak en önemli kullanım alanını oluşturmaktadır. Nikelli ve kobaltlı bor alaşımları da yüksek frekanslı trafo çekirdeklerinde kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan üretilen teller EKG gibi cihazların sensörlerinin üretiminde tercih edilmektedir [28].

Bor hidrür yada sodyum bor hidrür ile yapılan yakıtların otomotiv endüstrisinde kullanılacağı ve bu araştırma projelerinin kısa zamanda yaşama geçeceği haberleri internet ortamında yer almaktadır [12].

Magnezyum-Bor bileşenlerinin, yüksek ısıdaki iletkenliği sayesinde, bilgisayarların 4 kat daha hızlı çalışacağı söylenmektedir. Bilim adamları tahmin edilenden daha yüksek derecelerde, neredeyse hiç dirençle karşılaşmadan elektrik taşıyabilen bor bileşenlerinin, özellikle süper hızlı bilgisayarların üretiminde kullanılabilceği söylenmektedirler [1]. Bor cevher ve ürünlerinin kullanım alanları çizelge 2.4. verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bor cevher ve ürünlerinin kullanım alanları

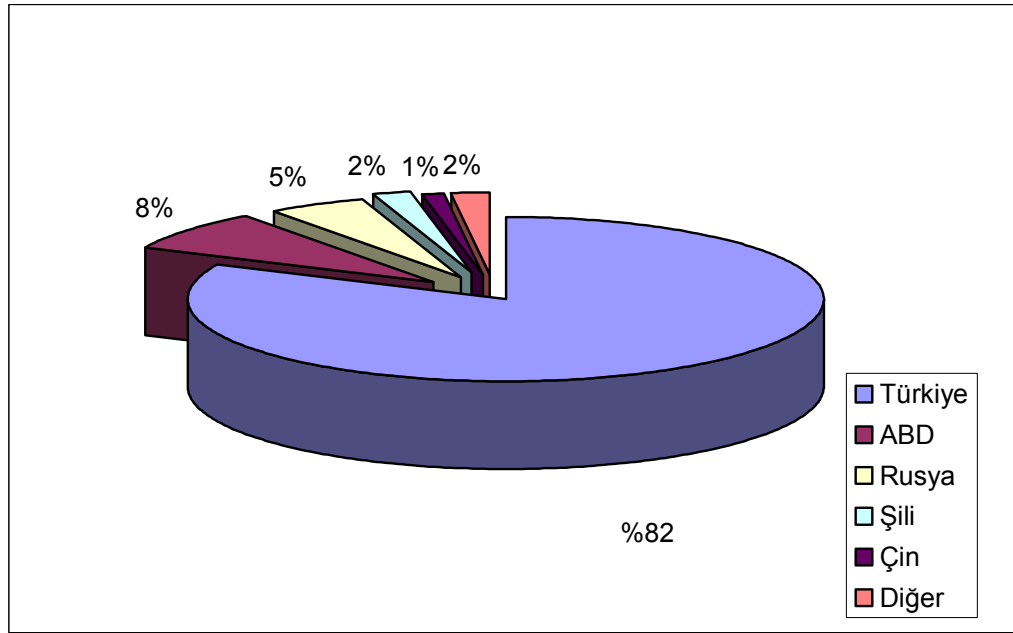
Kalsiyum Borat Cevherleri	Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Sodyum Borat Cevherleri	Borlu Göl Suları	Boraks Penta ve Dekahidrat, Susuz Boraks	Susuz Borik Asit	Sodyum Perborat	Borik Asit
<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Metalurji • Nükleer • Tekstil Türü • Fiberglas 	<ul style="list-style-type: none"> • Selülozik • İzolasyon • Fiberglas • Metalurji • Nükleer • Cam 	<ul style="list-style-type: none"> • Rafine boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat, susuz boraks 	<ul style="list-style-type: none"> • Gübre • Fiberglas • Metalurji • Cam ağartıcıları • Cam • Yapıştırıcılar • Kozmetik ve ilaç • Tarım • Fotoğraf • Tekstil boyaları • Dericilik • Yün koruyucu • Emaye, frit ,sır 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Deri • Böcek mücadelesi • Metalurji • Naylon ve tekstil san. • Sabun ve deterjanlar • Sır kaplama • Fotoğraf 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterjan ve ağartıcılar • Dezenfektan • Tekstil boyaları • Cam ve boyaları 	<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Zirai mücadele • Böcek mücadelesi • Fotoğraf • Sabun ve deterjan • Naylon • Tekstil boyaları • Balmumu yumuşatıcı • Ağaç koruyucu • Sır kaplama • Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Sır kaplama • Metalurji • Nükleer • Sabun ve deterjan • Tekstil • Fiberglas 	

2.5. Türkiye'deki ve Dünyadaki Bor Yatakları ve Rezervi

Ekonomik boyuttaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikler halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır [1]. Şekil 2.1.'de Dünya'da bor bulunan ülkelerin rezervlerinin oransal dağılımı verilmektedir.

ABD'deki bor yatakları, ülkenin batısındaki Kaliforniya ve Nevada eyaletleri sınırları içerisinde bulunmaktadır. Yataklar buharlaşma yoluyla oluşmuştur. Rusya'daki bor yatakları, Hazar Denizi ile Ural Nehri arasında kalan bölgede yoğunlaşmaktadır. Yataklar ikinci ve üçüncü zaman kayaların bindirme ile örttüğü 250 km²'lik alanı kaplayan permian tuz domundaki kırık bir zon boyunca oluşmuştur. Arjantin bor yatakları genellikle Tinkalayu bölgesinde yoğunlaşmıştır ve üretimin büyük bir kısmı bu yataklardan sağlanmaktadır. Boraks pliosen tortullar içerisinde olup 30 m kalınlığında, 100 m çapında çok ince kristalli bir merccek

şeklindedir. Şili üleksit içeren bor yataklarına sahiptir. En önemli yatak olan Salor de Ascotan'da üleksit yüzeyin hemen altındadır ve düzensiz kütleler halinde oluşmuştur. Tabakalar bazı yerlerde 1 m kalınlığa ulaşmalarına rağmen ortalama 30 cm kalınlığındadır. Peru'da yataklar Arequipa Bölgesi'nin doğusundaki büyük bir küvet olan Laguna de Salinas'da bulunmaktadır [2, 11, 23].



Şekil 2.1. Dünya bor rezervlerinin oransal dağılımı (envanter verileriyle revize edilmiştir) [26].

Ülkemiz dünya rezervlerinin çoğunluğuna sahip olmasının yanı sıra mineral çeşitliliği ve cevher tenörü bakımından da doğal üstünlüğe sahiptir [3]. Türkiye'de, bilinen bor yatakları özellikle Eskişehir-Kırka (Tinkal), Balıkesir-Bigadiç (Üleksit, Kolemanit), Bursa-Kestelek (Kolemanit, Üleksit, Proberdit), ve Kütahya-Emet (Kolemanit)'te bulunmaktadır. Bor rezervleri ile ilgili yayınlanmış bilgiler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte, Amerikan Maden Bürosu ve Etibor A.Ş. tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, toplam dünya görünür rezervinin 489 milyon ton B_2O_3 içeren 1,140 milyon ton cevher olduğu tahmin edilmektedir. Bu değerlere mümkün ve muhtemel rezervler de ilave edildiğinde toplam rezerv 1,303 milyon ton B_2O_3 içeren 3,199 milyon ton cevher olmaktadır. Toplam bor rezervinin %64.4'ü Kolemanit, %31.8'ini Tinkal ve %3.7'sini Üleksit minerali oluşturmaktadır [2, 30].

Türkiye'deki borat yatakları ana özellikleriyle Çizelge 2.5.'de, bor rezervleri ve Etibor A.Ş.'ye bağlı işletmeler ise Çizelge 2.6.'da verilmektedir.

Çizelge 2.5. Türkiye borat yataklarının ana özelliği

Yer	Yaş	Borat zonu kalınlığı (m)	Genel bilgiler
Eskişehir-Kırka	Pliyosen	170 m	Tavan çörtlü kireçtaşı; taban Miyosen Kireçtaşı, boratlar, kil, marn, tuf ile almasıık. Boraks, az kolemanit, uleksit
Kütahya-Emet	Miyosen	175m	Tavan çörtlü kireçtaşı, taban kırmızı seri boratlar, kil, marn ve tuf ile almasıık. Kolamanit.
Balıkesir-Bigadiç	Üst Miyosen	100 m	Tavan kireçtaşı marn, taban kristal tuf, boratla kil, marn ve tuf ile almasıık (1.zon). Tavan taban kristal tuf, boratlı kil marn, tuf (2.zon). Kolemanit, uleksit.
Bursa-Kestelek	Pliyosen	100 m	Tavan Pleistosen çakıllar, taban konglomera kireçtaşı, boratlı kil, marn tuf, kireçtaşı ile almasıık. Kolemanit az uleksit, probertit.

Çizelge 2.6. Türkiye bor rezervleri ve Etibor A.Ş.'ye bağlı işletmeler (*10⁶ ton) [12]

Üretim Yeri	Cevher	Rezerv	Rezerv (B ₂ O ₃ bazında)	Tenör (% B ₂ O ₃)
Kırka Bor İşletmesi	Tinkal	604	156	26-26,7
Bigadiç Bor İşletmesi	Üleksit	14	14	28-30
	Kolemanit	5	167	28-30
Emet Bor İşletmesi	Kolemanit	835	225	26-28
Kestelek Bor İşletmesi	Kolemanit	7.5	2	29-31
Toplam		2071.5	564	

2.6. Türkiye'de ve Dünyada Bor Üretimi

Dünya bor mineralleri üretiminde Türkiye ve ABD lider konumundadır. Önemli miktarda üretim yapan diğer ülkeler ise; Arjantin, Kazakistan, Rusya, Şili, Çin, Peru ve Bolivya'dır [2]. Dünya bor tuzu üretimi açısından ABD'nin etkisi görülmektedir. ABD, yıllık dünya üretiminin yarısından fazlasını tek başına üretebilmektedir. Gerek yurt içi tüketiminin çok fazla olması, gerekse büyük teknoloji sahibi bir ülke olması nedeniyle çeşitli bor

bileşiklerini üretebilmesi, ABD'nin bor üretiminde ve bor pazarında lider olmasını sağlamıştır. Rezerv yönünden Türkiye'den sonra gelmesine rağmen, özellikle rafine bor üretimi ve ihracatında ön sıralardadır. United States Borax & Chemical Corporation dünyanın en büyük bor üreticisidir ve dünya ticaretinde son derece etkilidir [1].

Türkiye ham bor mineralleri üretiminde birinci sıraya yükselirken, rafine bor bileşiklerinde ikinci sırada yer almaktadır. Çünkü ABD'nin üretmiş olduğu tüm ürünler, rafine olup, B_2O_3 oranları yüksektir. ABD ve Türkiye'nin dünya üretimindeki payı sırasıyla %48 ve %39 olmaktadır [3, 27, 31]. Türkiye'de sadece cevherden üretim yapılırken ABD'de cevherin yanı sıra tuzlu göl sularından da üretim yapılmaktadır [10].

ABD kolemanit mineralini, %43 B_2O_3 içeren kalsine toz yada %35 B_2O_3 içeren flotasyon konsantresi, üleksit cevherini ise %13 B_2O_3 içeren toz halinde satmaktadır. Türk kolemanit mineralinin çoğu %42-44 B_2O_3 içeren konsantre olarak pazara sunulmaktadır [27].

Türkiye'de Etibor A.Ş. ait Kırka'da (tinkal) 1 açık ocak ve 600000 t/y kapasiteli cevher hazırlama tesisi, Kestelek'te (kolemanit) 1 açık ocak ve 100000 t/y kapasiteli cevher hazırlama tesisi, Bigadiç'te (kolemanit ve üleksit) 3 açık ocak ve 400000 t/y kolemanit, 130000 t/y üleksit zenginleştirme tesisleri, Emet'te ise (kolemanit) 2 açık ocak ve 800000 t/y kapasiteli iki adet zenginleştirme tesisleri bulunmaktadır [32].

2.7. Türkiye'de ve Dünyada Bor Tüketimi

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin %10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken, geriye kalan kısmı bor ürünleri elde edilmek için kullanılmaktadır. Bazı sanayi dallarında uygunluk ve fiyat kriterleri göz önünde tutularak, rafine ve konsantre bor ürünleri veya farklı rafine ürünler birbirinin yerine kullanılabilir. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanıldığı sanayi dalları; cam sanayi (yalıtım cam elyafı, tekstil cam elyafı, borasilikat), seramik sanayi, temizleme ve beyazlatma sanayi (deterjan), yanmayı önleyici (geciktirici) maddeler, tarım, metalürji, nükleer uygulamalar ve diğer kullanım alanları olarak sınıflandırılır [30].

Dünya bor tüketimini %45.8'ini B.Avrupa, %11.7'sini G.Amerika, %9.3'nü Asya/Pasifik ülkeleri takip etmektedir. Cam sanayi'nde ABD'de %71, B.Avrupa'da %23 oranında, deterjan sanayinde B.Avrupa'da %35, ABD'de %5'dir. Türkiye'de ham bor ve bor ürünleri tüketimi dünya tüketiminin yaklaşık %3.6'sı kadardır. En fazla bor ithal eden ülke

İtalya ve İspanya'dır. Diğer önemli ithalatçı ülkeler Fransa, Almanya, Bleu (Belçika-Lüksemburg Ekonomik Birliği) gibi gelişmiş ülkelerdir [30].

2.8. Türkiye'de ve Dünyada Bor Ticareti:

Dünya bor ticaretine ABD ve Türkiye hakimdir. Bu iki ülke tarafından üretilen boratlar dünya üretiminin %90'nı oluşturmaktadır. Türkiye ürettiği ürünlerin büyük bir kısmını dış pazara satmakta, ABD ise ürettiği ürünlerin yarıya yakını ülke içerisinde tüketmekte kalanını ise ihraç etmektedir. Bu iki ülke ürettikleri ürünleri satmak için Avrupa Ülkelerinde rekabet etmektedirler. Türkiye dünya rezervinin %72'sine sahip olmasına karşın, dünya bor pazarında %25 civarında pay sahibidir [33]. Rusya ve Çin ürettikleri ürünlerin büyük bir kısmını iç piyasada tüketmektedir. Arjantin ise dış satışa yönelik üretim yapmaktadır [30].

Türkiye, rezerv ve cevher kalitesi açısından çok önemli bir paya sahiptir. Ancak, dünyada bor üretimi ve ticaretinde söz sahibi olan ülke ABD'dir. ABD'nin bor üretimi, uzun yıllar iç pazarın olduğu kadar dış pazarların da büyük bir bölümünün ihtiyacını karşılamıştır. Türkiye ise rezerv ve cevher kalite avantajının yüksek olmasına rağmen yurt içi ve yurt dışı pazarda istenilen düzeyi henüz yakalayamamıştır. Buna rağmen Türkiye, dünyada ham bor ihracatçısı olan tek ülkedir. Ancak gelişmiş ülkelerde, artan çevresel duyarlılık, ham bor ürünleri yerine rafine bor ürünlerinin kullanımını arttırıcı yönde bir etki yapmıştır [3, 30].

3. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kıymetli bor minerallerini oluşturan kolemanit, üleksit, tinkal, pandemit ve kernit gibi minerallerin kendine eşlik eden kalker, jips, marn, volkanik tuf, kil, mika, organik madde gibi kıymetsiz gang minerallerinden ayrılması gerekir. Bunun için sertlik, gevreklik, yapı ve kırılış şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, flouresans ve fosforesans, radyoaktivite, yüzey ve ara yüzey özellikleri, ısıl özellikler ve farklı çözünürlük özelliklerinden yararlanılmaktadır [34].

Bor cevherlerine uygulanan cevher hazırlama yöntemleri genel olarak kırma, öğütme, eleme ve sınıflandırma işlemlerini kapsar ve diğer endüstriyel hammaddeler için uygulanan yöntemlerle benzerlik gösterir. Örneğin iri kırma işlemi için çeneli kırıcılar kullanılırken ince kırma işlemleri için çekiçli ve şoklu kırıcılar tercih edilmektedir. Tüvenan bor cevherleri genellikle yüksek tenörlü olduğundan sadece kırma, eleme ve sınıflandırma işlemleri yoluyla da kolay bir şekilde zenginleştirilebilmektedir. Ayırma işlemi için aktarma tamburu, spiral klasifikatör, pervaneli aşındırma hücreleri ve hidrosiklon gibi cihazlar kullanılmaktadır [2, 6, 14, 21, 35]. Bor minerallerine uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

3.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Borun zenginleştirilmesinde kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri tavuklama, boyuta göre sınıflandırma, manyetik ayırma yöntemleridir. Bu yöntemlerden manyetik ayırma maalesef laboratuvar uygulaması dışına çıkamamıştır.

3.1.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme (Tavuklama)

Elle ayıklama yönteminde tüvenan bor cevheri 100 mm tane boyutunun altına kırıldıktan sonra 25 mm'lik elekte elenir ve -100 + 25 mm tane sınıflı bant üzerinden geçirilir. Bandın çevresindeki işçiler tarafından faydalı bor minerali ile yan taşı renk, parlaklık ve kristal yapılarındaki farklılıklarından yararlanılarak zenginleştirme işlemi yapılmaktadır [2, 6, 36]. Bigadiç, Emet ve Kestelek cevherlerinde iri boyutlarda elle ayıklama yöntemi kullanılmaktadır.

3.1.2. Aşındırarak sınıflama ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Küçültme işlemleri sırasında bor cevherini oluşturan mineraller dayanıklılık, farklı kırılış şekli, dilinim, su ve ısı ile dağılma gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük

ve şekilde kırılılabilmektedir. Bu şekilde sınıflandırma ile bor minerali belirli ölçüde zenginleştirilebilmektedir.

Aşındırarak yıkama ve boyuta göre sınıflandırma işlemleri genellikle (-25) mm için etkin olmakta, ancak taneler inceldikçe verim ve tenör değerlerinde istenilen değerlere ulaşılamamaktadır [2, 6, 36, 37].

Tamburda aktararak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme:

Bor cevherlerinde en önemli gang minerallerini killer oluşturmaktadır. Bor mineralleri, kil minerallerinin su içinde şişme ve dağılma özelliklerinden yararlanılarak ayrılmaktadır. Yıkama tamburuna verilen bor cevherleri içindeki ince boyutlu killer pülp içinde dağılarak iri boyutlu bor minerallerinden sınıflandırma sonrasında ayrılmaktadır. Aktarma tamburları silindirik veya silindirokonik gövdelidirler. Gövdelerinin iç yüzeyinde malzemeyi kaldıracı plakalar bulunur. Aktarma işleminin daha etkin yapılabilmesi için “Log-Washers” adında araçlar kullanılmaktadır. Log-Washers’ler üzeri kepçelerle kaplı ve kütük adı verilen karıştırıcı oluk üzerine yerleştirilmiştir. Bor cevheri 15-25 dev/dk hızla dönen kütüğün içinde sıkışırken kil mineralleri su içinde dağılarak artık kenarından taşma ile uzaklaştırılmaktadır. Kütüklü yıkayıcılarda dağıtma ve yıkama işlemi aynı anda yapılmaktadır. Bu yöntem Bigadiç ve Emet konsantratör tesisinde kullanılmaktadır [9] .

Pervaneli karıştırıcılarda mekanik dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma:

Pervaneli karıştırıcılar saç veya paslanmaz çelikten oluşan bir tank ile içindeki mil üzerine takılmış, kanatları birbirine göre ters hareket eden karıştırıcı pervanelerden oluşmaktadır. Pervanelerin yüksek devirde dönmesi ile parçalar arası sürtünme ve darbe etkisi ile bor cevherlerinden kil mineralleri uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemden sonra bor cevheri tanktan dışarı alınarak mutlaka yıkama ve boyuta göre ayırmaya tabi tutulur. Bu yöntem Kırka tinal ve Emet kolemanit konsantratörlerinde kullanılmaktadır [2, 9, 31].

3.1.3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir [14].

Bor cevherleri içinde genellikle gang minerali olarak yüksek oranda demir içeren biyotit ve klorit mineralleri bulunmaktadır. Bor cevheri boyut küçültme işlemlerinden sonra kilinden arındırılmakta ve bunu takiben yüksek alan şiddetli sürekli manyetik ayırıcılarda biyotit ve

kloritten ayrılarak manyetik olmayan bor mineralleri konsantre edilebilmektedir [38, 39, 40]. Özdağ ve ark. (1988) manyetik ayırma yöntemleriyle Kestelek bor atıklarından %95 verimle %42 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edebildiklerini belirtmişlerdir. Alp vd. (2006) üç aşamalı manyetik ayırma sistemi kullanarak %96.76 verimle %41.29 B₂O₃ tenörlü bor konsantresi elde etmişlerdir. Manyetik ayırma yönteminin kuru ve sürekli çalışması nispeten iri boyutlara uygunluğu ile flotasyon ve dekrepitasyon yöntemlerine göre daha avantajlı olduğu belirtilmektedir.

3.2. Fizikokimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Türkiye’de flotasyon ile zenginleştirme yöntemi tesis bazında kullanılmamaktadır. Son yıllarda araştırmacılar borun flotasyonu ile ilgili birçok deneysel çalışma yapmışlardır. Aytekin ve Badruk (1992) American Borate Corporation Şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve dekrepitasyon yöntemlerini kullandığını bildirmişlerdir.

Flotasyon ile zenginleştirme yönteminde bor minerallerinin yüzeyine bu mineralin suyla ıslanma özelliğini azaltan bileşikler adsorplanır, sonra ortama üflenen hava yardımıyla oluşan köpüklerde minerallerin toplanması sağlanır. Sıyırıcı yardımıyla köpükler alınır ve bor mineralleri gang minerallerinden ayrılır [41]. Yapılan araştırmalara göre boraks ve asit borikin oleik asit, çamyacı, kresilik asitle kolayca yüzdürüldüğü, bastırıcı olarak sodyum silikat, toplayıcı olarak R-825 kullanılabileceği ve borik asidin doğal yüzebilme yeteneğine sahip olması nedeniyle köpürtücü ve kolektör kullanmadan kolayca yüzdüğü bildirilmiştir [42, 43]. Kolemanit mineralinin anyonik petroleum sulfonat R-825 ve naftenik asit toplayıcısıyla, bastırıcı olarak nişasta ve selektif flotasyonu için gazyağı emülsiyonu ile olumlu sonuçlar gözlenmiştir [41, 44, 45, 46, 47].

Bor mineralleri üzerinde bulunan şlam halindeki kilin, şlam kaplama mekanizması nedeniyle flotasyon verimini düşürdüğü kanıtlanmıştır [45, 46, 48]. Kolemanit flotasyonunda sonik ve Ca⁺² iyonlarının birlikte etkisi ile kilin flotasyona olan olumsuz etkisinin azaltılarak %80-90'lara varan flotasyon verimine ulaşabileceği bulunmuştur [49]. Çelik vd (1992) kolemanitin flotasyonun mekanizmasını açıklamak amacıyla araştırmalar yapmıştır.

Yarar (1973) Bigadiç düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyonla zenginleştirilmesi sonucu %45-47 B₂O₃ tenörlü konsantreyi %72-93 randımanla elde ettiğini belirtmiştir. Aytekin vd. (1988) tinkal cevherinden önce aşındırıcı karıştırma ve kilin şlam halinde atıldığı ön konsantrasyon elde ettikten sonra toplayıcı olarak R-825, bastırıcı olarak nişasta, canlandırıcı olarak BaCl₂ ve köpürtücü olarak çamyacı kullanarak %34.80 B₂O₃ tenörlü konsantreyi %36.47

verimle elde etmişlerdir. Gülgönül vd. (1994) %23 B₂O₃ tenörlü Bigadiç kolemanit atıklarını flotasyonla %83 verimle % 39 B₂O₃ tenörle elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

3.3. Isıl İşlem (Dekrepitasyon) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme

Bor minerallerinin 300-900 °C sıcaklıklarda ısıtılarak kristal sularını uzaklaştırılması amacıyla yapılan işleme dekrepitasyon (kalsinasyon) denmektedir. Bor mineralleri dekrepitasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Dekrepitasyon işlemi sonrasında ince boyutlu bor mineralleri boyuta göre ayırma ile konsantre, kil, kalsit, tuf ve jips gibi mineraller ise iri boyutlarda artık malzeme olarak alınır [26, 50, 51, 52].

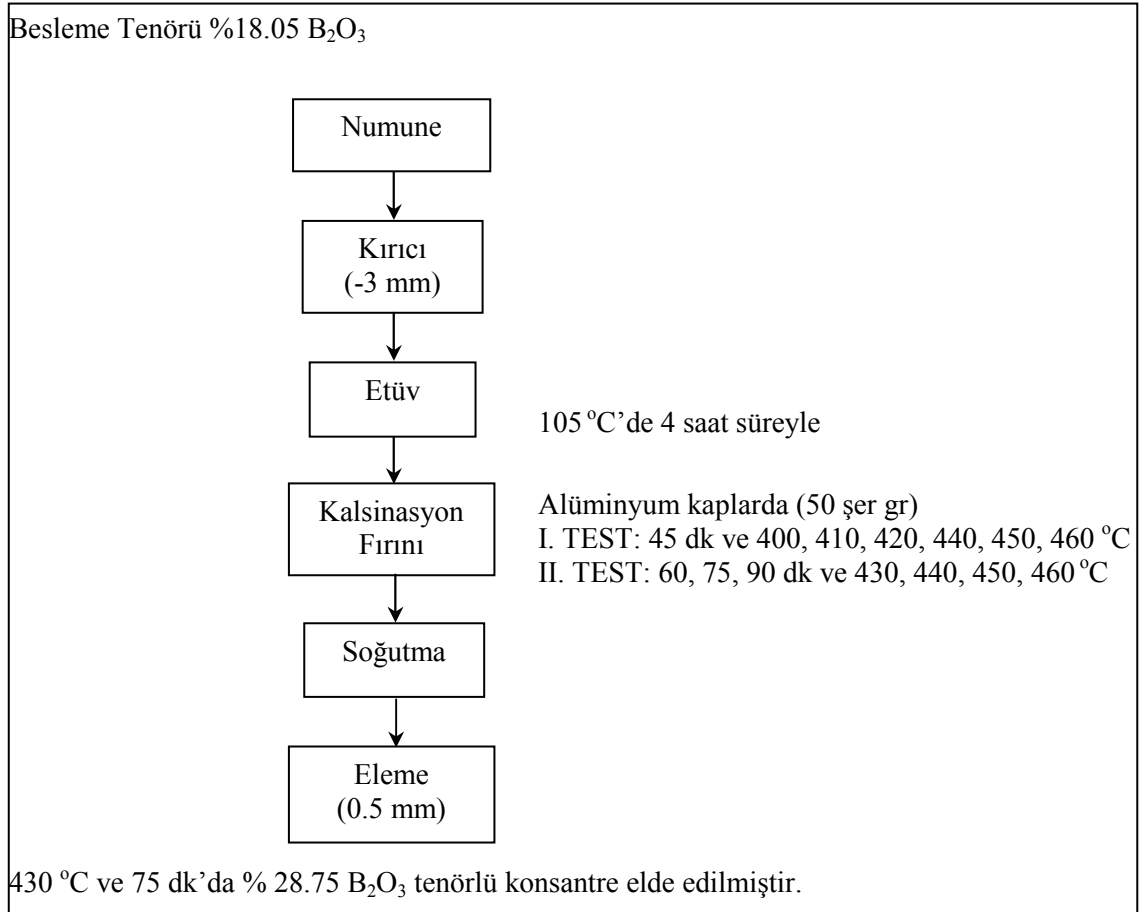
Kolemanitin dekrepitasyon işlemi için genellikle 450-500 °C'lik sıcaklıklar kullanılmakta, kristal suyu bu yolla ayırışan ve toz haline gelen malzeme belli tane boyutunda elenerek kalsine ürün elde edilmektedir [49]. Konsantre kolemanitin direkt olarak sülfirik asitle çözündürülmesi yerine dekrepite edildikten sonra çözündürülmesi yoluyla daha verimli borik asit elde edilebilmektedir [6]. Doğan vd. (1997) kolemanit minerallerinin dekrepitasyon ile zenginleştirmede 500-600 °C sıcaklıklara kadar ısıtılarak içerdikleri beş molekül kristal sularını kaybetmeleri ve bunun sonucu olarak 0.105 mm'den daha ince boyutlara ufalanarak bu sıcaklıklarda bozuşmaya yani dekompozisyona uğrayan karbonat ve gang minerallerinden ayrılmasını hedeflemişler ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Dekrepitasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olması yanında çevre kirliliği meydana getirmemektedir. Konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların dekrepitasyon ile zenginleştirilmesi Tübitak tarafından proje kapsamında çalışılmaktadır. Hatta Etibor Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yapılmaktadır [53].

Akçin vd. (2006) tinkal cevherinin ısıtıldığında bünyesindeki suyunun açığa çıkması sonucunda genişlediği ve çok yüksek poroziteye sahip bir yapıya dönüştüğünü tespit etmişler ve cevherli kısmın genişmesi sonucu daha kırılğan ve daha düşük yoğunlukta bir yapı oluşturduğunu, tüvenan tinkal bünyesindeki kilin ise daha sert hale geldiğini belirlemişlerdir.

Dekrepitasyon sonucunda ortaya çıkan atık katı fazda olup, bu katı atıkların atık barajı yerine tumba sahalarında depolanması imkânı mevcuttur. Özellikle son yıllarda çevresel konularda hassasiyetin artması nedeniyle atıkların katı olarak depolanması hem atık bertaraf maliyetini düşürüleceği hem de çevresel sorunları asgari düzeye indirileceği bildirilmektedir [54].

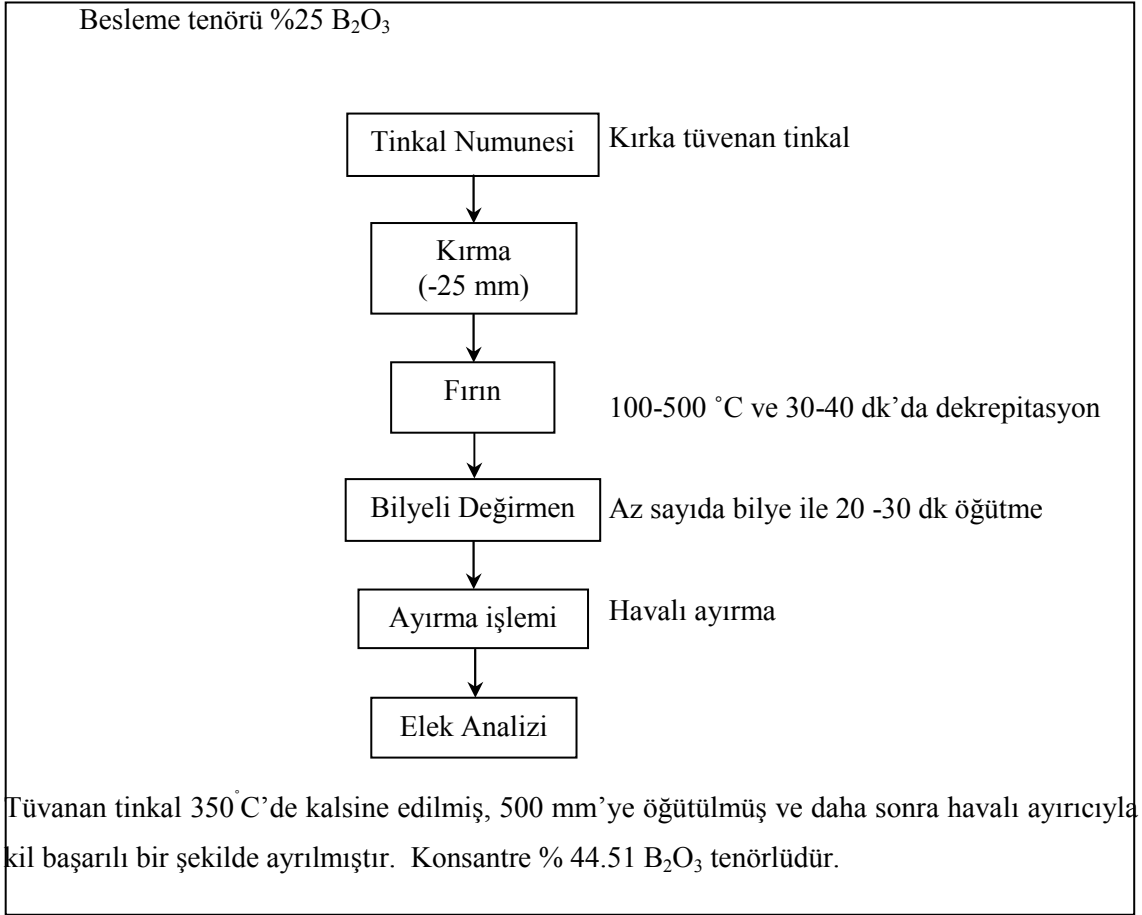
Bor minerallerinin zenginleştirilmesinde dekrepitasyon yönteminin uygulandığı çalışmalar akım şeması olarak Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 verilmektedir.

3.3.1. Bor cevherlerinin dekrepitasyon ile zenginleştirme akım şemaları

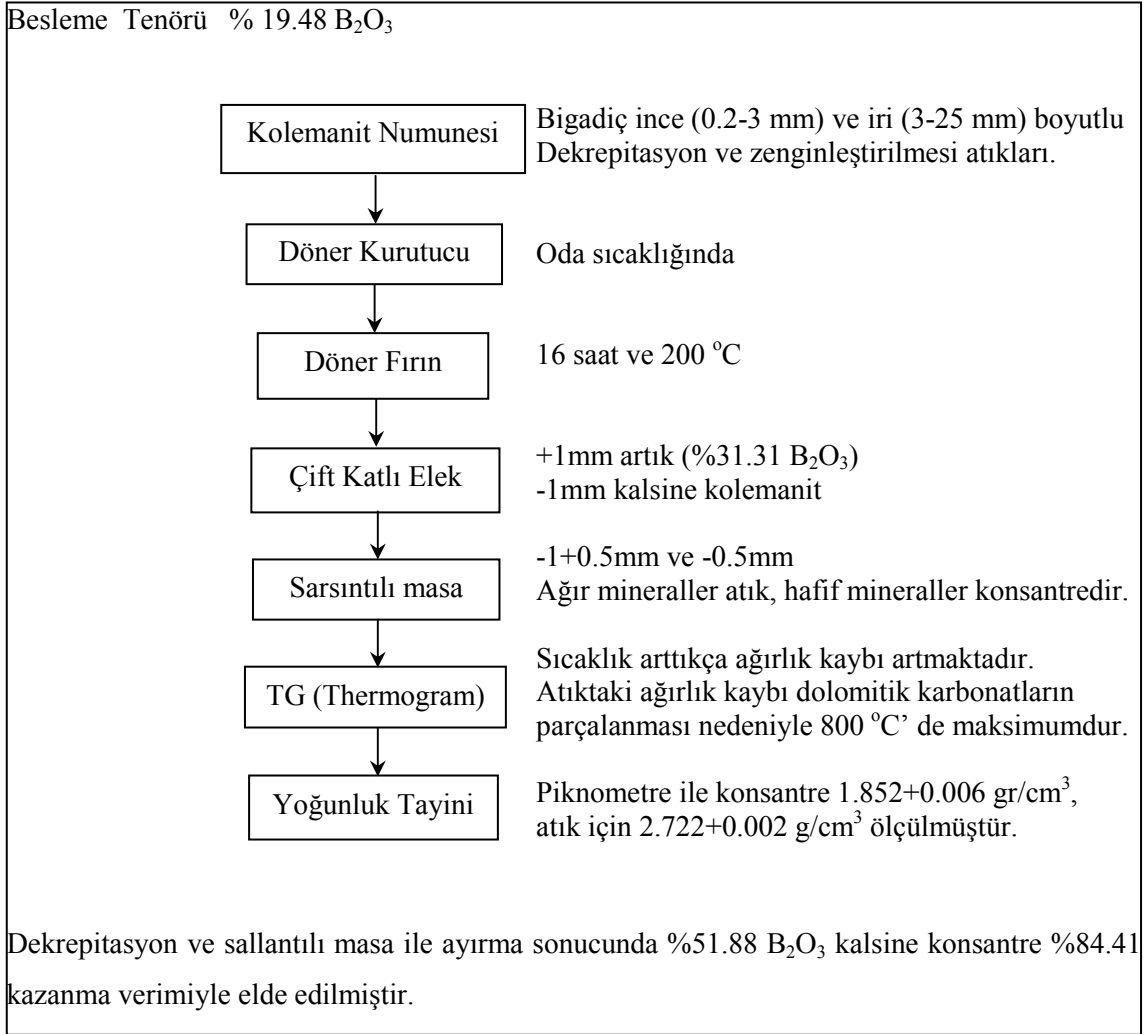


Şekil 3.1. Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [55].

XRD Sonucuna göre tinkal dolomit, montmorillonit ve kalsit mineralleri tespit edilmiştir. Kalsine konsantreler Hacettepe Üniversitesi Laboratuvarında bulunan pnömatik (havalı) seperatörde gerçekleştirilmiştir.



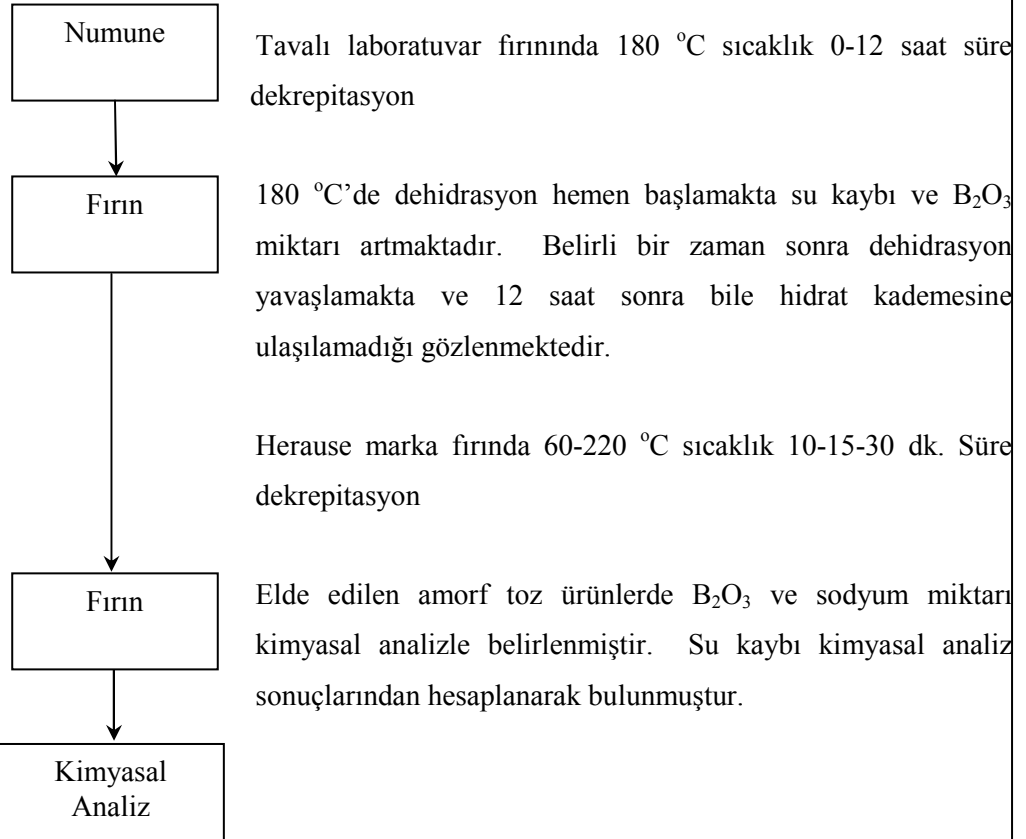
Şekil 3.2. Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi Akım Şeması [54].



Şekil 3.3. Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi Akım Şeması [56].

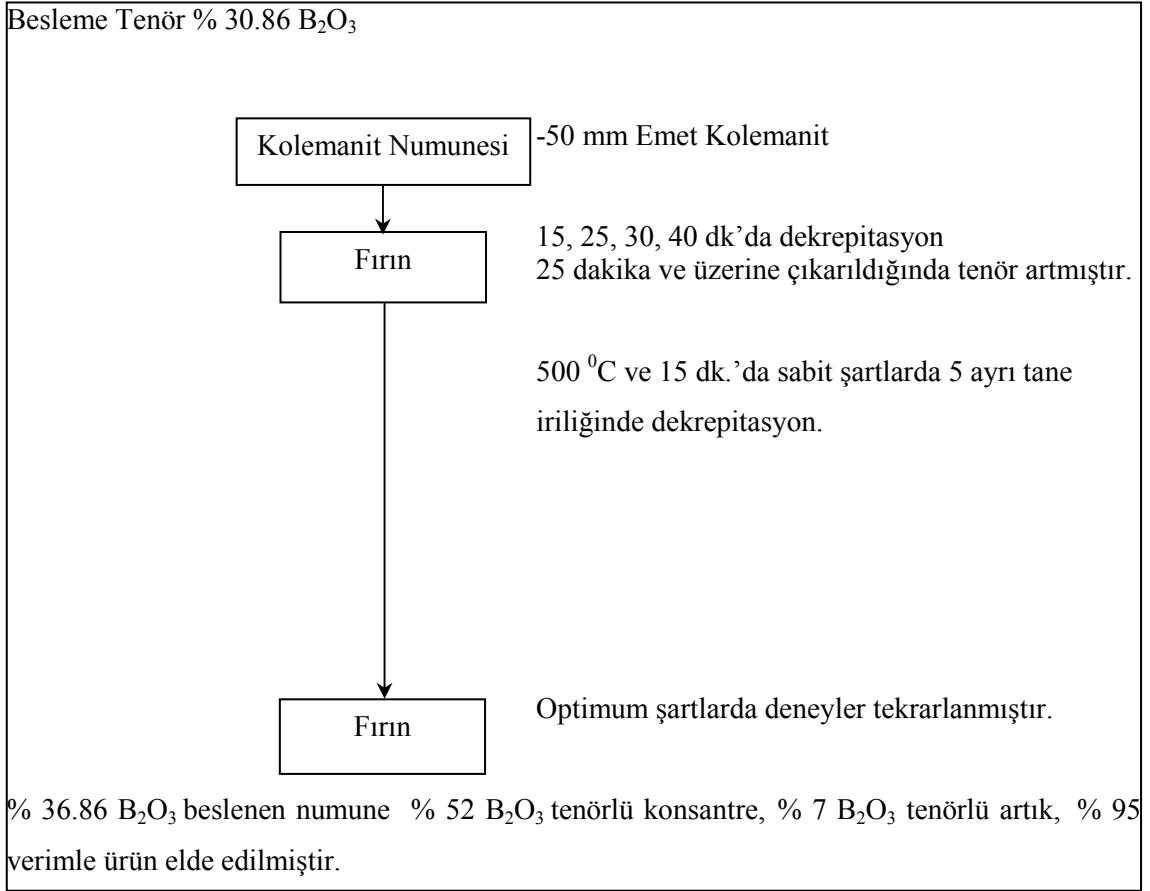
Deneyleerde kullanılan Boraks Dekahidrat Bandırma, Boraks Pentehidrat Kırka tesislerinden temin edilmiştir.

Deney TGA grafiklerinden ve Lab. ön denemelerinden elde edilen sonuçlara göre

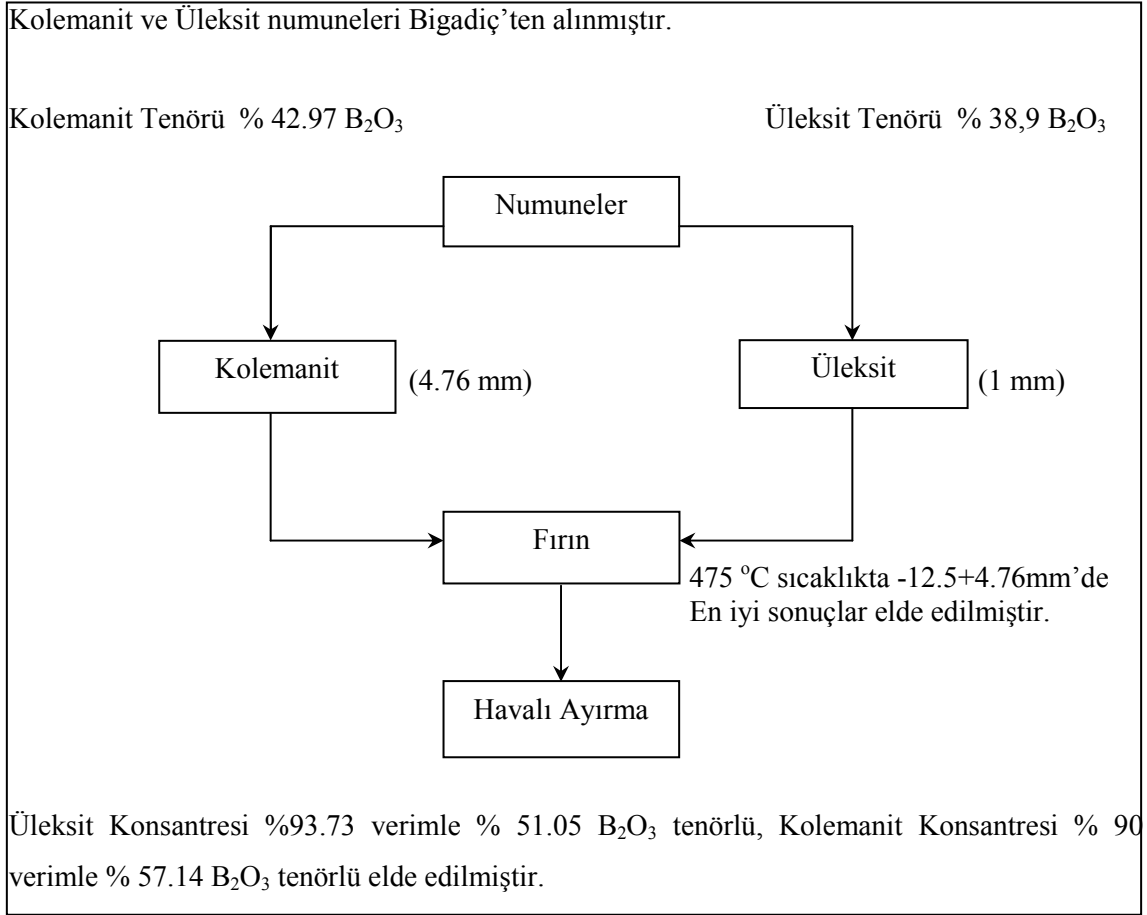


Çalışmalarda her sıcaklıkta dehidrasyonun mümkün olduğu, 140 °C’den sonra hızlandığı ve B₂O₃ yüzdesinin % 60’a ulaşabildiği bulunmuştur.

Şekil 3.4. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratların Kompaklanması İçin Yapılan Dehidrasyon Akım Şeması [57].



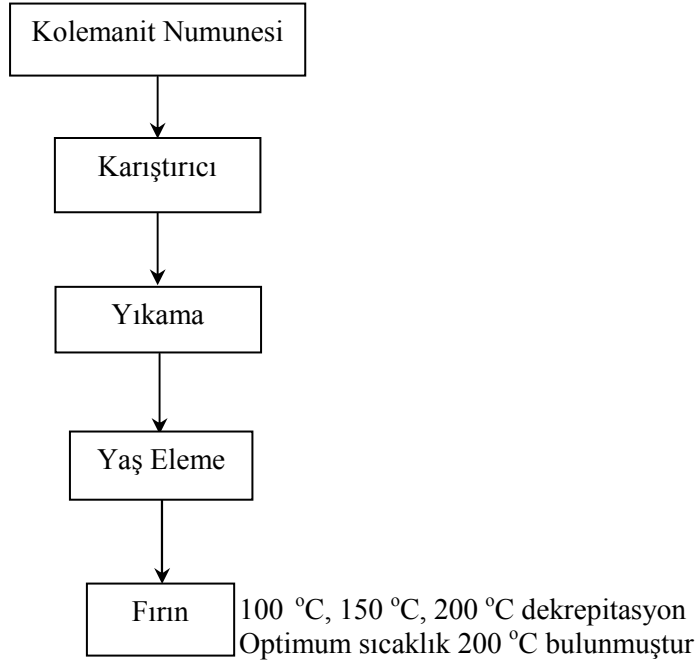
Şekil 3.5. Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yolu İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [53].



Şekil 3.6. Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi Akım Şeması [49].

10 cm boyutundaki numuneler deney analizleri için Emet'ten alınmıştır. Kil, kalsit, realgar, marn ve tuf gang mineralleri olarak bulunmaktadır.

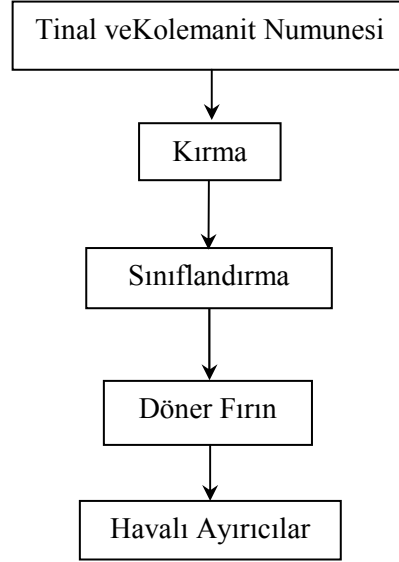
Besleme tenörü %39.6 B₂O₃



Kolemanit kristal suyunu 262 °C'de kaybetmeye başlamış ve reaksiyon 425 °C'de tamamlanmıştır. -25+3 mm boyutlu ürün %42 B₂O₃ içeriğine ulaşırken -3 mm ebatlı numune %38 B₂O₃'de kalmıştır.

Şekil 3.7. Kolemanitin Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkisi Akım Şeması [58].

Tinkal ve kolemanit cevherleri Kırka ve Bigadiç'ten alınarak dekrepitasyon deneyleri yapılmış ve maliyet yönünden yaş yöntemlerle mukayese edilmiştir.



Tinkal için optimum koşullar

425 °C de 9.51 mm-4.76 mm boyutunda % 56 B₂O₃ tenörlü konsantre %88.3 verimle elde edilmiştir. Sıcaklığın tane boyutuna göre tespit edileceği saptanmıştır. Farklı boyut ve sıcaklıklarda çalışılarak 15 dakikalık dekrepitasyon süresinde % 59.44 B₂O₃ tenörlü ve % 92.6 verim elde edilmiştir. 9.51-4.76 mm tane boyutu, besleme oranı 3 kg/h ile % 57.2 B₂O₃ tenörlü konsantre %94.2 verim elde edilmiştir.

Kolemanit İçin Optimum Koşullar

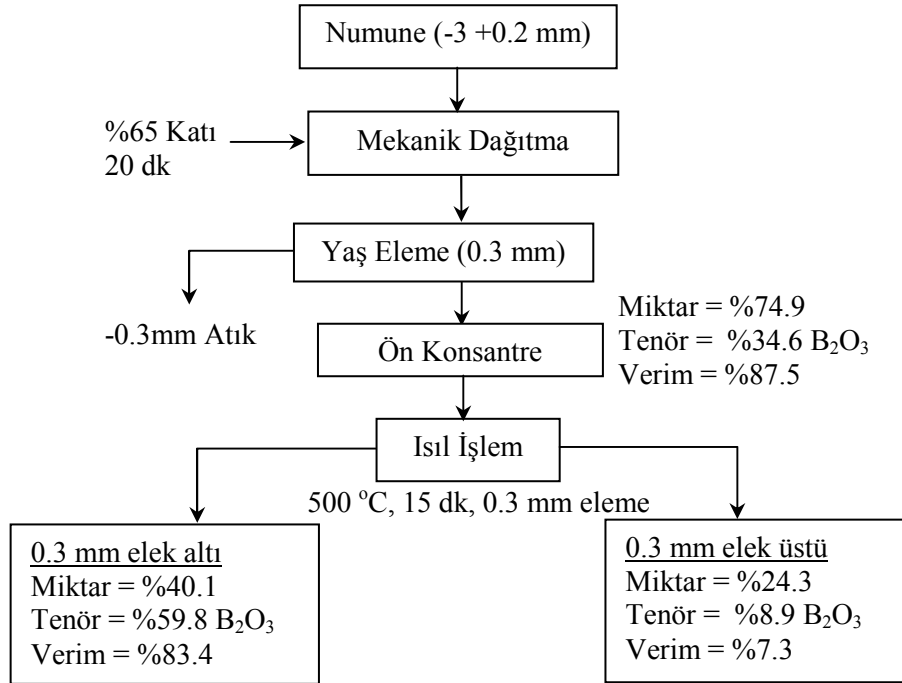
Tinkal için yapılan deneyler kolemanite de uygulanmıştır. 570 °C'de 12.50-4.76 mm tane boyutunda %51.3 B₂O₃ tenörlü konsantre %91 verimle elde edilmiştir.

Bir dekrepitasyon akım şeması önerilerek yaş yöntemle kalsinasyonun maliyet analizi yapılmış ve dekrepitasyon yönteminin daha ekonomik olduğu hesaplanmıştır.

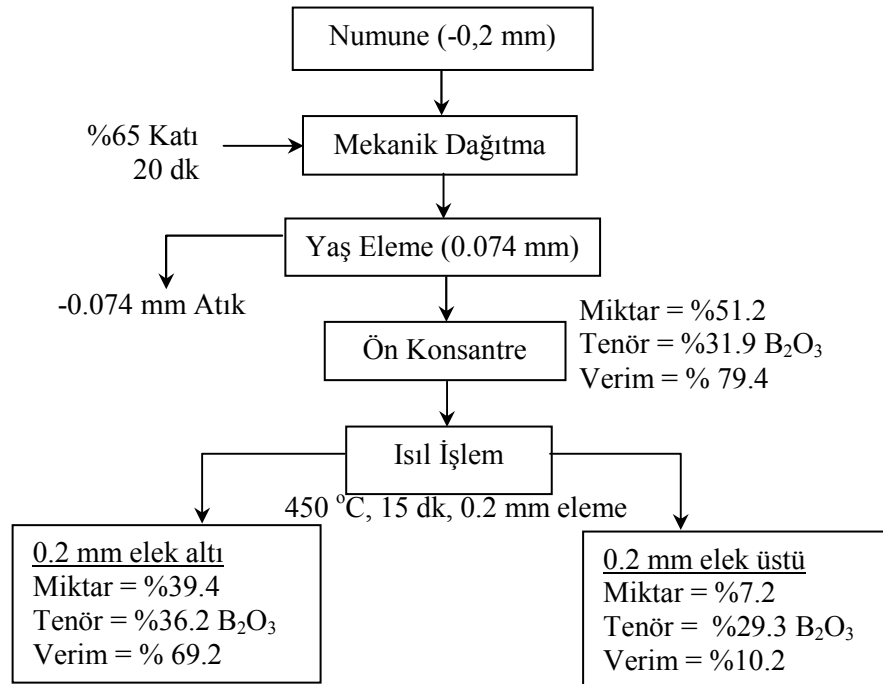
Şekil 3.8. Tinkal ve Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi ve Yaş Yöntemle Ekonomik Yönden Mukayesesi Akım Şeması [50].

Numuneler Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek yörelerinden alınmıştır.

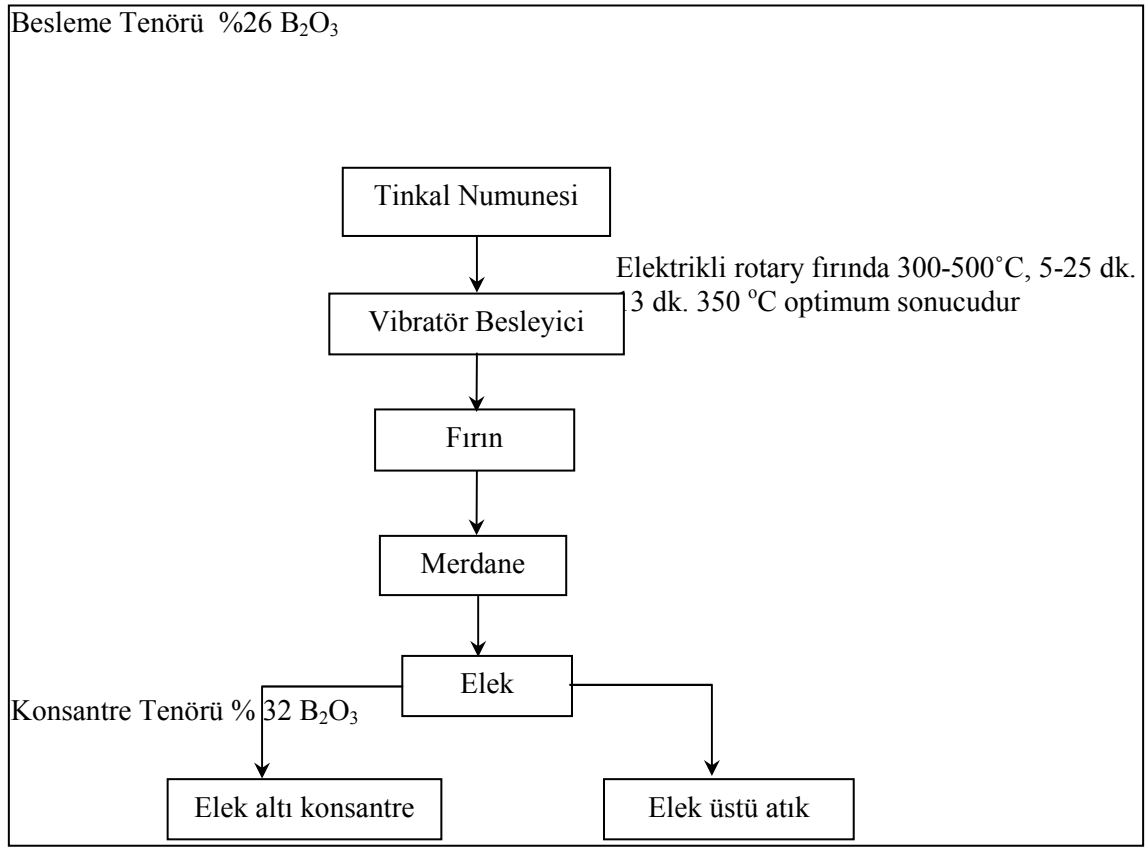
BİGADIÇ



KESTELEK



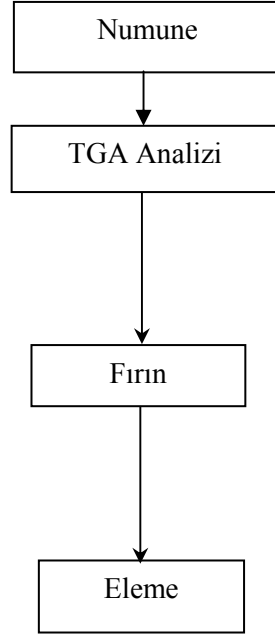
Şekil 3.9. Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem İle Zenginleştirme Yöntemleri Akım Şeması [59].



Şekil 3.10. Tinkal Cevherinin Kalsinasyon-Klasifikasyon Yöntemi İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [60].

Üleksit ve kolemanit içeren numuneler Bigadiç' ten alınmıştır. Tane boyu $-1.65 +0.42\text{mm}$ 'dir.

Besleme Tenörü % 40.87 B_2O_3



Elektrikli Ruhstrat fırında yapılmıştır.
Sıcaklık $85-450\text{ }^\circ\text{C}$ ve $15-960\text{ dk}$

I.TEST : $240\text{ }^\circ\text{C}$, 60 dk
II.TEST : $450\text{ }^\circ\text{C}$, 30 dk

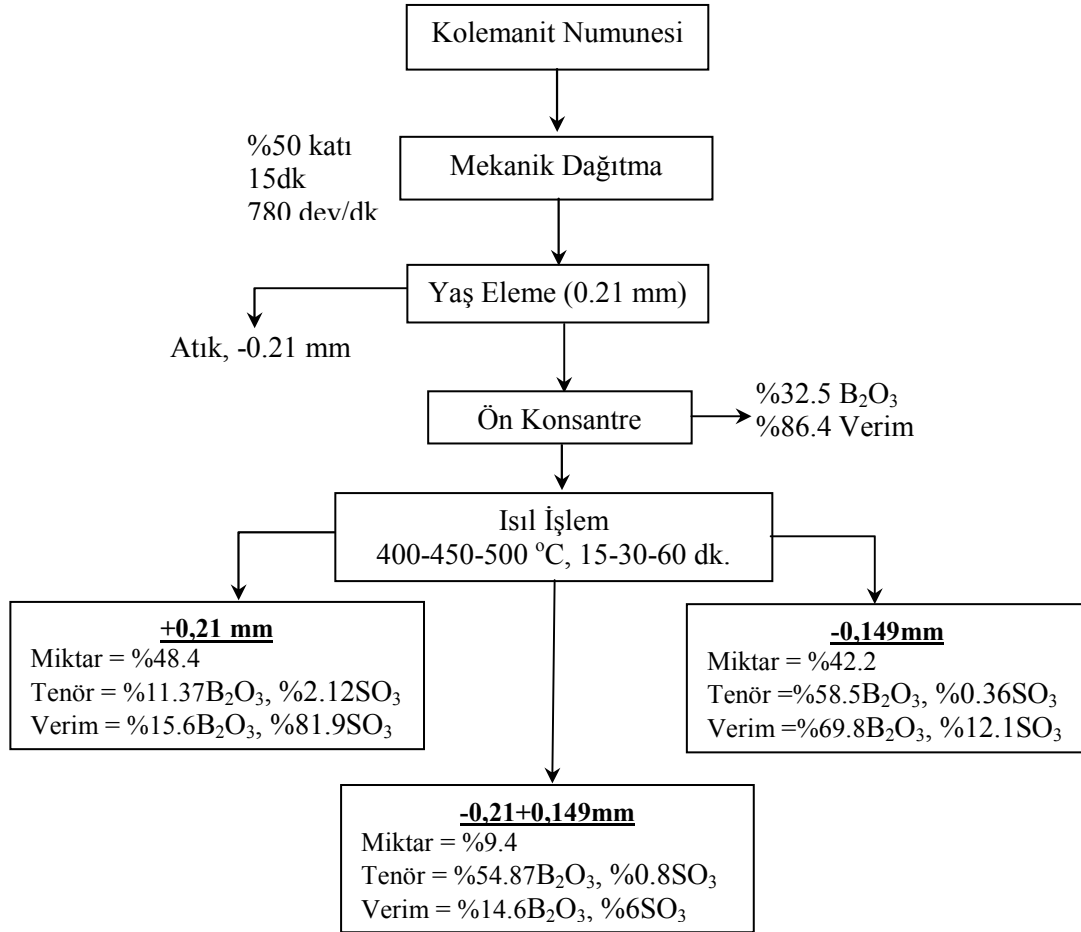
TGA sonuçları ya uzun dekrepitasyon süresi düşük sıcaklıkta, yada kısa dekrepitasyon süresi yüksek sıcaklıkta çalışılması gerektiğini göstermektedir.

I.Test üleksitin kolemanitten öğütme-eleme ile kolayca ayrılabilirdiği göstermiştir. Konsantr tenörü %38.7'den % 54.20 B_2O_3 'ye yükseltilmiştir.

II.Test üleksitin kolemanitten daha sert olduğunu göstermektedir. $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'den sonra kolemanit çok kırılğan bir yapı almıştır. Dolayısıyla tenör artışı daha yüksektir. Üleksitin tenörü %40.71'den %62.86 B_2O_3 'e, kolemanitin tenörü %49.32'den % 59.67 B_2O_3 'e artmaktadır.

Şekil 3.11. Üleksitteki Kalsinasyon Parametrelerinin Tayini ve Kolemanitten Üleksiti Ayırma İmkkanı Akım Şeması [61].

%18 B₂O₃ ve %1,57 SO₃ içeren Bigadiç kolemanit atıklarından min.%40 B₂O₃ ve max.%0,5 SO₃ içeren konsantreler elde edilmesi amaçlanmıştır.



Optimum sonuçlar 500 °C ve 15 dk. Dekrepatasyon ile %22.1 oranındaki konsantre, %57,84 B₂O₃ ve %0,44 SO₃ tenörü ile elde edilmiştir.

Şekil 3.12. Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi Akım Şeması [47]

3.4. Briketleme Yöntemi

Bor ürünleri ve konsantreleri ile yapılan boyut büyütme çalışmalarında, boyut kazandırma işlemine araştırmacılar aglomerasyon, briketleme ve kompaktlaştırma gibi değişik isimler vermişlerdir. Bu çalışmada deneylerin baskı (zorlama) ile gerçekleştirilmesinden dolayı briketleme ifadesinin daha doğru bir ifade olacağı düşünülmektedir. Bu nedenden dolayı bundan sonraki ifadelerde briket ifadesi kullanılmıştır.

Değerlendirilemeyen toz halindeki bor minerallerinin bir form içinde sıkıştırılarak bütün bir parça haline getirilmesine briketleme ve elde edilen aglomerata da briket adı verilmektedir [62]. Ham veya konsantre cevherin çok ince boyutta (-0.5mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bununla beraber düşük dökme yoğunluklu toz maddeler, genellikle çok fazla boşluk içerdiklerinden kullanımları, taşınmaları ve depolanmaları esnasında problemlere neden olurlar [63, 57].

Maddeler kendi aralarında katı ve sıvı bağlarla bağlanırlar. Katı bağlar sinterleşme, kimyasal reaksiyon, bağlayıcı maddelerin katılaşması ve çözünmüş maddenin kristalizasyonu ile oluşmaktadır. Sıvı bağlar ise sıvı ve katı arasında kapiler kuvvetlerin etkisi ile ve yüksek viskoziteli sıvılar ile oluşmaktadır. Bütün bunların geçerli olmadığı durumlarda ise Van der Waals kuvvetinin etkisiyle bağ oluşmaktadır. Ancak bir çok durumda elektrostatik itme kuvvetinin azaltılması ve Van der Waals kuvvetinin baskın çıkması ile partikül bağlanmaları mümkün olmaktadır [57].

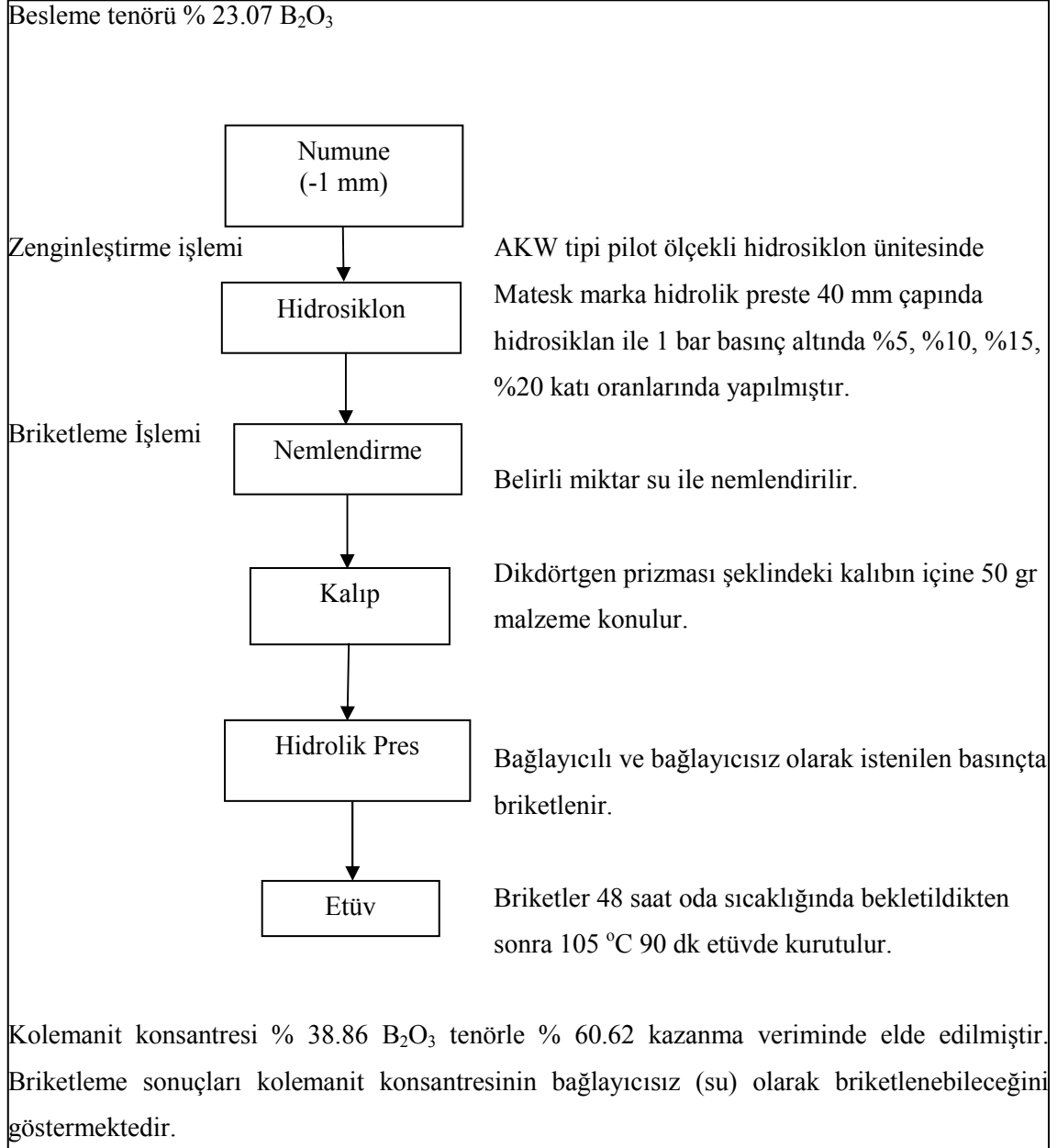
Briketleme işleminde bağlayıcılı ve bağlayıcısız olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bağlayıcısız briketleme, belirli tane iriliği ve nem oranına getirilen malzemenin herhangi bir bağlayıcı ilavesi yapılmadan yüksek basınç altında briketlenmesidir. Bağlayıcısız briketlemede etki olan kuvvetler sırasıyla; sıvı köprüsünün meydana getirdiği tutunma kuvvetleri, Van der Waals kuvvetleri, kimyasal bağlar, ince uzun tanelerin meydana getirdiği tutunma kuvvetleridir. Bağlayıcısız briketlemede briket sağlamlığı malzemenin özelliğine, malzemeye uygulanan işlemlere ve briketleme şartlarına bağlıdır. Malzeme özelliği malzemenin yapısal, plastik ve elastik özelliği, sertliği, basınç altında malzeme özelliğinin değişimi, sıkıştırma sırasında taneler arasındaki iç sürtünme, malzemenin homojenlik derecesi olarak sayılmaktadır. Malzemeye uygulanan işlemler ve briketleme şartları ise malzeme nem oranı, yoğurma yöntemi ve sıcaklığı, presleme baskısı ve süresi, malzeme tane iriliği ve dağılımı, presleme sıcaklığı, malzemenin kurutulması olarak sayılabilir. Bağlayıcılı briketlemede malzeme tanelerini birbirine bağlayan bir bağlayıcı madde vardır ve genellikle sağlamlığı artırmak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde briketlemenin sağlamlığı malzemenin özelliğinin yanında bağlayıcının miktarına ve

özelliğine de bağlıdır. Üleksit ve kolemanite yapılan boyut kazandırma çalışmalarında genellikle bağlayıcı olarak su ve borik asit kullanılmaktadır [62, 57]. Tolun vd. (1992) boraks dekahidratı kompaktlama çalışmalarında, kompaktlanacak toza ilave edilen bağlayıcı ve kayganlaştırıcı gibi katkı maddeleri ve sıcaklık etkisinin tozun mekanik özelliklerini (tane dağılımı, tanecik şekli, dökme yoğunluğu, plastik özelliği, sertliği, nem ve su yüzdesi, sıkıştırmaya karşı olan direnci, sıkıştırılabilirliği ve kompaktın boşluk oranı) etkilediğini belirlemişlerdir.

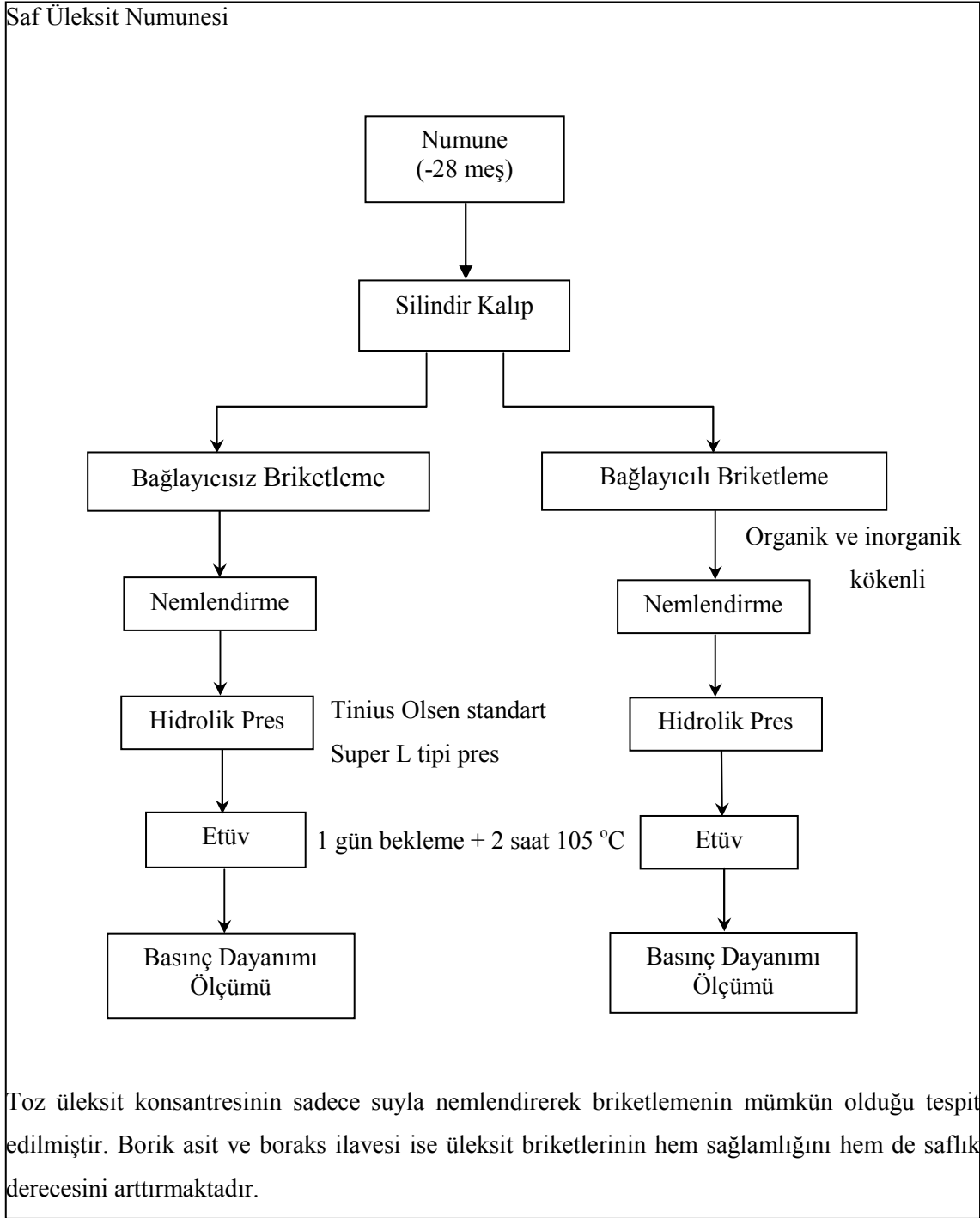
Briktlemede presleme sırasında, tanecikler arası değme noktaları artmaktadır. Plastik deformasyonun bir sonucu olarak bu değme noktalarında çekme bölgeleri oluşmaktadır. Çekme yüzeylerinin artması ise preslenmiş tanelerin birbirlerine daha kuvvetle bağlanmasına ve dolayısıyla sağlamlığın artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla dayanıklı briktler elde etmek için maddenin plastik deformasyonun fazla olması gerekmektedir. Buna karşın elastik maddeleri presleyerek istenilen özelliğe getirmek çok zordur. Kocakuşak vd (1992) Boraksın kompaktlamasında hem plastik deformasyonun hem de presleme ile boşlukların dolması ile sağlamlık elde edildiğini belirtmektedirler.

Araştırmacıların bor minerallerinin boyutunu büyütmek amacıyla yapmış oldukları briktleme akım şemaları Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de gösterilmektedir.

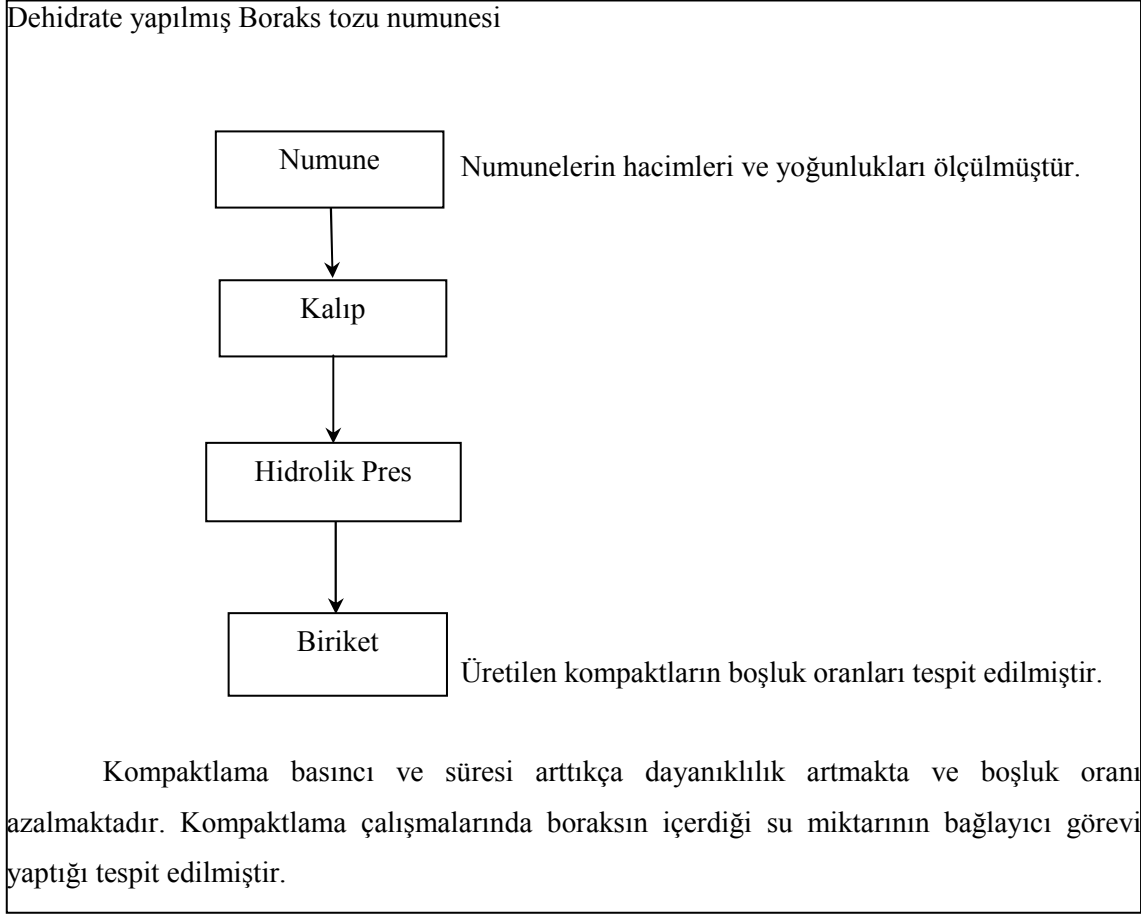
3.4.1. Bor cevherlerinin briketleme akım şemaları



Şekil 3.13. Emet Hisarcık Şlam Atıklarının Zenginleştirilmesi ve Briketlenmesi Akım Şeması [64].

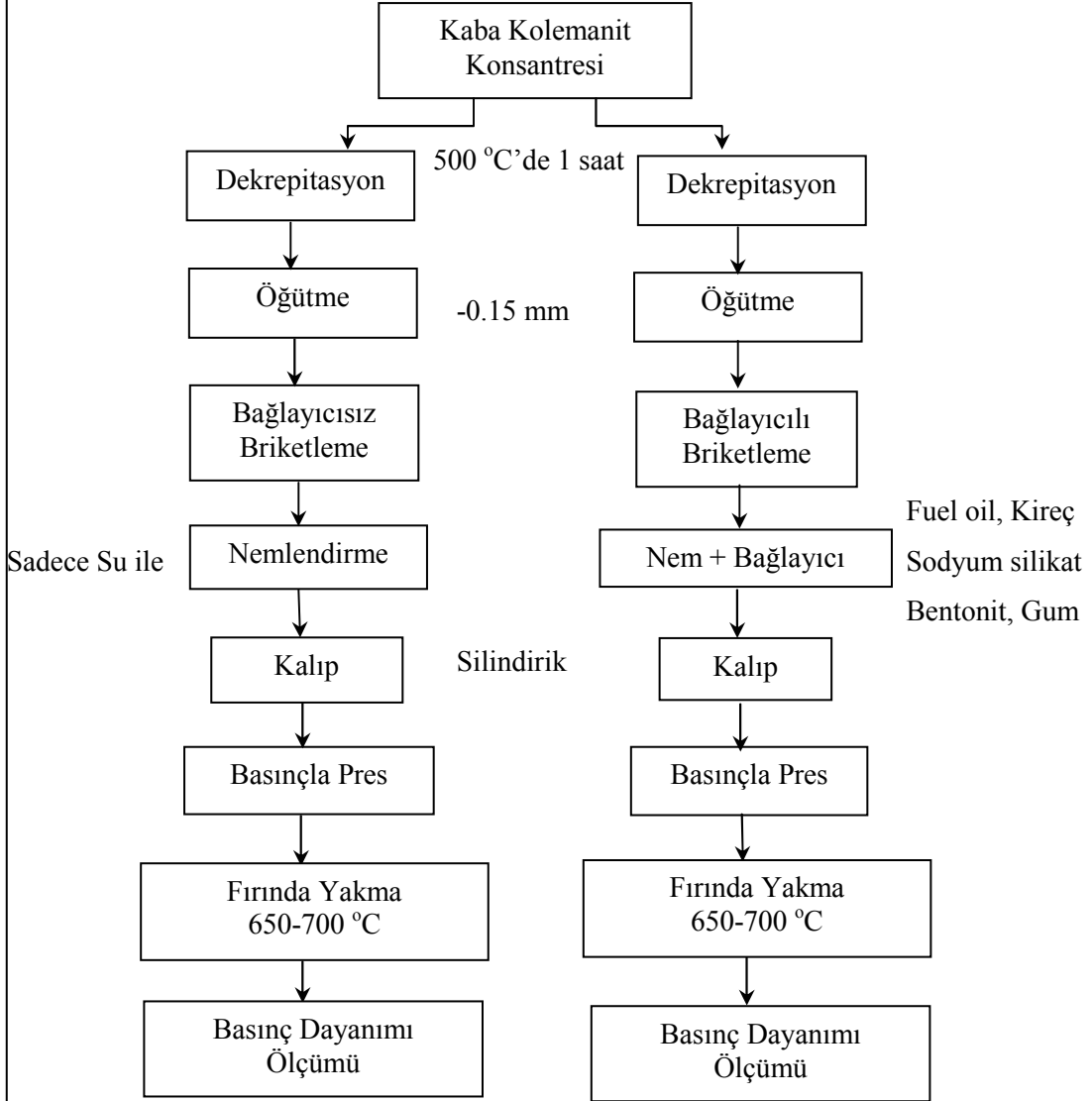


Şekil 3.14. Toz Üleksite Boyut Kazandırma Akım Şeması [5].



Şekil 3.15. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratın Kompaktlanma Akım Şeması [57].

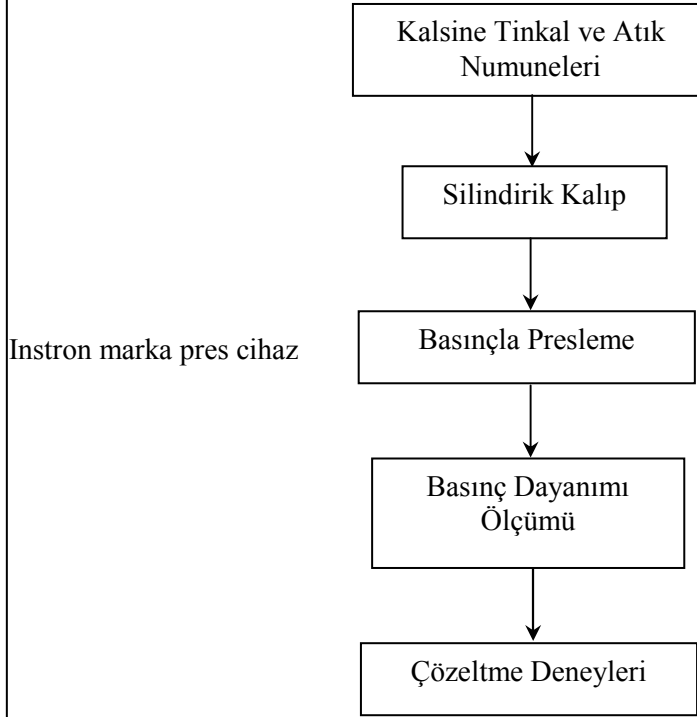
Emet Hisarcık ve Espey ocaklarından alınan kolemanitin kaba yıkanması (mekanik dağıtmada) sonucu elde edilen kolemanit konsantresi,



Bu çalışmanın esas gayesi demir ve çelik endüstrisine toz olmayan kolemanit vermektir. 0.15 mm altına öğütülmüş kalsine cevher sadece nemlendirilerek, 5.68 kg/mm² basınç altında 1.5 cm çap ve 2 cm yükseklikte yapılan briketlerle 650 °C ile 700 °C arasında yakılmak suretiyle 100 kg üzerinde basınç mukavemeti elde edilmiştir.

Şekil 3.16. Kolemanit gibi Metalik Olamayan Mineralin Aglomerasyonu Akım Şeması [65].

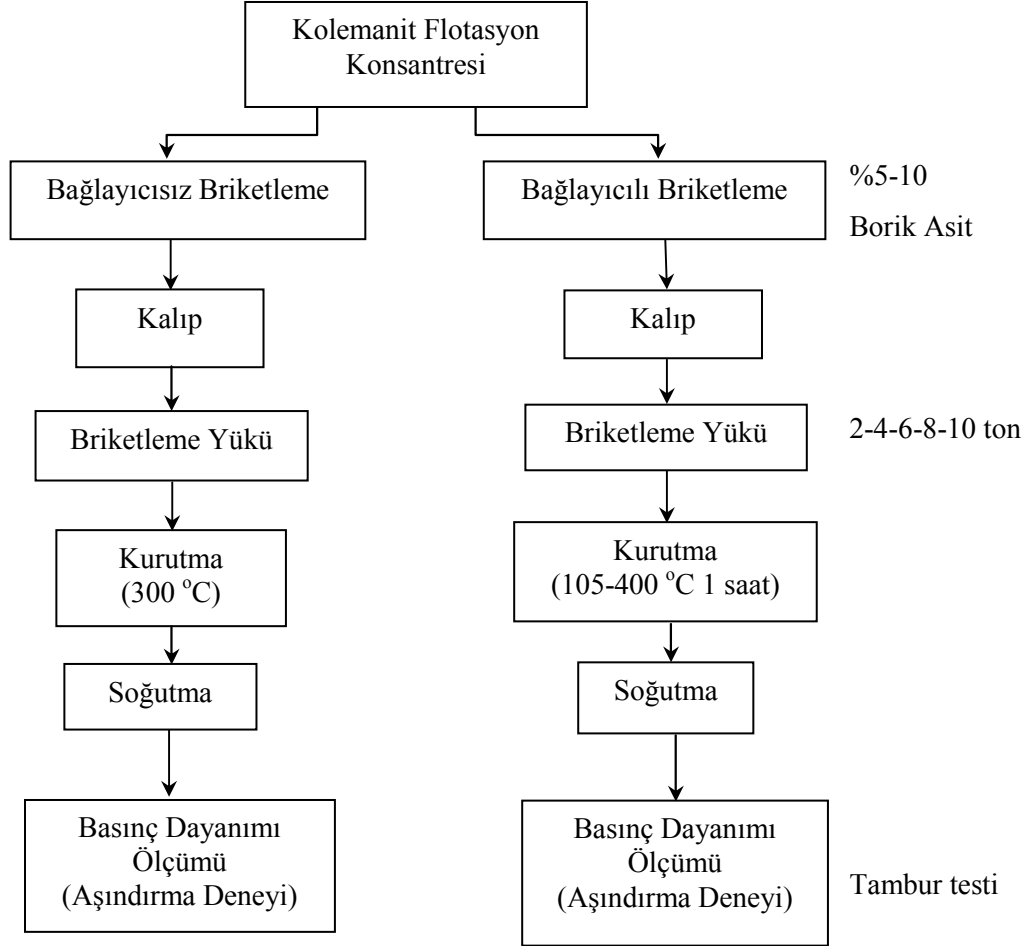
Eskişehir-Kırka tinkal numunesi, Tübitak Gebze-Marmara Araştırma Merkezi Malzeme ve İmalat Laboratuvarı'nda sürekli çalışan döner fırında dekrepitasyon işlemine tabi tutulmuş ve havalı ayırıcıda kilinden uzaklaştırılmıştır.



Bu çalışmadaki amaç bor türevi tesisine konsantre sağlamak ve ihracat için uygun büyüklükte ve sertlikte malzeme üretmektir. %56.47 B₂O₃ tenördeki konsantre ve atık ayrı ayrı briketlenmiştir. Katı atığın da preslenmesiyle bir göletten yüzlerce defa daha az yer kaplayan ve çevreye zarar vermeyen bir depolama sistemi sağlanacaktır.

Şekil 3.17. Tinkal Cevherlerinden Elde Edilen Konsantre ve Artığın Kompaktlaştırılması ve Konsantrenin Çözülmesi Akım Şeması [66].

Briketleme deneylerinde % 48.6'sı 0.25 mm'nin üstünde olan yaş kolemanit flotasyon konsantreleri (%9 nemli) kullanılmıştır.



%10 borik asit (H_3BO_3), 4 ton briketleme yükü altında, $300^{\circ}C$ 'de 20 dak kurutulmayla 100 kg civarında basınca dayanıklı briketler elde edilmiştir.

Şekil 3.18. Kolemanit Flotasyon Konsantrelerinin Briketleme Yoluyla Aglomerasyonu Akım Şeması [16].

4. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLME STRATEJİLERİ

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların; miktarlarının giderek artması, depolanacağı yer, doğa tahribatı, atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava toprak ve su kirliliği ve ıslah çalışmaları başlıca çevre sorunlarıdır. Atıkların atılmasında standartlar, yönetmelikler ve ilgili kanunlarla getirilen sınırlamalar mevcuttur.

4.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile cevherlerin ekonomik tenörleri aşağılara çekilmekte ve atık konumundaki birçok depolanmış yığın da bu sayede değerlendirilmektedir. Bu nedenle atıkların atılmasında gelecekte muhtemel değerlendirilme olanakları göz önünde bulundurulmalıdır. Türkiye için stratejik önemi olan bor cevherinin atıkları da çok önemlidir. Bu nedenden dolayı bor atıklarının depolanmasına azami önem göstermek gerekir. Bu atıkların ileride kullanılabilme imkânları vardır.

Bor atıklarının uygun bir şekilde değerlendirilmesinden elde edilecek avantajlar; hali hazırda büyük bir potansiyel olan stoklar, ülke ekonomisine kazandırılacak, stoklama maliyetleri ve göletlerin kapladıkları alanlar azalacak, çevre kirliliği azaltılarak atıkların yeraltı ve yerüstü sularını kirletmesi önlenecek, üretilen yeni ürünlerle ek kazanç sağlanacaktır.

4.2. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri

Bor atıklarının ideal değerlendirilme şekli atıkların tamamının değerlendirilmesidir. Buna göre ve şimdiye kadar bor atıkları ile yapılan çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir. Bu sınıflandırma ayrı ayrı değil de birbirinin devamı şeklinde de düşünülebilir [67].

4.2.1. Atıkların uygun şekilde depolanması

Sürekli gelişen teknoloji ile atıkların daha sonra tekrar kullanılması, atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla preslenerek kompaktlaştırılabilir (briketleme yöntemi vb.).



Şekil 4.1.Bor Atıklarının Değerlendirilmesinde Mevcut Seçenekler [67]

Atıklar göletlere verilmeden önce uygun flokülasyon ve koagülasyon yöntemleriyle katı sıvı ayırımına tabi tutulur. Tesislerde en çok kullanılan susuzlaştırma yöntemiyle göletlerin hızlı bir şekilde dolması engellenir ve elde edilen sıvı tekrar kullanılmak üzere tesise beslenir.

4.2.2. Atıklardan borun tekrar kazanılması

Türkiye’de bor rezervlerinin çok yüksek olması nedeniyle atıkların tekrar kazanılması için bir tesis bulunmamaktadır. Atıklardan borun tekrar kazanılmasında mekanik dağıtma + sınıflandırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, flotasyon, ısıl işlem (kalsinasyon, dekrepatasyon) + briketleme yöntemlerinin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Mekanik dağıtma+sınıflandırma iri boyutlu cevherlere uygulanmaktadır. İnce boyutlu atıklardan borun tekrar kazanılmasında ise yukarıda bahsedilen diğer yöntemler kullanılmaktadır.

Doğan vd. (1997) %20,7 B₂O₃ tenörlü Kestelek (-0,2mm) ve %29,5 B₂O₃ tenörlü Bigadiç (-3+0.2mm) bor atıklarından kolemaniti, mekanik dağıtma+yaş eleme ile ön konsantreler ve daha sonra nihai zenginleştirmede Kestelek için dekrepatasyon ile %36.2 B₂O₃ %69.2 verimle, elektrostatik ayırma ile %68.2 verimle %40.7 B₂O₃ ve flotasyon ile %66.7 verimle %43.8 B₂O₃, Bigadiç için dekrepatasyon ile %80.4 verimle %59.8 B₂O₃, elektrostatik ayırma ile %59.9 verimle %39.6 B₂O₃ ve flotasyon ile %75.2 verimle %54.3 B₂O₃ sonuçlarını elde etmişlerdir.

Kayta vd. (1986) %18 B_2O_3 ve %1,57 SO_3 içeren Bigadiç kolemanit atıkları zenginleştirme yöntemlerinden önce suda bekleterek ve mekanik dağıtma ile şlamından ayrıldıktan sonra elde edilen ön konsantrelere yapılan çalışmalarda gravite yöntemlerinden jig ve sallantılı masa deneylerinden kayda değer bir zenginleştirme sağlayamamışlar, elektrostatik ayırma ile istenilen düzeyde ayırım yapılamamış, flotasyon ile %40'ın üzerinde B_2O_3 ve %1.36 SO_3 düzeyinde kalmış buna karşılık dekrepitasyon ile %57.84 B_2O_3 ve %0.44 SO_3 sonuçlar elde etmişlerdir. SO_3 'ü düşük konsantreler üretmek için dekrepitasyonu teklif etmektedir.

Emrulloğlu (1985) Bigadiç kolemanit cevheri -3mm fraksiyonu ile suda kil dağıtma deneyleri yapmış %78.21 verimle %30 B_2O_3 elde etmiştir. Yarar (1973) Bigadiç düşük tenörlü kolemanit cevherinden flotasyon yöntemi ile %72-93 verimle %45-47 B_2O_3 ; Gülgönül vd. (1994) %23 B_2O_3 tenörlü Bigadiç kolemanit atıklarını flotasyonla %83 verimle % 39 B_2O_3 ; Özdağ vd.(1988) Kestelek -3mm boyutlu atıklardan manyetik ayırma yöntemi ile %94 verimle %41.76 B_2O_3 ; Sönmez (1997) %23 B_2O_3 tenörlü Emet kolemanit atıklarından Ses ötesi dalgalarını kullanarak %84.70 verimle %35.9 B_2O_3 ; Akçin (2006) Kestelek konsantratör tesisindeki -3mm düşük (%31 B_2O_3) ve -6mm yüksek (%36 B_2O_3) tenörlü ara ürünlere aşındırma yıkama işlemi uygulayarak %37.5-42 B_2O_3 içerikli -6+0.125mm ve -3+0.125mm boyut dağılımlarında ürünleri %90-94 kurtarma verimiyle elde etmişlerdir.

4.2.3. Atıkların uygun sektörde kullanılması

Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil minerali içermesi, bu atıkların seramik sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killer tuğla sanayinde, seramik sanayinde frit, sır ve masse yapımında, inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi ve yol, baraj, köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir [68]. Atıkların uygun sektörde değerlendirilmesiyle ilgili birçok çalışma vardır. Konunun kapsamlı olması nedeniyle burada ayrıntılara girilmemiştir.

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık numune Eti Bor A.Ş. Emet Kolemanit İşletmesi Müdürlüğü Espey Konsantratör tesisi atık göletinden alınmıştır. Numune göletin 5 değişik yerinden yaklaşık 1.5-2 m derinliğindeki yarmalardan alınmıştır. Numune konileme-dörtleme yöntemiyle deneylerde yeterli olacak miktara (yaklaşık 250 kg) kadar indirilmiştir.

Atık kolemanit numunesi Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarına torbalarda getirilmiştir. Laboratuara gelen numunenin orijinal nemi %22.4 iken, oda sıcaklığında 25 gün kurutulmasıyla nemin %9.3'e düştüğü tespit edilmiştir. Oda şartlarında kurutulan numunenin tamamı 3 mm'lik elekten elenerek oluşan topaklanmalar azaltılmıştır. Numune daha sonra konileme-dörtleme ve numune bölücü Jones Riffle kullanılarak 250'şer gramlık paketlere konmuş ve ağızları kapatılarak deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Atık numunenin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmektedir. Analizler havada kuru baza göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Emet Kolemanit Tesisi -3 mm atık numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	%
B ₂ O ₃	19.20
SiO ₂	26.01
CaO	12.09
MgO	6.10
Fe ₂ O ₃	1.86
K ₂ O + Na ₂ O	1.98
Al ₂ O ₃ + Ti ₂ O ₃	7.01
As (ppm)	2335
Ateş kaybı	25.65

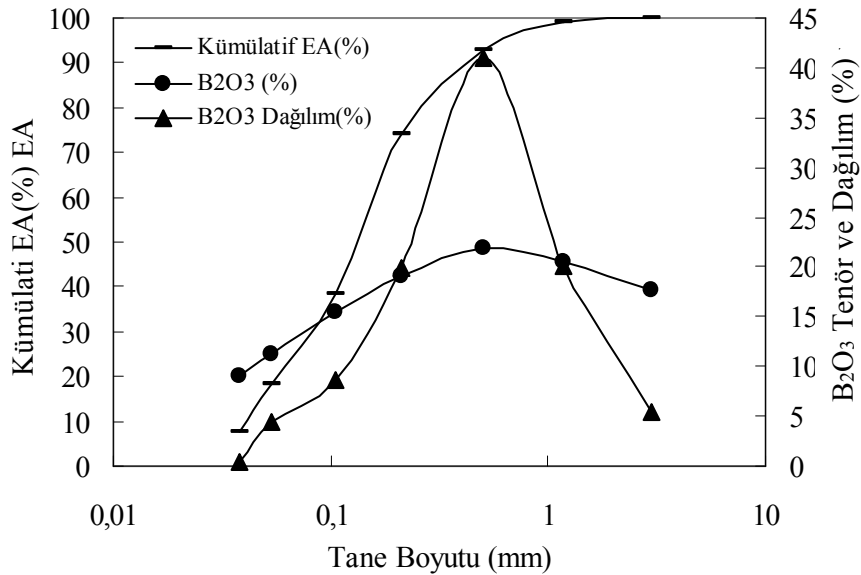
Kimyasal analiz sonuçları atık numunesinde %19.2 B₂O₃ ve dikkate değer miktarlarda Arsenik ile Fe₂O₃ olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi Arsenik kolemanit satışında istenen bir içerik değildir.

5.1.1. Elek analizi

Deneyleerde kullanılacak atık numunenin tane boyutunu tespit etmek amacıyla kuru eleme yapılmıştır. Numunenin elek analiz sonuçları ve %B₂O₃ dağılımları Çizelge 5.1.'de ve Şekil 5.1'de verilmektedir. Şekil 5.1'den görüldüğü gibi numunenin %75'i 0.5 mm'nin altındadır. B₂O₃ dağılımı ise -3 +0.106 mm arasında yoğunlaşmaktadır ve bu oran %85'dir.

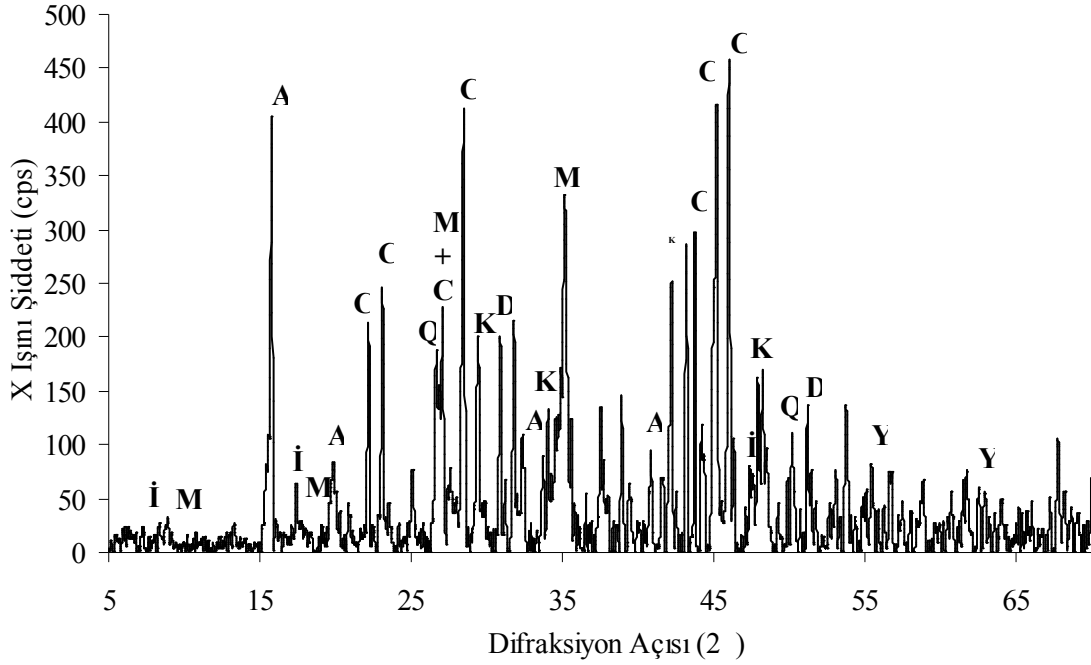
Çizelge 5.2. Atık kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi ve %B₂O₃ dağılımları

Elek Boyutu (mm)	Miktar (%)	Kümülatif EA (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Dağılımı (%)	Kümülatif EA B ₂ O ₃ (%)
-3+1,18	5.98	100.00	17.73	5.52	100.0
-1,18+0,5	18.75	94.02	20.56	20.07	94.48
-0,5+0,212	36.02	75.27	21.85	40.99	74.41
-0,212+0,106	19.95	39.25	19.11	19.86	33.42
-0,106+0,053	10.63	19.30	15.54	8.61	13.56
-0,053+0,038	7.65	8.67	11.21	4.47	4.95
-0,038	1.02	1.02	9.09	0.48	0.48
Besleme	100.00		19.2		



Şekil 5.1. Emet Kolemanit Atık Numunesinin Tane Boyutuna Bağlı Olarak B₂O₃ Tenör ve Dağılımı

5.1.2. Emet kolemanit yatağının mineralojisi ve jeolojisi



Şekil 5.2. -3mm Emet Kolemanit Atık Numunesinin XRD Grafiği (C: Kolemanit, K: Kalsit, İ: İllit, D: Dolomit, M: Muskovit, Y: Yimenjit, A: Andulisit, Q: Kuvars)

Deneylerde kullanılan atık numunesinin mineralojik analizi Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında bulunan RİGUKA marka XRD cihazından elde edilen piklerden elde edilmiştir. Bölgenin jeolojisi ise literatürden Bor yatakları ile ilgili önemli çalışmaları bulunan Helvacı'dan (2004) alınmıştır.

Deneylerde kullanılan -3 mm Emet Kolemanit atık numunesinden elde edilen XRD pikleri Şekil 5.2.'de gösterilmektedir. XRD sonuçlarından atık numunesinde kolemanit, kalsit, illit, kuvars, dolomit, muskovit, mika ve içerisinde Fe ve Ti bulunduran Yimenjit ($K(Cr, Ti, Fe, Mg)_{12}O_{19}$ minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. XRD pikleri atık numunede smektit kil grubundan illit ve bu kil grubunun kaynağı olan muskovit ve mika minerallerini göstermektedir.

Bölgenin jeolojisi çalışan Helvacı (2004) Emet bölgesindeki bor yataklarını varlığını şu şekilde açıklamaktadır; "Emet bölgesi Tersiyer istifi, Paleozoyik yaşlı mermer, mikaşist, kalkşist ve kloritşist gibi metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Bu bölgedeki istif alttan üste doğru şu birimlerden oluşmaktadır; 1. Çakıl taşı ve kumtaşı, 2. Marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtaşı, 3. Ortaç ve asit volkanitler, tuf ve aglomeralar, 4.

Kömür ve jibs bantları içeren çakıtaşı, kumtaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşından oluşan kırmızı birim, 5. Borat yataklarını içeren kıltaşı, tüf, tüfit ve marn, 6. Kıltaşı, marn ve çört mercekleri içeren üst kireçtaşı, 7. Bazalt.”

5.2. Yöntem

5.2.1. Dekrepitasyon ve ayırma yöntemi

Dekrepitasyon testleri Nüve MF120 laboratuvar tipte hassas sıcaklık ayarı yapılabilen fırında gerçekleştirilmiştir. Numune torbalarında daha önce 250’şer gr hazırlanmış numuneler 3-1.18mm, 1.18-0.5mm, 0.5-0.212mm ve -0,212mm boyutlarında 4 ayrı boyutta dekrepitasyona tabi tutulmuşlardır. Dekrepitasyon işlemi demir-krom kaplarda üstü kapalı olarak farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kalsine numuneler fırından çıkartıldıktan sonra soğumaya bırakılmış ve tartılmıştır. Kabin içindeki kalsine numunenin topaklanmış olduğu görülmüştür. Bu nedenle kalsine numune elle ve merdaneyle ezilmek suretiyle ufalanmıştır. Son aşamada ise kalsine olan numune farklı boyutlarda havalı ayırıcılarda ayırmaya tabi tutulmuştur.

Dekrepitasyon işlemi 400-450-500-550-600-650-700-750-800-850 °C sıcaklıklarda ve 20-30-40-60-75-90 dakikalık dekrepitasyon sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Fırın öncelikle istenen sıcaklığa getirilmiş ve numuneler daha sonra fırına yerleştirilmiştir.

Havalı ayırıcılar malzemenin boyutuna ve özgül ağırlığına göre ayırım yapmaktadır. Ancak ayırım hassasiyetleri çok iyi değildir [34]. Ön denemelerde ayırımın daha iyi olması için ara ürün alınması gerektiği görülmüştür. Ara ürün alındığında hem konsantrenin B₂O₃ tenörü yüksek olmakta, hem de atığın B₂O₃ içeriği azalmaktadır. Böylece B₂O₃ kaybı daha az olmaktadır. Bor (B₂O₃) analizi HCl yöntemiyle, Arsenik (As) analizi Gutzeit yöntemi ile yapılmıştır (Ek 2).

5.2.2. Briketleme yöntemi

Dekrepitasyon yöntemi ile elde edilen ince kolemanit konsantrelerinin satılabilir bir ürün haline getirilmesi amacıyla briketleme deneyleri yapılmıştır. Briketleme deneyleri Şekil 5.3.’de gösterilen 120*30 mm boyutunda silindirik kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Briketleme DeneYlerinde Kullanılan Silindirik Kalıp



Şekil 5.4. Briketleme Kullanılan Hidrolik Pres Makinesinin Görünümü

Belirli miktarlarda su ile nemlendirilen ince boyutlu kalsine kolemanit, bağlayıcısız (nemle) ve bağlayıcı olarak borik asit (H_3BO_3) kullanarak silindirik kalıp içine yerleştirilmiş ve hidrolik preste briketlenmiştir. Briketleme deneylerinde kullanılan borik asit Emet Borik Asit Tesisi ürünü olup %99.99 H_3BO_3 saflıkta %56.25 B_2O_3 tenöründe ve %65'i 0.063 mm'nin altındadır. Şekil 5.4. ise briketlemede kullanılan Dut Fub Devotrans Marka Hidrolik Presi göstermektedir. Hidrolik pres elektronik göstergeli olup hem elle hem de bilgisayarla kontrol edilebilmektedir.

Briketler oda sıcaklığında 24 saat kurutulduktan sonra 105 °C'de 90 dakika etüvde ısıtılmış ve ham mukavemetleri ölçülmüştür. Şekil 5.5.'de briketlenmiş kalsine kolemanitler görülmektedir. Briketleme işleminde sabit tutulan ve değişken çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir:

Presleme süresi	: 15 dk
Basınç hızı	: 10 mm/dk
Numune miktarı	: 10 gr, 15 gr, 20 gr, 25 gr, 30 gr
Borik asit miktarı	: %0, %12.25, %22.49, %30.28, %39.30, %48.31, %57.33 (Ağırlıkça)
Nem miktarı	: %5, %7.5, %10, %12.5, %15, %17.5, %20, %25, %30, %35 ve %40 nem
Presleme basıncı	: 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 15 ton



Şekil 5.5. Briketlenmiş Kalsine Kolemanit Numunelerinin Görünüşü

5.2.3. Mukavemet ölçüm yöntemi

Şekil 5.6' de görülen serbest basınç mukavemet deney aleti biri basit diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki yuvarlak plakadan oluşur. Numune bu iki plaka arasına yerleştirilir. Düşey yük, yük halkası ve yük ölçme düzeni ile düşey deformasyon biçiminde uygulanır. Yük halkası elastik ve lineer davranan yuvarlak bir çelik halkadır. Halkanın yükün uygulandığı doğrultudaki çapında meydana gelen kılma miktarı, içindeki bir deformasyon saati ile gözlenir. Deformasyon saati cep saatine benzer bir alettir. Aletten çıkan ve serbestçe kayabilen bir çubuğun hareketi, saat içindeki göstergenin dönmesini sağlar ve hareket miktarı bu göstergeden okunur. Daha önce bilinen yükler altında yük halkası kalibre edilerek ne kadarlık bir yüke (kuvvete) karşılık geldiği deformasyon saatinin dönme miktarına göre belirlenir. Numunenin düşey eksenel boy kılması sabit yere takılmış ayrı bir deformasyon saati ile ölçülür. Numuneye sabit bir düşey deformasyon hareketi ile gittikçe artan bir yük uygulanır [69].



Şekil 5.6. Trittech Marka Tek Eksenli Basınç Cihazı

Kırılma anındaki en büyük yük (P_{max}), numunenin A_f en kesit alanına bölünerek serbest basınç mukavemeti (qu) bulunur.

$$qu = P_{max} / A_f \quad (1)$$

Serbest basınç mukavemeti deneyinde yükleme değişik hızlarda yapılabilir. 0.4mm/dk hız uygulayarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde numuneler önceden kurutulup ısıtıldığı için su çıkışı yoktur. Kısaca numunenin hacmi deney süresince sabit kalır. Kırılma sırasında numunenin en kesit alanı A_f aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_f = \frac{A_o}{1 - \frac{\Delta H}{H_o}} \quad (2)$$

5.2.4. Yoğunluk analiz yöntemi

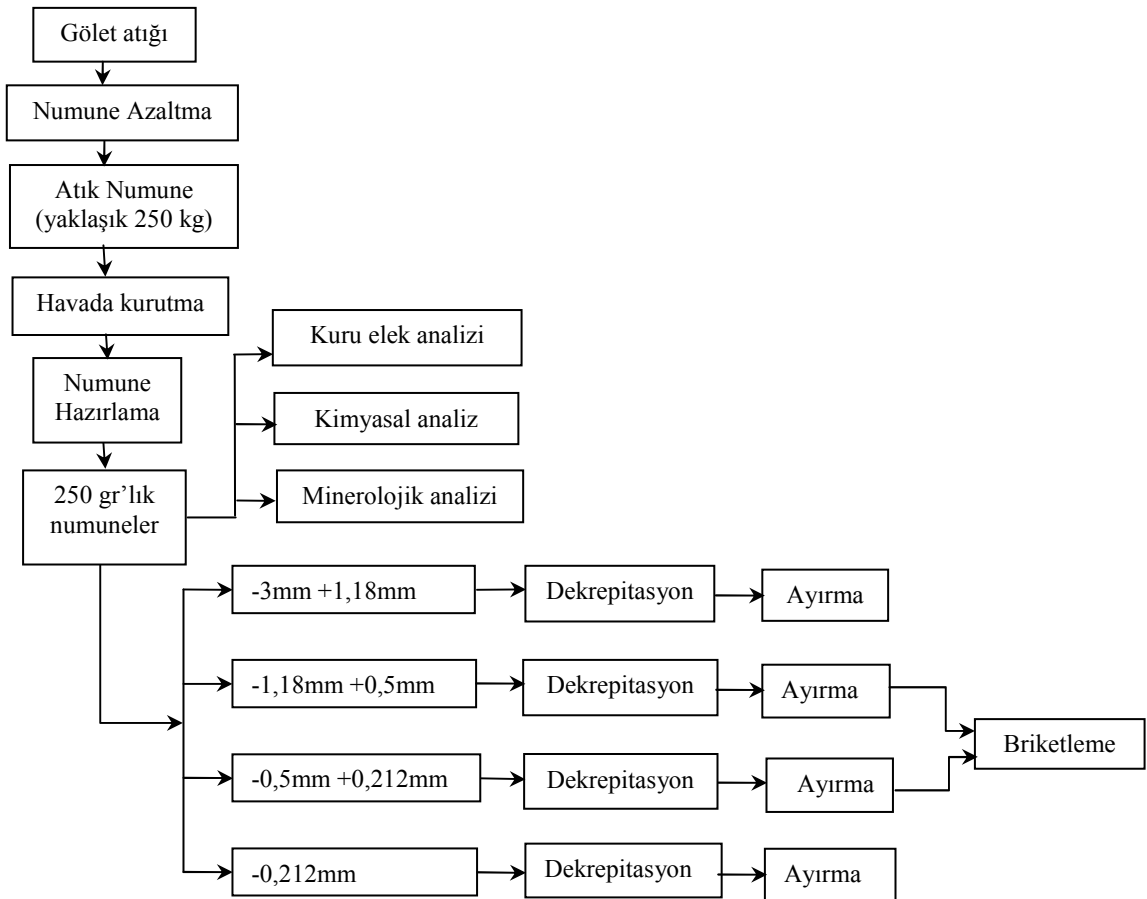
Piknometre ile numunenin ve kalsine ürünlerin yoğunlukları tespit edilmiştir. Piknometre yöntemi 0.1 mm altına öğütülen numunenin hakiki yoğunluğunu tespit etmeye yardımcı olmaktadır. Yöntem kısaca aşağıdaki gibidir:

- Piknometre yıkanır. 105 °C etüvde kurutulur, desikatörde soğutulur ve tartılır (G_p).
- Piknometre su ile doldurulur ve içinde hava kalmayacak şekilde kapağı kapatılır. Etrafi iyice kurulandıktan sonra sulu ağırlığı tespit edilir (G_{PS}).
- Piknometre aynı şekilde temizlendikten sonra, içine öğütülmüş (-0.1mm) numuneden yeterli miktarda (20-25 g) konur. Piknometrenin numune ile birlikte ağırlığı tespit edilir (G_{NP}).
- İçinde numune bulunan piknometreye numuneyi örtecek kadar su ilave edilir ve aralıklı olarak çalkalayarak taneler arasında hava kalmaması sağlanır. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurulur sulu numune ağırlığı tespit edilir (G_{NPS}).
- Aşağıdaki formül kullanılarak numunenin hakiki yoğunlukları (ρ_{Numune}) hesaplanır.

$$\rho_{Numune} = \frac{G_{NP} - G_p}{(G_{PS} + G_{NP}) - G_p - G_{NPS}} \quad (3)$$

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Emet Kolemanit İşletmesi atık göletinden getirilen -3 mm atık kolemanit numunesi, laboratuarda hava şartlarında kurutulduktan sonra 250 gr'lık poşetlerde saklanmıştır. Dekrepatasyon deneyleri 4 farklı boyutta gerçekleştirilmiştir. Dekrepatasyon işlemlerinde dekrepatasyon sıcaklığı ve dekrepatasyon süresi tespit edilmiştir. Kalsine ürün belirli eleklerle elenerek konsantre, elek üstü ise ayırma verimini arttırmak amacıyla havalı ayırıcılarda ara ürün ve artık ürünler olarak elde edilmiştir. Kalsine kolemanit olarak elde edilen konsantrelere briketleme işlemleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 6.1'de gösterilmektedir.

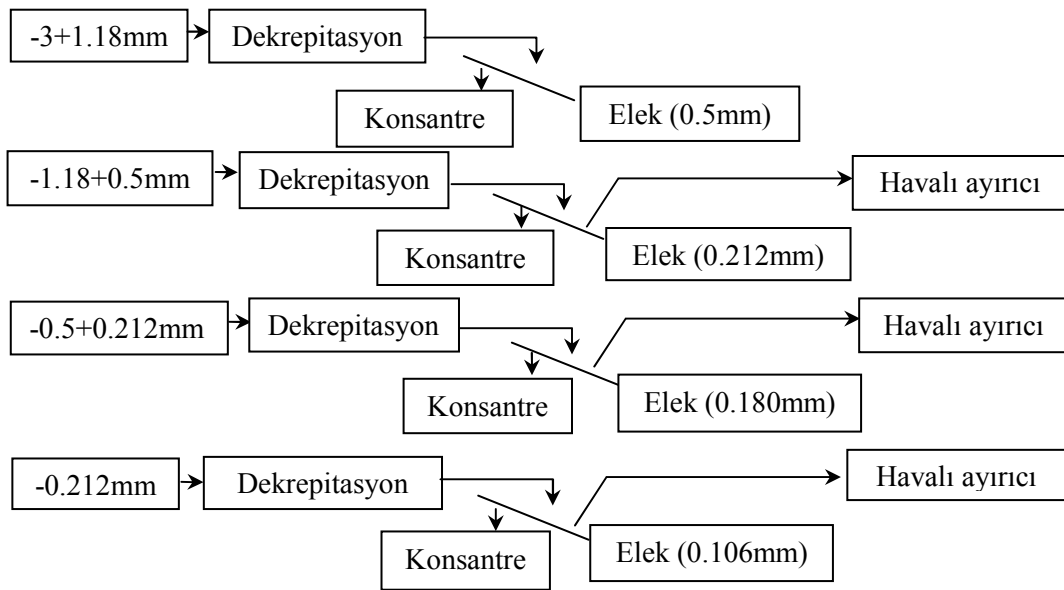


Şekil 6.1. Deneysel Çalışmalar Akım Şeması

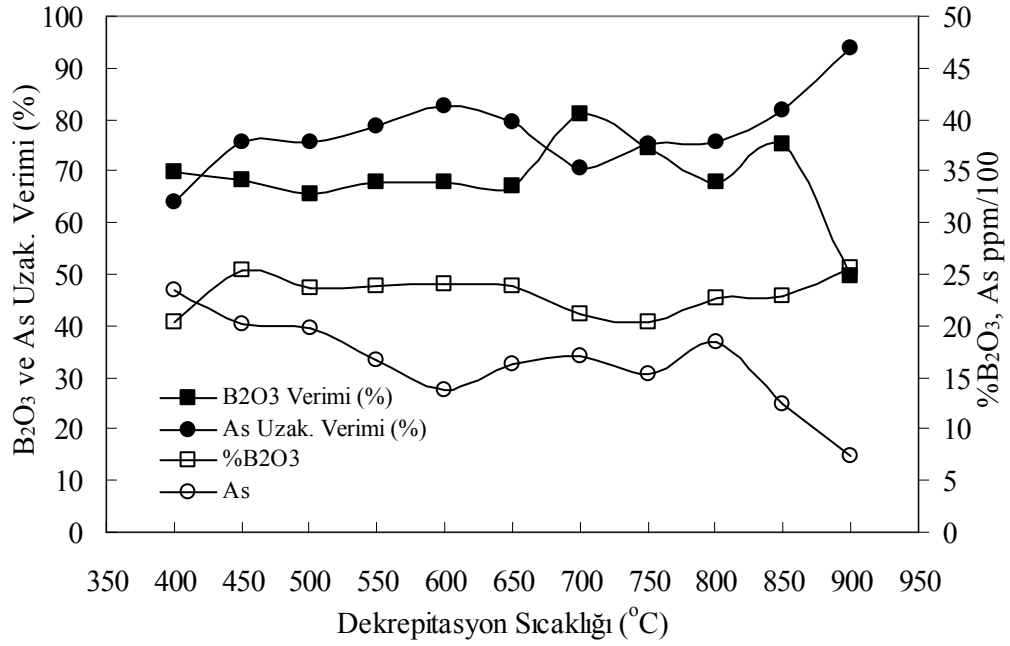
6.1. Dekrepatasyon Deneyleri

6.1.1. Dekrepatasyon sıcaklığının tespiti

Dekrepatasyon süresi 30 dk sabit tutularak, 400-450-500-550-600-650-700-750-800-850-900 °C sıcaklıklarda dekrepatasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dekrepatasyon sonrası fırından çıkarılan kapların kapakları açıldığında yoğunluk ve kütlece büyük olan parçaların tabanda, hafif ve ince olanların ise üstte birikerek sınıflandığı gözlenmiştir. Bu durum, dehidrasyon esnasında kolemanitin bünyesindeki kristal suyun uzaklaşırken patladığını, ısı ile agrega olan killerin ise altta biriktiğini ve bu yolla tane sınıflamasının olduğunu göstermektedir. Ayrıca kalsine ürün içerisinde kolemanit tanelerinin beyaz renkte, kilerin ise gri renkte kahverengine kadar değiştiği görülmektedir. Eğer bu boyutta renk farklılığına göre bir ayırım mümkün olsaydı, beyaz renkte kalsine kolemanit ve gri renkte agrega kil tanelerinin birbirinden ayrılması çok kolay olurdu. Dekrepatasyon deneylerinin akım şeması Şekil 6.2’de gösterilmektedir. -3 +1.18mm boyutu kalsine ürün 0.5 mm’lik elek, -1.18 +0.5mm boyutu kalsine ürün 0.212 mm’lik elek, -0.5 +0.212mm boyutu kalsine ürün 0.18 mm’lik elek ve -0.212 mm tane boyutu da kalsine ürün 0.106 mm’lik elekten elenerek kalsine konsantreler alınmıştır. Bunların elek üstleri ise havalı ayırıcılarda ayrılarak ara ürün ve atık olarak ayrılmıştır. Dekrepatasyon deney sonuçları Şekil 6.3., Şekil 6.4., Şekil 6.5. ve Şekil 6.7.’de gösterilmektedir.



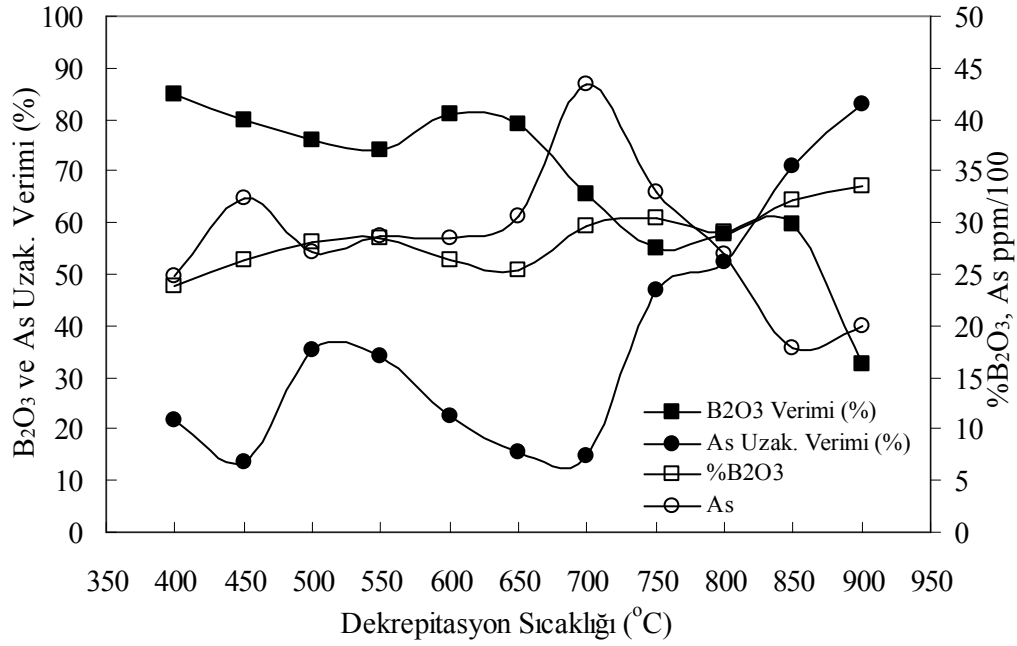
Şekil 6.2. Dekrepatasyon Deneyleri Akım Şeması



Şekil 6.3. -3+1.18mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları

Şekil 6.3.'den görüldüğü gibi -3+1.18mm tane boyutunda, B₂O₃ veriminin en yüksek olduğu sıcaklık 700 °C'de olmasına rağmen B₂O₃ tenörü düşük seviyededir. Bu nedenle B₂O₃ tenör ve veriminin daha yüksek olduğu 850 °C'de çalışılması uygun görülmüştür. 850 °C'de % 22.88 B₂O₃ tenörlü kalsine konsantre % 75.19 verimle elde edilebilmektedir. Bu sıcaklıkta %81.78 uzaklaştırma verimi ile Arsenik tenörü 1240 ppm'e kadar düşürülmektedir.

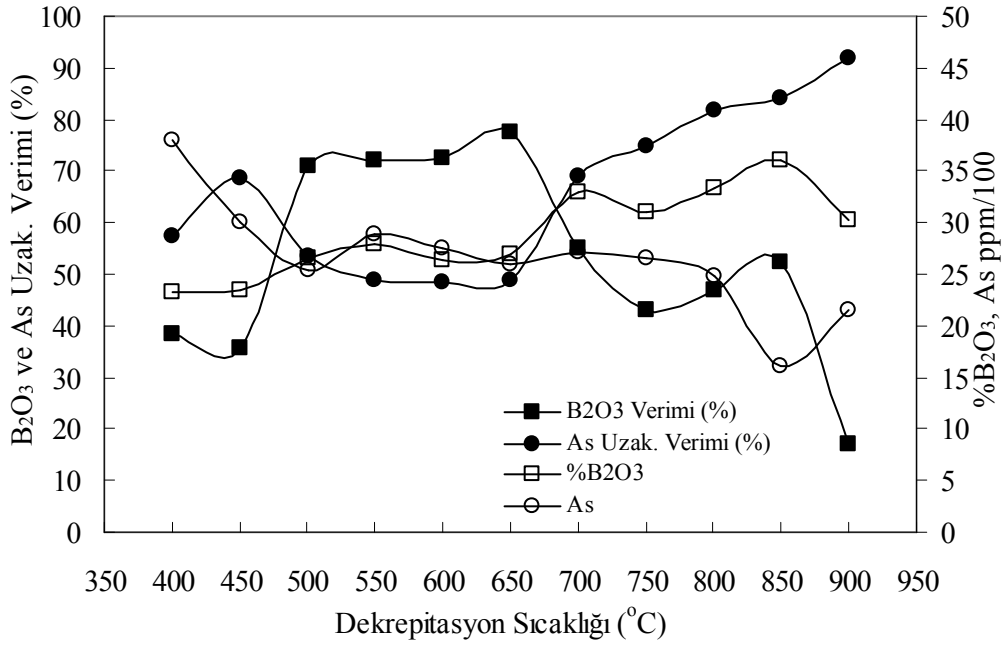
-3+1.18mm tane boyutunda tüm sıcaklıklarda yapılan dekrepitasyon deneylerinde B₂O₃ tenörü %20-25 arasında değişmektedir. Konsantre tenörünün düşük olmasının nedenini besleme tenörünün düşük (%17.73 B₂O₃) olmasından ve boyutun etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dekrepitasyon deneylerinde en iri boyut olan -3+1.18mm tane boyutunda ve en ince boyut olan -0.212mm tane boyutunda ara boyutlara göre daha düşük tenörlü konsantreler elde edilmiştir.



Şekil 6.4. -1.18+0.5mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları

Şekil 6.4.'den görüldüğü gibi -1.18 +0.5mm tane boyutunda, dekrepitasyon sıcaklığı arttıkça B_2O_3 tenörü artmakta, B_2O_3 verimi ise azalmaktadır. Dekrepitasyonda amaç mümkün olduğunca yüksek tenörlü B_2O_3 almak olduğundan 850 °C dekrepitasyon sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. 850 °C'de % 32.24 B_2O_3 tenörlü kalsine konsantre % 59.63 kazanma verimiyle elde edilebilmektedir. -1.18 +0.5mm tane boyutunda sıcaklık yükseldikçe Arsenik uzaklaştırma veriminin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum sıcaklık arttıkça Arseniğin uçarak uzaklaştığını düşündürmektedir. 850 °C'de %70.74 Arsenik uzaklaştırma verimiyle Arsenik tenörü 1785 ppm'e kadar düşürülmüştür.

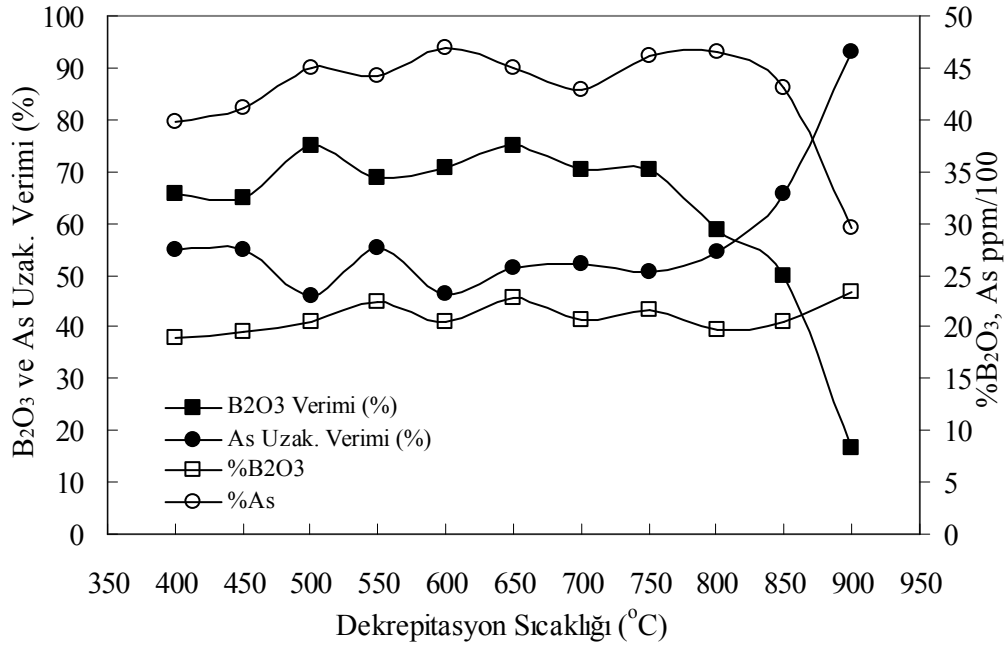
-1.18 +0.5mm tane boyutunda yapılan dekrepitasyon deneylerinde sıcaklık artışıyla B_2O_3 tenörü %23.78'den %33.48'e kadar yükselmektedir. Deney sonuçları dekrepitasyon yöntemiyle borun zenginleştirilebildiğini ve safsızlık olarak bulunan Arseniğin uzaklaştırılabileceğini göstermektedir..



Şekil 6.5. -0.5 +0.212mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları

Şekil 6.5.'den görüldüğü gibi -0.5 +0.212mm tane boyutunda, dekrepitasyon sıcaklığı arttıkça B₂O₃ tenörü artmaktadır. B₂O₃ verimi ise 700 °C'ye kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Yine dekrepitasyonda amaç yüksek tenörlü B₂O₃ almak olduğundan 850 °C dekrepitasyon sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. 850 °C'de % 36.07 B₂O₃ tenörlü kalsine konsantre % 56.86 kazanma verimiyle elde edilebilmektedir. -0.5 +0,212mm tane boyutunda sıcaklık yükseldikçe Arsenik uzaklaştırma veriminin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum Arseniğin uçarak uzaklaştığını göstermektedir. 850 °C'de %84.02 Arsenik uzaklaştırma verimiyle Arsenik tenörü 1610 ppm'e kadar düşürülmüştür.

-0.5 +0.212mm tane boyutunda yapılan dekrepitasyon deneylerinde sıcaklık artışıyla B₂O₃ tenörü %23.20'den %36.07'e kadar yükselmektedir. Bu boyutta da dekrepitasyon yöntemiyle borun zenginleştirilerek Arseniğin azaltılabileceği tespit edilmiştir. En başarılı sonuçlar -0.5 +0.212mm tane boyutunda elde edilmiştir.



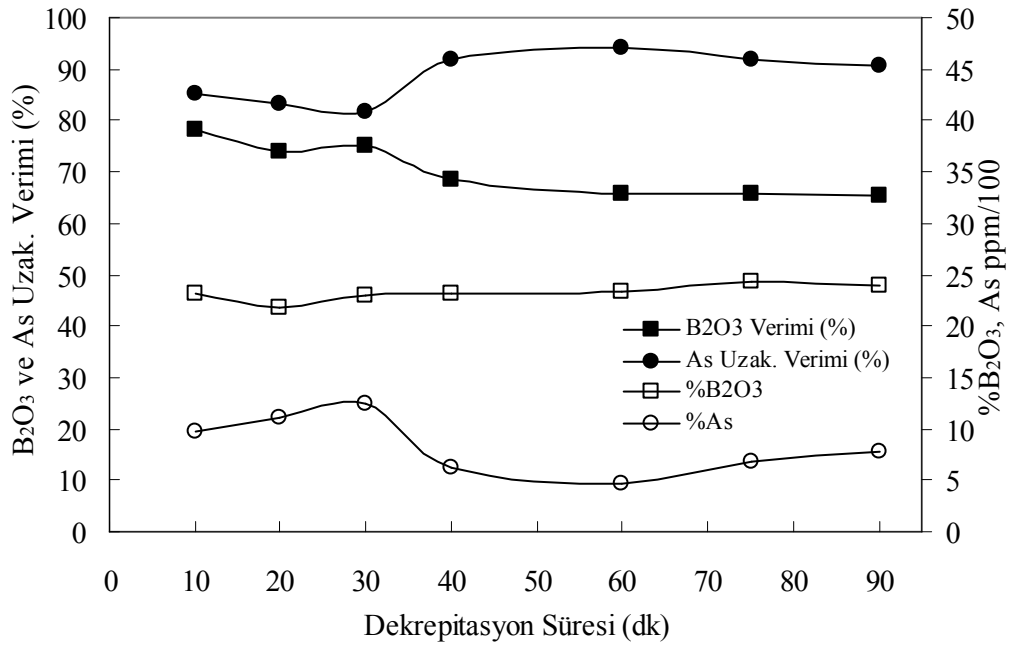
Şekil 6.6. -0.212mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen dekrepitasyon deneyi sonuçları

Şekil 6.6.'dan görüldüğü gibi -0.212mm tane boyutunda, dekrepitasyon sıcaklığı arttıkça B₂O₃ tenörü artmaktadır. B₂O₃ verimi ise 750 °C'ye kadar değişmemekte ve daha sonra ise azalmaktadır. B₂O₃ veriminin 750 °C'den sonra hızla azalması nedeniyle dekrepitasyon sıcaklığı olarak 750 °C alınmıştır. 750 °C'de % 21.69 B₂O₃ tenörlü kalsine konsantre % 70.19 kazanma verimiyle elde edilebilmektedir. -0,212mm tane boyutunda da diğer boyutlarda görüldüğü gibi sıcaklık yükseldikçe Arsenik uzaklaştırma veriminin arttığı tespit edilmiştir. 750 °C'de %50.73 Arsenik uzaklaştırma verimiyle Arsenik tenörü 4620 ppm'e düşürülmüştür. -0.212 mm boyutunda Arsenik tenörünün diğer boyutlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Dekrepitasyon deney sonuçları B₂O₃ tenörü ile Arsenik tenörü arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir. Kalsine kolamanit tenörü ne kadar yüksek olursa Arsenik tenörü o kadar azalmaktadır. Bunu daha net görmek amacıyla temiz elle seçilmiş kolemanit konsantreleri analiz yaptırılmıştır. -1.18 +0.5 mm boyutlu elle seçilmiş kalsine kolemanit tenörü %47.97 B₂O₃ olan temiz numunenin Arsenik tenörü sadece 335 ppm, -0.5 +0.212 mm boyutlu %49.97 B₂O₃ tenörlü temiz numunenin Arsenik tenörü ise 330 ppm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla Arseniğin kalsine numuneden ayrı bulunması bir avantajdır. Esasen burada kalsine numunenin ayırım yöntemi öne çıkmaktadır. Ayırım yöntemi ne kadar iyi seçilirse safsızlık olarak bulunan Arsenikten ayrılma o kadar iyi olmaktadır.

6.1.2. Dekrepatasyon süresinin tespiti

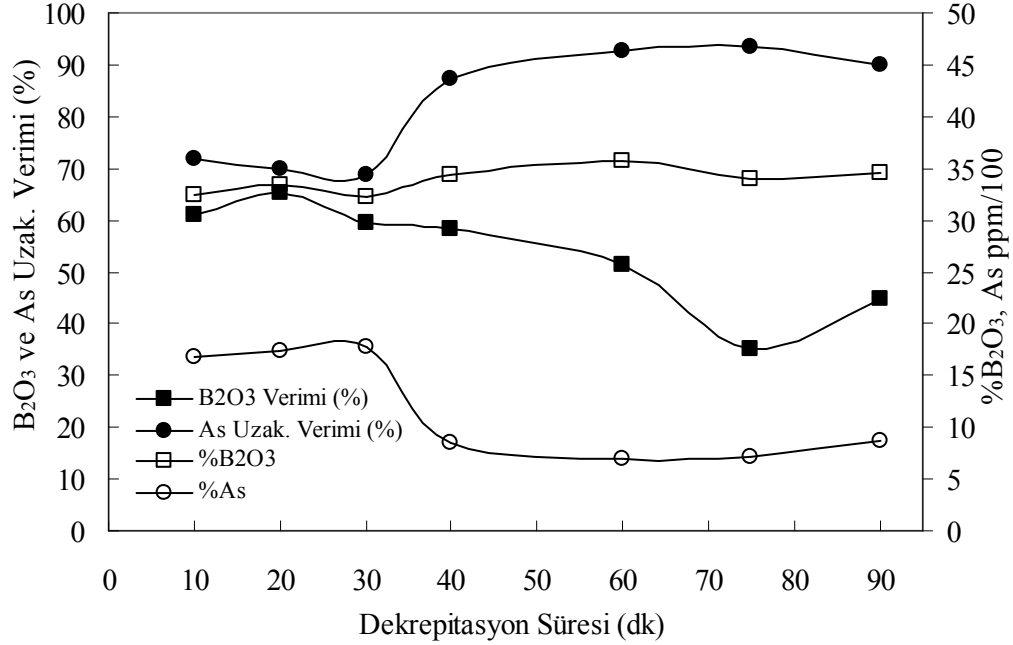
-3 mm Emet Kolemanit atık numunesinin dekrepatasyon sıcaklığını tespit ettikten sonra dekrepatasyon sıcaklığının etkisini görmek amacıyla 10-20-30-40-60-75-90 dakikalarda dekrepatasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. 30 dakika sabit tutularak yapılan dekrepatasyon deneylerinde optimum sıcaklıklar -3 +1.18mm, -1.18 +0.5mm ve -0.5 +0.212mm için 850 °C -0.212mm için ise 750 °C tespit edilmiştir. Tespit edilen optimum sıcaklıklar sabit tutularak gerçekleştirilen dekrepatasyon süreleri deney sonuçları Şekil 6.7., Şekil 6.8., Şekil 6.9. ve Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.7. -3 +1.18mm boyutunda gerçekleştirilen dekrepatasyon süresi deneyi sonuçları

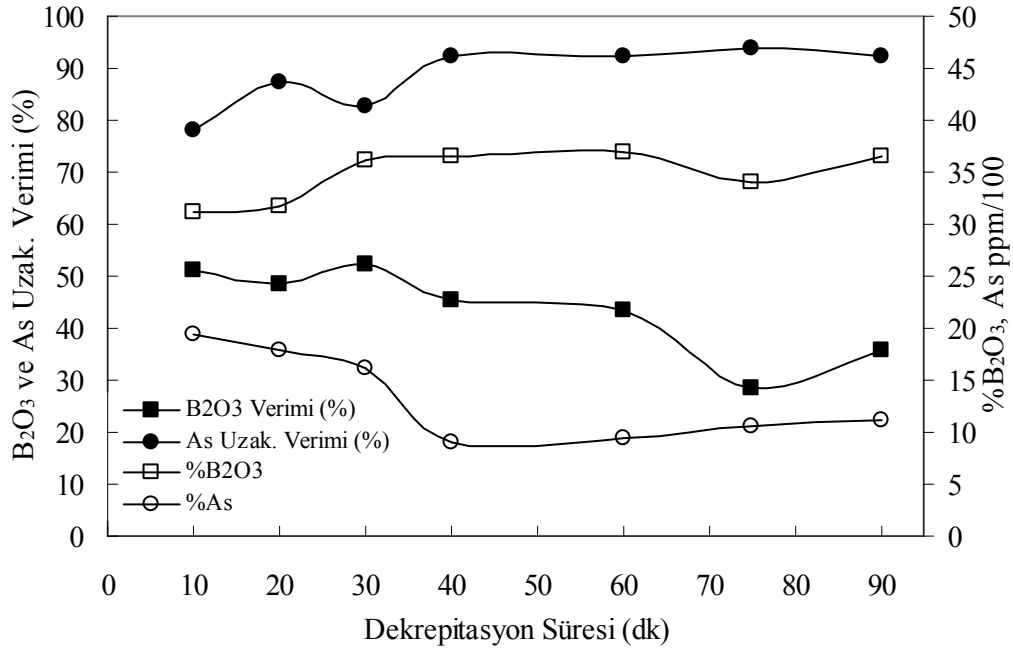
3+1.18mm tane boyutu için 850 °C'de yapılan dekrepatasyon süresi deney sonuçları Şekil 6.7.'de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere dekrepatasyon süresi arttıkça B₂O₃ tenörü %21.82'den %24.31'e artmakta, ancak B₂O₃ kazanma verimi %78.22'den %65.47'e kadar düşmektedir. 850 °C'de tüm sürelerde Arsenik tenörü 1240 ppm ile 470 ppm arasında değişmekte ve dekrepatasyon süresinin artışıyla birlikte azalmaktadır. Bu durum Arseniğin yüksek sıcaklıkta parçalandığını ve dekrepatasyon süresinin sıcaklığa göre daha az etkili olduğunu göstermektedir. Ekonomiklik açısından düşünüldüğünde dekrepatasyon süresinin mümkün olduğunca az seçmek, Arsenik uzaklaştırma açısından ise sürenin uzun olması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı optimum dekrepatasyon süresi olarak 60 dk seçilmesi

uygun görülmüştür. 60 dakika sürede %65.78 kazanma verimiyle %23.38 B₂O₃ tenör ve %94.13 uzaklaştırma verimiyle 470 ppm arsenik tenör elde edilebilmektedir.



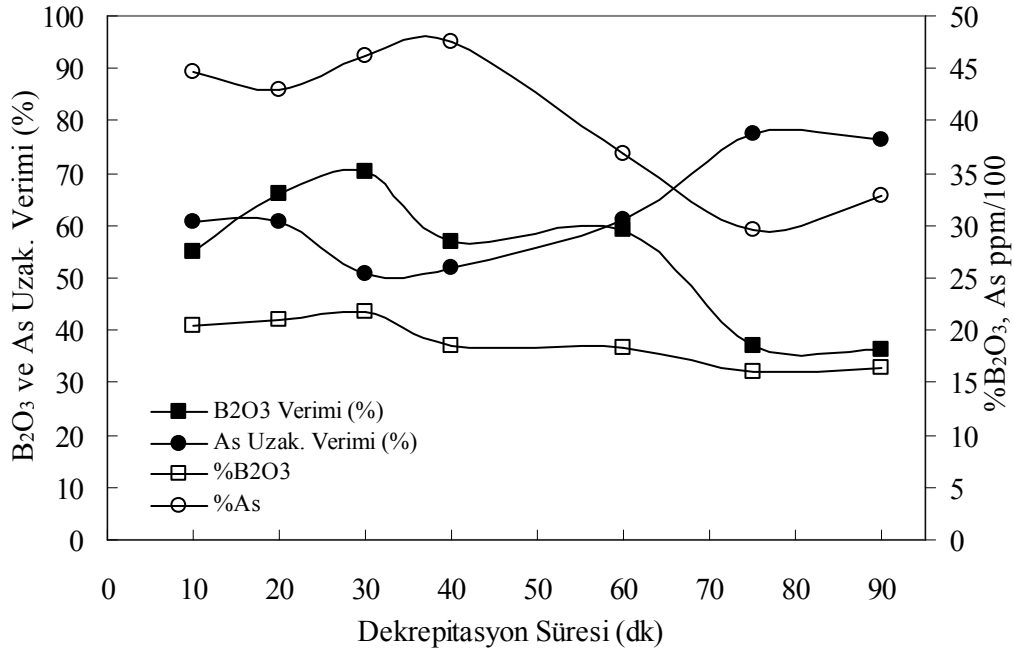
Şekil 6.8. -1.18 +0.5mm boyutunda gerçekleştirilen dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları

-1.18 +0.5mm tane boyutu için 850 °C’de yapılan dekrepitasyon süresi deney sonuçları Şekil 6.8.’de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere dekrepitasyon süresine bağlı olarak B₂O₃ tenörü %32.24 ile %35.64 arasında değişmekte, B₂O₃ kazanma verimi ise %65.26’dan %34.16’ya kadar düşmektedir. Bu boyutta yapılan dekrepitasyon deneylerinde iyi denebilecek seviyede zenginleştirme sağlanabilirken kazanma verimi %50-60 arasında değişmektedir. Önceki boyutta olduğu gibi tüm sürelerde Arsenik tenörü 1680 ppm ile 700 ppm arasında değişmekte ve dekrepitasyon süresinin artışıyla birlikte azalmaktadır. Bu boyutta da aynı durumun görülmesi Arseniğin yüksek sıcaklıkta parçalandığı düşüncesini doğrulamaktadır. Bu boyutta da yine optimum dekrepitasyon süresi olarak 60 dk seçilmesi uygun görülmüştür. 60 dk dekrepitasyon süresinde kolemanit konsantresi; % 35.64 B₂O₃ tenörü % 51.23 kazanma verimiyle ve 700 ppm Arsenik tenörü %93.59 Arsenik uzaklaştırma verimiyle elde edilebilmektedir.



Şekil 6.9. -0.5+0.212mm boyutunda yapılan dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları

-0.5 +0.212mm tane boyutu için 850 °C’de yapılan dekrepitasyon süresi deney sonuçları Şekil 6.9.’da verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere dekrepitasyon süresine bağlı olarak B₂O₃ tenörü %31.69 ile %36.07 arasında değişmekte, B₂O₃ kazanma verimi ise 30 dk’ya kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Bu boyutta yapılan dekrepitasyon deneylerinde de iyi derecede bir zenginleştirme sağlanabilirken yüksek sıcaklıklarda kazanma verimi %30-40’lara kadar azalmaktadır. Önceki boyutlarda olduğu gibi Arsenik tenörü dekrepitasyon süresinin artışıyla birlikte azalmaktadır. Bu boyutta da tüm sürelerde Arsenik uzaklaştırma veriminin %80’lerin üzerinde bulunması Arseniğin parçalandığını kanıtlamaktadır. Bu boyutta optimum dekrepitasyon süresi olarak 30 dk seçilmiştir. 30 dk dekrepitasyon süresinde kolemanit konsantresi; % 36.07 B₂O₃ tenörü % 52.43 kazanma verimiyle ve 1610 ppm Arsenik tenörü %82.67 Arsenik uzaklaştırma verimiyle elde edilebilmektedir.



Şekil 6.10. -0.212mm boyutunda yapılan dekrepitasyon süresi deneyi sonuçları

-0.212mm tane boyutu için 750 °C’de yapılan dekrepitasyon süresi deney sonuçları Şekil 6.9.’da verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere dekrepitasyon süresi arttıkça B₂O₃ tenörü ve B₂O₃ kazanma verimi 30 dk’ya kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bu boyutta yapılan dekrepitasyon deneylerinde iyi bir zenginleştirme sağlanamamıştır. Bu boyutta elde edilen ara ürün tenörleri konsantre tenörlerinden daha yüksek alınmıştır (Ek Çizelge 8.). Aynı zamanda konsantrelerin Arsenik tenörleri de çok yüksektir ve Arsenik uzaklaştırma verimleri de önceki boyutlar kadar iyi değildir. -0.5 mm boyutta Arsenik tenörünün çok yüksek çıkması arseniğin daha çok ince boyutlara geçtiğini veya kil mineralleri ile birlikte bulunduğunu akla getirmektedir. Bu konunun araştırılması dekrepitasyon mekanizmasının anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Önceki boyutlara göre iyi bir ayırım yapılamamasına rağmen en uygun dekrepitasyon süresi 30 dk olarak seçilmiştir. 30 dk’lık dekrepitasyon süresinde kolemanit konsantresi; % 21.69 B₂O₃ tenörü % 70.19 kazanma verimiyle ve 4620 ppm Arsenik tenörü %50.73 Arsenik uzaklaştırma verimiyle elde edilebilmektedir.

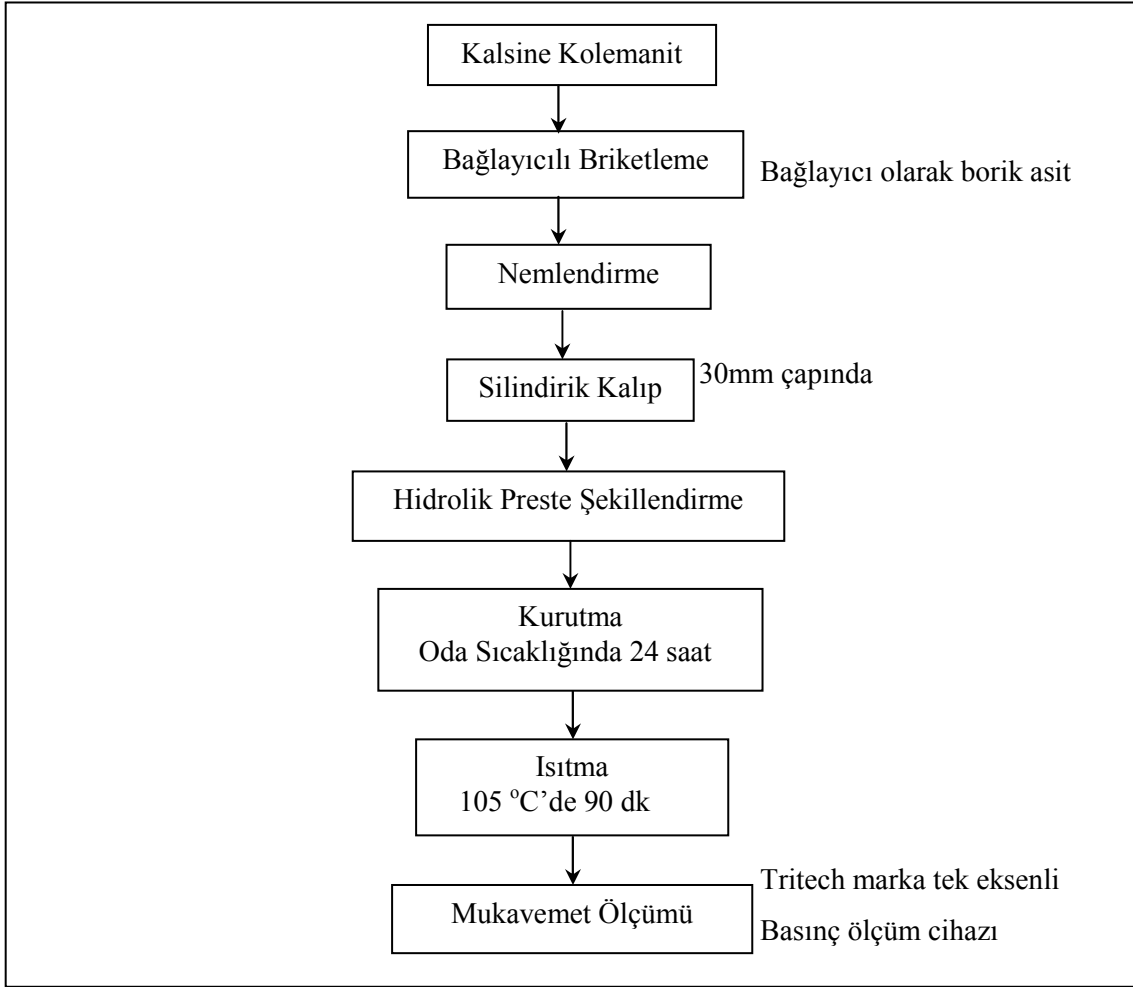
6.1.3. Kalsine ve atık ürünlerin yoğunluk analizi

Dekrepitasyon yöntemi sonrasında ayırım mekanizmasının daha iyi anlaşılması amacıyla -3 +1.18 mm, -1.18 +0.5 mm ve -0.5 +0.212 mm boyutlarının kalsine ürünleri elle ayrılarak temiz kalsine kolemanit ve artık elde edilmiş ve bunların piknometre ile yoğunlukları ölçülmüştür. -3. +1.18 mm boyutundaki temiz kalsine kolemanitin yoğunluğu 2.45 gr/cm³, artığın yoğunluğu 2.52 gr/cm³; -1.18 +0.5 mm boyutlu temiz kalsine kolemanit yoğunluğu 2.21 gr/cm³, artığın yoğunluğu 2.56 gr/cm³; -0.5 +0.212 mm boyutlu temiz kalsine kolemanit yoğunluğu 2.32 gr/cm³, artığın yoğunluğu 2.43 gr/cm³ olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi kalsine kolemanit ve artık arasında dekrepitasyon sonrasında yoğunluk farkı mevcuttur.

Kalsine kolemanit ve atık arasındaki ayırmada kolemanitin patlayarak ince boyutlara geçmesi, buna karşılık killerin agrega olarak boyutunun büyümesi sonucu oluşan ayırma, yoğunlukların da etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla modifiye edilmiş bir havalı ayırıcı tasarlayarak ayırımın iyileştirilmesinde çok büyük faydalar vardır.

6.2. Briketleme

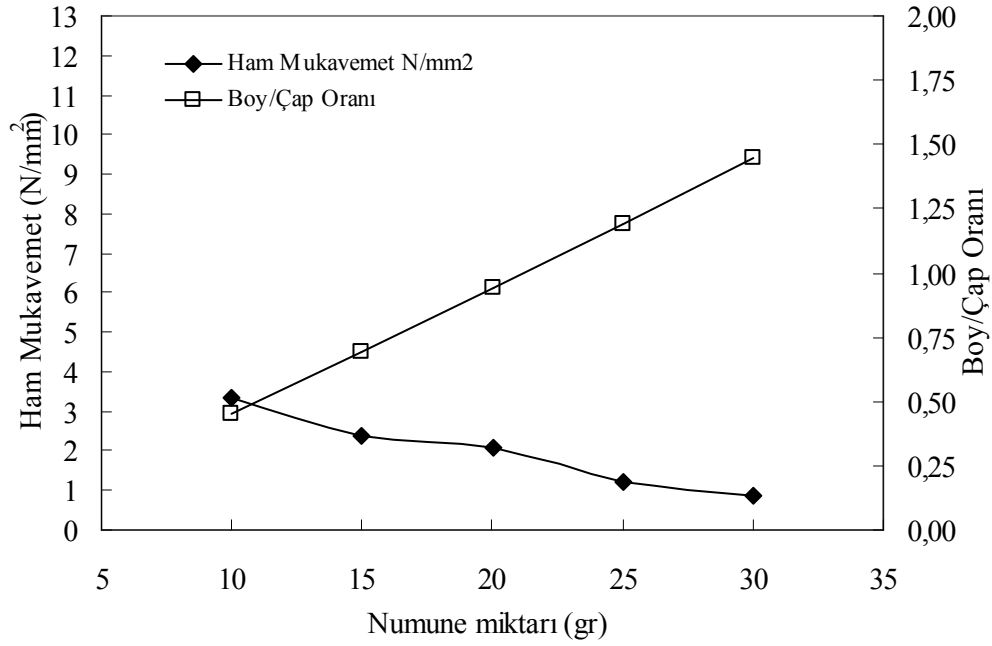
Dekrepitasyon çalışmaları sonunda elde edilen konsantrelerin satılabilmesi için boyutunun büyütülmesi gerekmektedir. Çünkü piyasada toz halinde kolemanit satışında problemler yaşanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kalsine kolemanitlerin satılabilir bir ürün haline getirilebilmesi amacıyla briketleme yapılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen briketleme deneyi akım şeması ile Şekil 6.11.'de verilmektedir. Briketleme deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 6.12., Şekil 6.13., Şekil 6.14., Şekil 6.15. ve Şekil 6.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 6.11. Briketleme deneyi akım şeması

6.2.1. Numune miktarının tespiti

Kalıp içine ne kadar harç konulması gerektiğini tespit etmek amacıyla %22.49 Borik asit, %10 nem, 10 kN basınç miktarı sabit tutularak 10 gr, 15 gr, 20 gr, 25 gr ve 30 gr toplam harç miktarlarında briketleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Harç miktarının tespiti için gerçekleştirilen briketleme deney sonuçları Şekil 6.12.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12. Kalıba ilave edilen harç miktarının briketleme mukavemetine etkisi

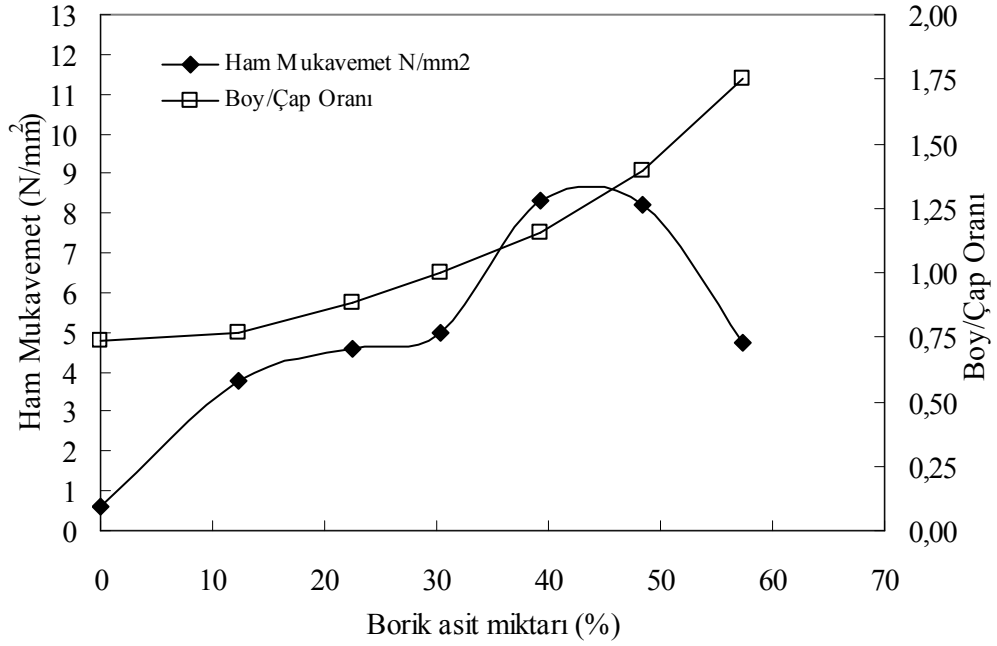
Beklenen bir durum olarak kalıba ilave edilen harç miktarı arttıkça, briketlerin mukavemeti azalmıştır. Harç miktarının artırılması briketlerin boylarını arttırmakta ve doğal olarak briket dayanımı azalmaktadır. Boy/Çap oranının 1 olması göz önünde bulundurularak 20 gr harç miktarında çalışılması uygun görülmüştür.

6.2.2. Borik asit miktarının tespiti

Kalsine kolemanitin briketlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda genellikle kolemanitle aynı türden olan bağlayıcılar tercih edilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda borik asidin uygun bir bağlayıcı olduğu tespit edilmiştir [15, 64, 65]. Borik asidin uygun bir bağlayıcı olması yanında girdiği bünyenin B_2O_3 içeriğini arttırması açısından önemli bir kullanım avantajı da vardır. Zaten bu çalışmada borik asit hem bağlayıcı olarak hem de B_2O_3 tenörünü arttırması amacıyla kullanılmıştır. Dekrepitasyon sonunda elde edilen kalsine kolemanitin tenörü %36.28 B_2O_3 iken, satılabilir bir ürün elde etmek için bu tenörün %42 B_2O_3 'lerin üzerine çıkarılması gerekmektedir. Harca borik asit ilave edildiğinde briketin B_2O_3 tenörü satılabilir tenöre çıkarılabilmektedir.

Borik asidin briketleme mukavemetine etkisini görebilmek amacıyla numune miktarı 20 gr, nem miktarı %10, basma kuvveti 10 kN sabit tutularak borik asit kullanılmadan (%0) ve %12.25, %22.49, %30.28, %39.3, %48.31, %57.33 borik asit kullanılarak briketler yapılmıştır.

Deney sonuçları Şekil 6.13’de gösterilmektedir. Bu miktarlarda borik asit kullanıldığında ise her bir harcın B_2O_3 tenörleri sırasıyla %36,28, %39, %41,3, %43, %45, %47, %49 değerlerine ulaşmaktadır.

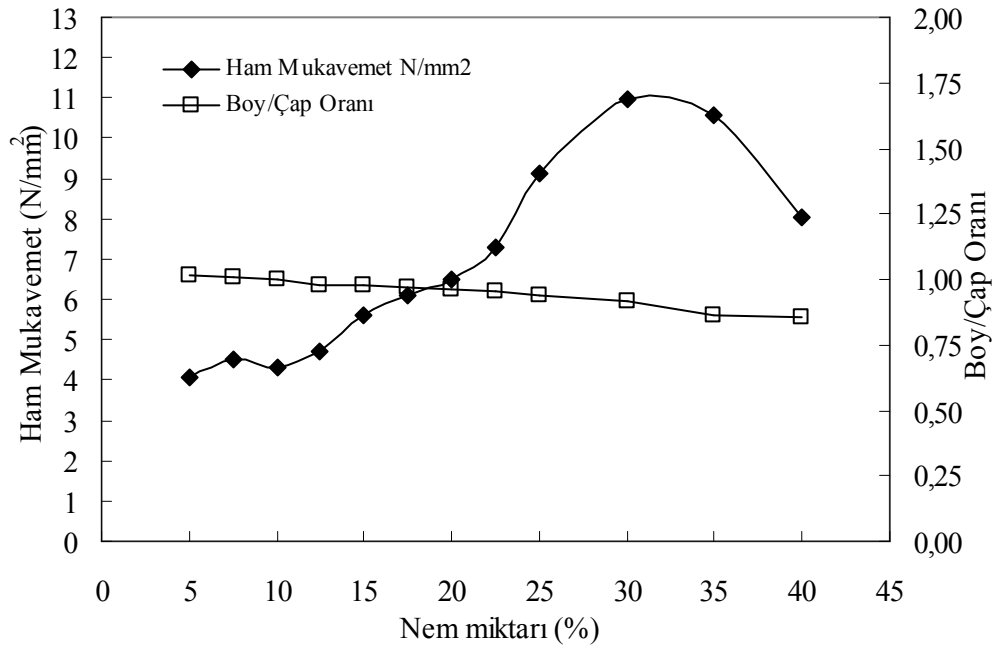


Şekil 6.13. Borik asit miktarının briketleme mukavemetine etkisi

Şekil 6.13’de görüldüğü gibi %40 Borik asit miktarına kadar briket mukavemeti artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Borik asit ilavesinin fazla olması istenmediğinden ve harç tenörünün %43 B_2O_3 olmasını yeterli görüldüğünden dolayı harca ağırlıkça %30,28 oranında borik asit ilavesinin uygun olduğu düşünülmüştür. Ayrıca dayanımı artıma yolunun borik asit ile değil de nem ve basma mukavemeti ile sağlanması amacı da bu miktarda borik asit kullanımının yeterli görülmesinin bir diğer nedenidir. %30,28 borik asit ilavesiyle 5 N/mm² dayanıma sahip briketler elde edilebilmektedir.

6.2.3. Nem miktarının tespiti

Bu çalışmada briketlerin genellikle taşıma amaçlı olarak kullanılacağı düşünüldüğünden, briketlerin sağlam ancak kolay ufalanabilir (gevrek) olmasına önem verilmiştir. Dolayısıyla bu durumun sağlanacağı en önemli parametre nem miktarıdır. Nem miktarının briketleme mukavemetine etkisini görebilmek amacıyla numune miktarı 20 gr, borik asit miktarı %30,28, basma kuvveti 10 kN sabit tutularak ağırlıkça %5, %7,5, %10, %12,5, %15, %17,5, %20, %22,5, %25, %30, %35, %40 nem miktarlarında briketleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.14. nem miktarının briketlerin dayanımına etkisini göstermektedir.



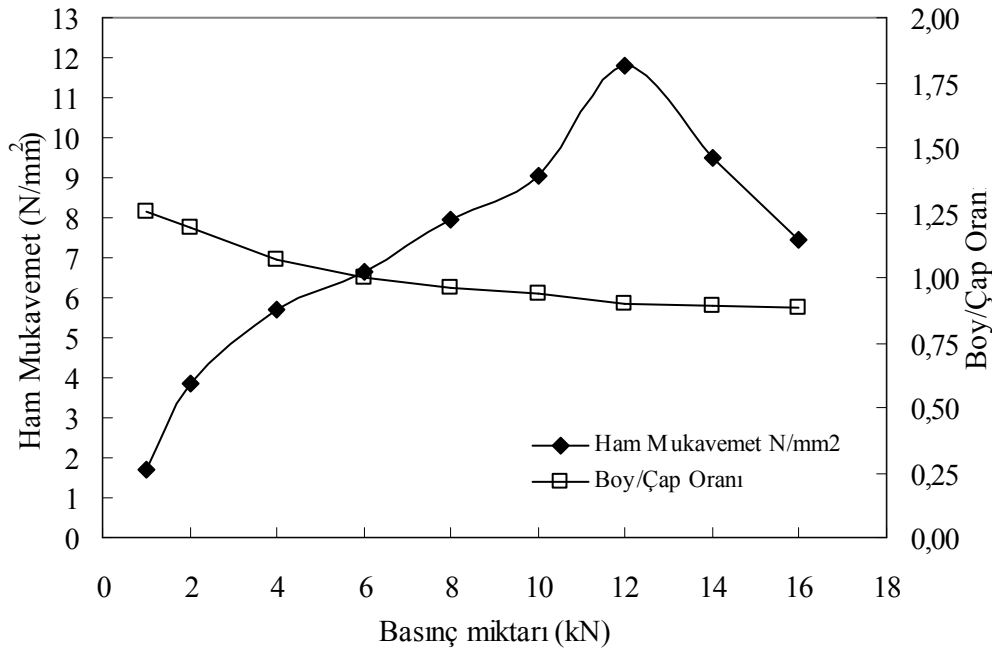
Şekil 6.14. Nem miktarının briketleme mukavemetine etkisi

Şekil 6.14'de görüldüğü gibi %30 nem miktarına kadar briketlerin mukavemeti artmaktadır. Bu durum nem miktarının ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Briketler taşıma amaçlı olduğundan ve çok sağlam olması istenmediğinden dolayı %25 nemin uygun olacağına karar verilmiştir. %25 nemde 9,12 kN/mm² basınç dayanımına sahip briketler üretilmektedir. Boy/Çap oranından da görüleceği üzere nem miktarı arttıkça boyda azalma görülmüştür. Bu durum nemin harçta yumuşaklık sağlayarak tanelerin birbiri içindeki hareketini kolaylaştırdığını ve tanelerin birbirine yaklaşmasını sağladığını göstermektedir [62]. Bunun sonucu olarak briketlerin mukavemeti artmıştır.

6.2.4. Basma kuvveti miktarının tespiti

Basma kuvveti briketlerin sağlamlığı açısından çok önemlidir. Ancak burada briketlerin taşıma amaçlı olmasından dolayı çok sağlam olması istenmemiştir. Daha çok basma mukavemetinin briket sağlamlığını nasıl etkilediğini ve daha düşük basınçlarda çalışmanın mümkün olabilirliğini görmek amacıyla briketleme deneyleri yapılmıştır.

Basma kuvveti deneylerinde borik asit miktarı %30.28, numune miktarı 20 gr, nem miktarı %25 sabit tutularak 1 kN, 2 kN, 4 kN, 6 kN 8 kN, 10 kN, 12 kN, 14 kN, 16 kN basma kuvvetlerinde briketler yapılmıştır. Basma kuvveti deney sonuçları Şekil 6.15.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Basma kuvvetinin briketleme mukavemetine etkisi

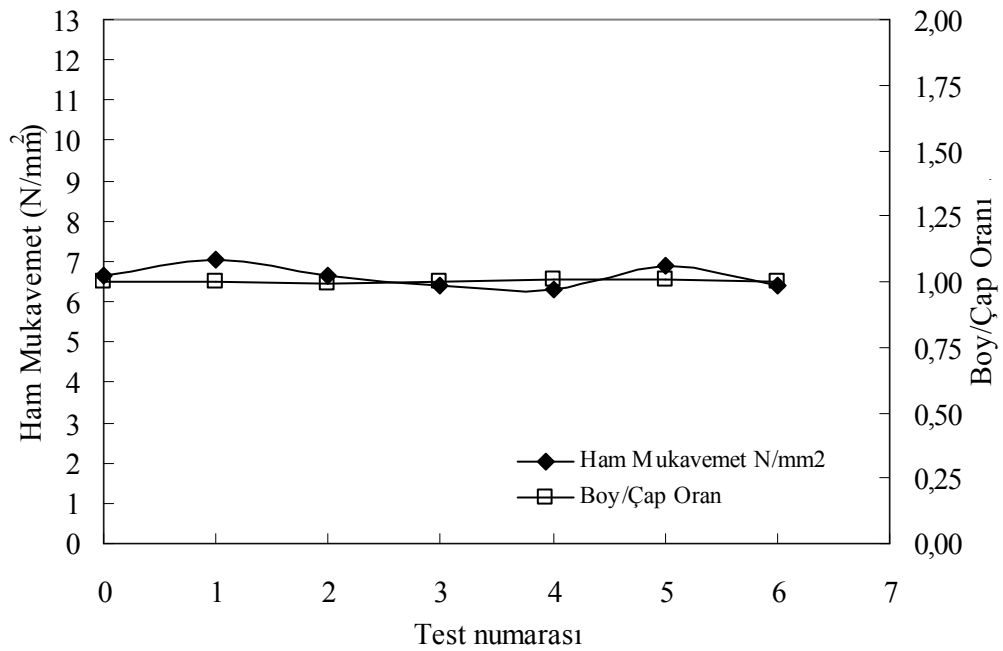
Şekil 6.15'den görüldüğü gibi basma kuvveti 12 kN'na kadar artıka briketlerin mukavemeti artmaktadır. Ancak bu çalışmada daha düşük basınç kuvvetlerinde çalışılmak istendiğinden 6 kN'luk basınç kuvvetin çalışmanın amacı için yeterlidir. 6 kN basınç kuvveti için 6.64 kN/mm² dayanımlı biriketler elde edilebilmektedir. Şekilden görüleceği gibi istendiği takdirde daha sağlam briketler elde etmek de mümkündür.

Boy/Çap oranında görüldüğü gibi basma kuvveti arttıkça briketin porozitesi (boşluk oranı) azalmakta, taneler birbirlerine daha yakınlaşmakta ve taneler arasında daha kuvvetli bağlanma meydana gelmektedir.

Basınç kuvveti deney sonuçlarından görüldüğü gibi, 12 kN'a kadar briketlere ne kadar basınç kuvveti uygulanmışsa briketlerden o kadar dayanım elde edilebilmektedir.

6.2.5. Hipotez testi

%30.28 borik asit miktarı ile %43 B₂O₃ tenörde, 20 gr numune miktarında, %25 nem ve 6 kN basma kuvveti ile sonuçların doğruluğunu görmek amacıyla 6 adet briket yapılarak basınç dayanımları ölçülmüştür. Deney sonuçları Şekil 6.16'da gösterilmektedir.



Şekil 6.16. Optimum sonuçlara göre tekrarlanan test sonuçları

0 numara briket deneyleri sonucu tespit edilen optimum değeri gösterirken, diğer numaralar tekrarlama testlerini göstermektedir. 0 numaralı briket 6.64 N/mm² mukavemet değerindeyken doğruluk testlerinin aritmetik ortalaması 6.615 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.16'dan görüldüğü gibi briketlerin mukavemetleri arasında çok iyi bir uyum vardır. Hipotez testlerinden T dağılış testi ile hesaplanan sonucuna (Ek 3) göre sonucun güvenirliliği çok yüksektir.

7. SONUÇLAR ve YORUM

Bor minerallerinin teknolojide kullanıldığı yerler, ülke ekonomisine sağladığı katma değer ve dünya rezervlerinin büyük bir kısmının ülkemizde olması gibi nedenlerden dolayı, borun önemi günümüzde artık herkes tarafından bilinen bir olgudur. Dolayısıyla bu değerli kaynağın en uygun şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bor atıklarının çevreye verdiği zarar ve depolama maliyetleri Bor İşletmelerinin önemli problemlerinden biridir. Bu çalışma bir yönüyle bu problemi çözmeye çalışırken, aynı zamanda ülke ekonomisine de katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bor atıklarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan kalsinasyon yönteminin kuru bir zenginleştirme yöntemi olması, elde edilen ürünün daha sonra kullanılacak sektörlere uygun hale gelmesi, istenmeyen safsızlıkların giderilebilmesi nedeniyle önemli avantajları olduğu bilinmektedir. Birçok Türk araştırmacı bu konuda araştırmalar yapmış ve olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Bu çalışma -3 mm Emet Kolemanit Espey Konsantratör tesisi atıklarından satılabilir bir ürün elde etmek amacıyla yapılan Kalsinasyon ve Briketleme çalışmalarını kapsamaktadır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle atık numunenin fiziksel, kimyasal ve minerolojik analizleri yapılmış, bu analiz sonuçlarına göre deney planlaması gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda belirtilen nedenlerle -3 mm Emet Kolemanit Espey Konsantratör tesisi atıkları üzerinde yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Atık numunenin kimyasal analiz sonuçlarına göre; %19.2 B₂O₃, %26.01 SiO₂, %12.09 CaO, %6.10 MgO, %1.86 Fe₂O₃, %1.98 K₂O + Na₂O, %7.01 Al₂O₃ + Ti₂O₃, 3770 ppm Arsenik ve %25.65 Ateş yayıatı içerdiği tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları atık numunesinde yüksek miktarda Arsenik ve demir olduğunu göstermektedir.

- -3 mm Emet Kolemanit atık numunesinde XRD piklerine göre, kolemanit, kalsit, illit, kuvars, dolomit, muskovit, mika ve Yimenjit mineralleri tespit edilmiştir. Yimenjit (K(Cr, Ti, Fe, Mg)₁₂ O₁₉) kimyasal formülünde Fe ve Ti bulundurmaktadır.

- Havada kurutulmuş atık numunenin elek analiz sonuçları malzemenin %75'inin 0.5 mm'nin altında olduğunu göstermektedir. Atık numunedeki B₂O₃'ün %80'i -3 +0.106 mm arasında bulunmaktadır ve ince boyutlara gidildikçe B₂O₃ içeriği azalmaktadır. Kalsinasyon

deneyleri -3 +1.18mm, -1.18 +0.5mm, -0.5 +0.212mm ve -0.212mm olmak üzere 4 farklı boyut grubunda gerçekleştirilmiştir.

Dekrepitasyon deney sonuçları aşağıdaki gibidir:

- -3 +1.18mm boyutunda 850 °C’de 60 dakika sürede gerçekleştirilen dekrepitasyon sonunda; %23.38 B₂O₃ tenörlü kalsine kolemanit %65.78 B₂O₃ kazanma verimiyle elde edilebilmektedir. Konsantrede Arsenik tenörü 3965 ppm’den 470 ppm’e %94.13 arsenik uzaklaştırma verimiyle düşürülebilmektedir.

- -1.18 +0.5mm boyutunda 850 °C’de 60 dakika süreyle gerçekleştirilen dekrepitasyon sonunda; %35.64 B₂O₃ tenörlü kalsine konsantre %53.91 B₂O₃ kazanma verimiyle elde edilebilmektedir. Bu boyutta Arsenik tenörü 2320 ppm’den 700 ppm’e %92.58 arsenik uzaklaştırma verimiyle düşürülebilmektedir.

- -0.5 +0.212mm boyutunda 850 °C’de 30 dakika süreyle gerçekleştirilen dekrepitasyon sonunda; %36.07 B₂O₃ tenörlü kalsine kolemanit %56.86 B₂O₃ kazanma verimiyle elde edilmekte ve Arsenik tenörü 3200 ppm’den 1610 ppm’e %82.67 Arsenik uzaklaştırma verimiyle düşürülebilmektedir.

- -0.212mm boyutunda 750 °C’de 30 dakikalık dekrepitasyon sonunda; % 21.69 B₂O₃ tenörlü kalsine kolemanit % 70.19 B₂O₃ kazanma verimiyle elde edilmekte ve Arsenik 4958 ppm’den 4620 ppm’e %50.73 Arsenik uzaklaştırma verimiyle düşürülebilmektedir (Çizelge 7.1.).

Çizelge 7.1. Dekrepitasyon deney sonuçları

Boyutlar	Optimum sonuçlar	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ verim (%)	As (ppm)	As Uzak. Verimi (%)
-3 +1.18 mm	850 °C 60 dk	23.38	65.78	470	94.12
-1.18 +0.5 mm	850 °C 60 dk	35.64	53.91	700	92.58
-0.5 +0.212 mm	850 °C 30 dk	36.07	56.86	1610	82.67
-0.212 mm	750 °C 30 dk	21.69	70.19	4620	50.73

- Dekrepatasyon deneyi sonuçları hem dekrepatasyon sıcaklığının hem de dekrepatasyon süresinin artırılmasıyla B_2O_3 tenörünün artmakta, B_2O_3 kazanma veriminin ise azalmakta olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde dekrepatasyon sıcaklığı ve süresi artırıldıkça Arsenik tenörü azalmakta, Arsenik uzaklaştırma verimi artmaktadır.

- Dekrepatasyon sıcaklığı ve süresi parametreleri birlikte incelendiğinde sıcaklık artışının süreye göre daha etkin olduğu görülmektedir.

- Dekrepatasyon deneyleri -3mm Emet Kolemanit konsantratör atıklarının dekrepatasyon yöntemi ile zenginleştirileceğini göstermektedir.

- Dekrepatasyon ve ayırma yönteminin kuru olması nedeniyle su kullanılmadığı için yeni bir gölete ihtiyaç yoktur. Dekrepatasyon yöntemi gölet masrafları, çevre sağlığı ve ürün kalitesi açısından yaş yöntemlere göre çok daha avantajlıdır.

- Dekrepatasyon yöntemi sonrasında ayırım mekanizmasının anlaşılması amacıyla piknometre ile kalsine kolemanitin ve artığın yoğunlukları ölçülmüştür. -3 +1.18 mm, -1.18 +0.5 mm ve -0.5 +0.212 mm boyutları için kalsine kolemanit yoğunlukları sırasıyla 2.45 gr/cm³, 2.21 gr/cm³, 2.32 gr/cm³ ölçülürken; artığın yoğunlukları sırasıyla 2.52 gr/cm³, 2.56 gr/cm³, 2.43 gr/cm³ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar kalsine kolemanit ve artık arasında dekrepatasyon sonrasında yoğunluk farkı olduğunu göstermektedir.

- Borun dekrepatasyonuna özel olarak, hem boyut farklılığına dayalı hem de yoğunluğa dayalı çalışan modifiye edilmiş bir havalı ayırıcı geliştirilmelidir. Bu konunun araştırılmasında fayda vardır.

Dekrepatasyon yöntemi sırasında kolemanit patlayarak ufalandığı için kalsine kolemanit ince boyutlarda elde edilmektedir. Satılabilir konsantre kolemanitin elde edilmesi için briketleme (boyut kazandırma) deneyleri yapılmıştır. Briketleme ile kalsine kolemanitin nakliye ve depolama problemleri de çözülmüş olacaktır.

-1.18+0.5mm ve -0.5+0.212mm boyutundaki kalsine kolemanit tenörlerinin birbirine yakın olması nedeniyle birleştirilmiş ve briketleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Briketlenen kalsine kolemanitin tenörü %36.28 B_2O_3 ve boyutu 0.212mm'nin altındadır.

Briketleme deney sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Briketleme deneylerinde kalıbın içine ilave edilen harç miktarı arttıkça briketlerin boyları artmakta ve doğal olarak briket dayanımı azalmaktadır.

- Briketleme deneylerinde %30 nem miktarına kadar briketlerin mukavemeti artmaktadır.

- Briketleme deneylerinde %40 Borik asit miktarına kadar briket mukavemeti artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

- Briketleme deneylerinde 12 kN kadar basınç kuvvetine kadar briketlerin mukavemeti artmakta, daha sonra ise azalmaktadır.

- Optimum briketleme deney şartları olarak 20 gr numune miktarı, %30.28 borik asit miktarı, %25 nem ve 6 kN basınç kuvveti tespit edilmiştir. %43 B₂O₃ tenörde, 20 gr numune miktarında, %25 nemde, 6 KN basma kuvvetiyle bulunmuştur. Bu koşullarda %43 B₂O₃ tenörüne sahip briketlerin ortalama basınç dayanımları 6.79 N/mm² olarak ölçülmüştür.

Emet Espey -3mm konsantratör atıkları ile yapılan laboratuvar ölçekli dekrepitasyon ve briketleme deneyleri sonucunda, tenörü %43 B₂O₃ ve boyutları 30mm çapında, 30mm yüksekliğinde olan satılabilir kolemanit briketleri elde edilebilmiştir.

Emet kolemanit rezervlerinin çok yüksek olması nedeniyle atıkların tekrar kazanılması için bir tesis bulunmamaktadır. Bu nedenle büyük bir potansiyel atık oluşmaktadır. Atıkların dekrepitasyon yöntemiyle zenginleştirilip sonrasında briketleme yöntemiyle boyut kazandırılıp kullanılması durumunda hem ülke ekonomisine katkıda bulunulacak, hem de stoklama maliyetleri ve gölet masraflarından tasarruf sağlanacaktır. Atık göletinden meydana gelen çevre kirliliği ve atığın yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenmiş olacaktır.

Atık cevherle elde edilen olumlu sonuçların ham cevherde de elde edilebileceği düşüncesinden yola çıkarak, dekrepitasyon yönteminin ham Bor Cevherlerine uygulanan yaş yöntemlere bir alternatif teşkil edip etmeyeceği önemli bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada dekrepitasyon yönteminin ekonomisine değinilmemiştir. Dekrepitasyon yönteminin ekonomik açıdan fizibilite edilerek yaş yöntemlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Güyagüler, T., 2001 , Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Edt: Köse, H., Arslan, V., Tanrıverdi M., Dokuz Eylül Üniv. TMMOB Madan Müh. Odası Yayını , İzmir , Türkiye , s:18-27
- [2] Ediz, N. ve Özdağ H. 2001 “Bor Mineralleri ve Ekonomisi”. D.P.Ü. FBE Dergisi, Sayı 2, Kütahya s:133-151
- [3] Poslu, K. ve Arslan , İ.,H.,1995, Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,TMMOB MMO, Edt: Köse, Kızıl İzmir, Türkiye, s: 33-42
- [4] Tolun, R., Kocakuşak, S., Ayok, T., Köroğlu, H.J., Akçay, K., 1993 ,Boraks Dekahidratın Kalsinasyon ve Kompaktlaması Yolu ile Yeni Granül Bor Ürünlerinin Üretilmesi, T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı İhtira Beratı no:25850 19.08.1993 Ankara s:8
- [5] Özbayoğlu, G., Şener, S., Özdemir Z., 2001, Toz Üleksite Boyut Kazandırma, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, edt: Köse, H.,Arslan, V., Tanrıverdi, M. TMMOB Maden Müh. Odası , İzmir, Türkiye s:288-291
- [6] Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, Bor Minerallerinin Genel Özellikleri, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, edt: Köse, H.,Arslan, V., TMMOB Maden Müh. Odası, İzmir, Türkiye s:224-228
- [7] Yaman, C., Maraşoğlu, M.,1998, Bor Mineralleri Atıklarından Üretilen Camsı Maddenin Olası Kullanım Alanları, 4. Seramik Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s:97-102
- [8] Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M., 1996, Beneficiation of Emet Tailing by Water Absorbnsion+Mechanical Attrition+Megnetic Separation , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoğlu, İzmir, Türkiye, s:143-149
- [9] Savaş, M., 1994, “Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Atıklarının Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması” O.G.Ü. M.M.F. Yüksek Lisans Tezi Eskişehir 1994, 106 s.
- [10] Helvacı, C., 2004, Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası , 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir Türkiye s:11-27
- [11] İpekoğlu Ü. ve Polat M., 1987, Bor Endüstrisine Genel Bakış, Madencilik Dergisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası cilt:26 sayı:1 Ankara s:5-16
- [12] Kılıç A.M., 2004 “Bor Madeninin Türkiye Açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri” II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M., Eskişehir, Türkiye, s:31-41
- [13] Baykal E.D. , 2003 “Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi”. Balıkesir Üniv. F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [14] Özdağ, H., Bozkurt, R. ve Uçar A. 1988, Kestelek Bor Yıkama Atıklarından Borun Kazanılması, Processing of the II. International Mineral Processing Symposium, Edt: Aytekin Y., İzmir , Türkiye s: 282-287
- [15] Tolun, R., 1996 “Türkiye’de Bor Bileşikleri Üretim Teknolojilerinin Dünü, Bugünü ve Geleceği” Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırma Danışma Toplantısı , Tübitak-MAM, Gebze, 16 s.
- [16] Erten, M.H., 1976, Kolemanit Flotasyon Konsantrelerinin Briketleme Yolu ile Aglomerasyonu, Maden Teknik Arama Enstitüsü Dergisi sayı 76, Ankara, s:70-76
- [17] Geyikbey, T., Şarda, D. ve Birlik E., 2004, Kolemanit ve Pandemit Minerallerinden Borik Asit Üretimi ve Üleksit , II.Uluslararası Bor Sempozyumu,23-25 Eylül 2004, Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M.,Eskişehir, Türkiye, s:285-290
- [18] Aytekin, Y., 1995 , Maden Mühendisliğine Giriş , Ders Kitabı Dokuz Eylül Ün. M.M.F. , İzmir , 271 s.
- [19] Özpeker, I., 1973, Borun Kullanımı, Tüketimi ve Ulusal Gerilime Katkı Olanığı, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi, TMMOB M.M.O Yayınları , Ankara s:313-324
- [20] Köktürk, U., 1997, Endüstriyel Hammaddeler Ders Kitabı Dokuz Eylül Ün. M.M.F , İzmir, 259 s.
- [21] Akar A., 1987, Endüstriyel Hammaddeler ve Zenginleştirme Yöntemleri , Ders Kitabı , İzmir, 210 s.
- [22] Taşçı A. , 1993 “ Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları” İ.Ü. F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1993
- [23] Kistler, R. B. , Helvacı, C., 1994 “Boron and Borates”, Industrial Minerals and Rock, 6th Edition, Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc., pp 171-186
- [24] Özpeker ,Ö., 2001, Borat Yataklarının Değerlendirilmesi. Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, Edt. Kırıkoğlu S., Budakoğlu M., Çelenli A., s:57-68
- [25] Sapmaz A., 2001, Ülkemiz Bor Madenciliği ve Hukuki Durumu, Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi , Edt. Kırıkoğlu S., Budakoğlu M., Çelenli A., s:69-79
- [26] Süner, F., 1999, Endüstriyel Envanteri, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı edt.Önal G., vd, s:244
- [27] Alp, M.S., Tanrıverdi, M., Karaman, B.ve Batar , T., 1995, Bor Minerallerinin ve Ürünlerinin Pazarlama Koşulları, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Edt: Köse ve Kızıl, İzmir, Türkiye, s: 49-57
- [28] [28]Acarkan, N., 2002, “Bor Ürün Çeşitleri ve Kullanım Alanları, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Ün., 3-4.10.2002 Edt: Erarslan K., Kütahya Türkiye s:5-14

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [29] Addemir, O. ,2001, İleri Teknoloji Malzemelerinde Bor Türevleri. Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi 16.3.2001, Edt. Kırkoğlu S., Budakoğlu M., Çelenli A., s:43-46
- [30] Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., 2001, Bor Minerallerinin Önemli, Potansiyeli, Üretimi ve Ekonomisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, , Edt: Köse, H., Arslan, V., Tanrıverdi M., Dokuz Eylül Ün. TMMOB Madan Müh. Odası Yayını , İzmir Türkiye s:226-235
- [31] Ediz, N., Bentli, İ., Tatar, İ. ve Ceylen, T. ,2004 , Kestelek Bor İşletmesi -3mm Klasifikatör Çökeni Ürünün Farklı Pervaneli Dağıtıcılarda Zenginleştirilmesi , 2. Uluslararası Bor Sempozyumu , edt: Özdağ, H., Akdaş, H., Bozkurt, V., İphar, M., Eskişehir, Türkiye, s:93-98
- [32] www.etibor.com
- [33] Güyagüler, T., 2006, 3. Uluslararası Bor Sempozyumu, Ankara, Türkiye
- [34] Önal, G., 1980 , Cevher Hazırlama Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri ,İTÜ Yayını sayı: 1156 İstanbul 232 s.
- [35] Özkan, Ş.G. ve Veasey T.J., 1996 , Effect of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Colemanite Flotation, 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoğlu, İzmir, Türkiye , s:277-281
- [36] Sönmez E., 1991, “Kırka Tinkal Cevheri ve Konsantresinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 108 s.
- [37] Çebi, H., Özkan, Ş.G., Demircan, E. ve Mordoğan H., 1997, Kırka’ da Üretilen Tinkal Kaba Konsantrenin İyileştirilmesi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Edt: Güyagüler, Ersayın, Bilgen s:311-318
- [38] Alp, İ. ve Özdağ H., 2000 , Investigation of the Processing of Colemanite Tailings by Ultrasonic Sound Waves , 8th International Mineral Processing Symposium , edt. Özbayoğlu , Antalya , Türkiye , 693-696
- [39] Emrullahoğlu, F.Ö., Yüzer, H.,1990, Etibank Bigadiç Kolemanit Cevheri -3mm Fraksiyonunun Laboratuar Çapta Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Akdeniz Ün. Isparta Müh. Fak. Dergisi, edt Yamık , A. , sayı 5 s: 159-169
- [40] Kaytaç ,Y., 1991 , “Bor Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler” Endüstriyel Hammaddeler ve Bor Teknolojisi Semineri , İ.T.Ü. , İstanbul
- [41] Yarar B.,1973, Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Flotasyon Yolu ile Zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi ,M.M.O Yayınları, Ankara, s:571-588

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [42] Emrulloğlu, Ö.F. ,1985 , Etibank Bigadiç Kolemanit Cevheri -3 mm Fraksiyonunun Laboratuar Çapta Zenginleştirilmesi , Anadolu Üniversitesi, Müh. Fak. Dergisi, Cilt II, sayı 2, Edt: A. Yamık, Eskişehir, s:53-60
- [43] Aytekin, Y., Lüçin, C. ve Yamık A., 1988, “Kırka Tinkal Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması” 2.International Mineral Processing Symposium , Edt. Aytekin Y., İzmir ,Türkiye, s:267-279
- [44] Ayok, T. ve Tolun, R., 1975 , Kolemanit Flotasyonu ve Poliollerin Etkisi, Tübitak V. Bilim Kongresi , Gebze s: 189-199
- [45] Gülgönül, İ., Yaşar, E., Kaytaç, Y., Çelik, M.S., 1994, Kolemanit Flotasyonunda Şlamın Etki Mekanizması, 15. Yıl Sempozyumu Çukurova Üniversitesi M.M.F. Adana ,Türkiye s:369-377
- [46] Gülgönül, İ., Özdemir, O., Mart, U. ve Çelik, M.S., 2001, “Üleksitin Anyonik Flotasyonunda Şlamın Etkileşim Mekanizması” I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Ün., Edt: Erarslan K., Kütahya Türkiye s:35-40
- [47] Kaytaç Y., Önal, G. ve Günay, A., 1986, “Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi”, 1. International Mineral Processing Symposium , İzmir, Türkiye s:238-249
- [48] Gülgönül, İ., Çelik, M. S. , Çınar, M., 1997 , Üleksit Flotasyonunda Şlamın Etki Mekanizması, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Edt: Köse, Arslan, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını İzmir, Türkiye s:70-75
- [49] Çelik, M.S., Batar, T., Akın, Y. ve Arslan, F., 1998, “ Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi”, Minerals And Processing Vol.15, No.1., s:53-56
- [50] Akdağ M., Batar T., İpekoğlu Ü.ve Polat M., 1996 , Processing of Tinkal and Colemanite Ores by Decrepitation Method and Comparison with Wet Method in Terms of Production Cost , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:3899-39386
- [51] Kocakuşak, S., Akçay, k., Ayok, T., Köroğlu. H.J., Koral M., İşbilir, F., Savaşçı, T. ve Tolun, R., 1996, Stragewise Dehydration a New Concept on Anhydrous Borax Production, 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:383-387
- [52] Kocakuşak, S., Koral M., Köroğlu. H.J., Savaşçı, T. ve Tolun, R., 1996, Effect of Temperature on Anhydrous Borax Compaction , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:377-381
- [53] Aytekin, Y. ve Badruk, M., 1992, Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon Yolu ile Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, C.2., Edt: Özbayoğlu,O., Antalya, Türkiye ,s:549-562

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [54] Akçin, H., Uludağ, T., Şentürk, B., Ergül, T., Kayandan, İ., Demirdağ, C., Yılmaz, O., Yalçınoğlu, Y. ve Mergen, A., 2006, Tüvenan Tinkaldan Kalsine Tinkal Üretimi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2-4 Kasım Ankara, Türkiye s: 315-320
- [55] Kayandan, İ., Pehlevan, V., Çağlayan ve Türedi, S., 2004, “Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M., Eskişehir, Türkiye, s:59-64
- [56] Emrulloğlu, Ö.F., KARA, M., Çelik, S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi , s:629-638
- [57] Kocakuşak, S., Köroğlu , İ., Ayok, T., Tolun R., 1992, “Kalsine İnce Boraks Hidratların Kompaktlanması” 4th International Mineral Processing Symposium Rroceedings V2 Eds: Özbayoğlu B., Antalya,Türkiye s:911-923
- [58] Girgin, S. , Yirgin, S., Acarkan, N. ve Sirkeci, A.A., 2000 , “Kolemanit Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkileri” 10th International Mineral Processing Symposium , 8.International Mineral Processing Symposium , edt Özbayoğlu, G., Antalya , Türkiye , s:538-547
- [59] Doğan, N.Z. , Kaytaç, Y. ve Perek K.T., 1997, Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem ile Zenginleştirme Yöntemleri, 2.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu , TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Edt: Köse, H., Arslan, V. İzmir Türkiye s:76-85
- [60] Badruk, M. ve İpekoğlu, Ü., 1999, Tinkal Cevherinin Kalsinasyon Klasifikasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, İzmir s:469-475
- [61] Şener, S. ve Özbayoğlu, G., 1992, Determination of Cacination Parameters of Ulexite and Possibility of Separation from Colemanite , 4.International Mineral Processing Symposium , edt Özbayoğlu, G., Antalya , Türkiye , s:538-547
- [62] Kemal, M., 1990, Aglomerasyon, Dokuz Eylül Ün. , M.M.F., Yayın No: MM/MAD 90 EY 041, İzmir
- [63] Bater, T. , İpekoğlu, Ü. ve Polat M., 1996, “Tinkal ve Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yöntemi ve Yaş Yöntemle Ekonomik Yönden Mukayesesi” 6th International Mineral Processing Symposium edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:383-387
- [64] Bentli, İ., Bursalı, L., Ediz N. ve Tatar, İ., 2004, “Emet Hisarcık Şlam Atıklarının Zenginleştirilmesi ve Briketlenmesi”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Osmangazi Ün. , Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M.,Eskişehir, Türkiye, s:87-92
- [65] Erten, M.H. ve Özbayoğlu, G., 1973, Kolemanit ve Fluorit gibi Metalik Olmayan Minerallerin Aglomerasyonu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi MMO Yayınları, Ankara s: 589-605

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [66] Badruk, M., Yamık, A.ve Akçıl , A., 1997, Tinkal Cevherlerinden Elde Edilen Konsantre ve Artığın Kompaktlaştırılması ve Konsantrenin Çözeltilmesi Akım Şeması, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Edt: Güyagüler, Ersayın, Bilgen s:395-399
- [67] Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik M.S., ve Ediz,N., 2002, Bor Atıkları ve Değerlendirilebilme Statejileri, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Ün.v., Edt: Erarslan K., Kütahya, Türkiye, s:250-258
- [68] Kula, İ.,2000, “Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- [69] Uzuner, B.A., 2000, Temel Zemin Mekeniği Ders Kitabı Teknik Yayınevi M.M.Yayınları 2000 Ankara s:147-150
- [70] Alp İ., Deveci H., Yazıcı E.Y., Özdağ H. ve Savaş M., 2006, Kestelek Kolemanit Cevherinin Manyetik Ayırma ile Zenginleştirilmesi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2-4 Kasım Ankara, Türkiye s:327-330
- [71] Erkal, T. Ve Girgin, İ.,1992, Etibank Emet işletmesi Kaba Atıklarının Konsantre Üretimi Amacıyla Değerlendirilmesi, 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, edt. Özbayoğlu, G., Antalya, Türkiye, Cilt 2 s: 599-608
- [72] Geyikbey, T., Şarda, D. ve Birlik E., 2004, Tünellit Mineralinden Borik Asit Üretimi, II.Uluslararası Bor Sempozyumu,23-25 Eylül 2004, Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M.,Eskişehir, Türkiye, s:291-296
- [73] Hancer, m., & Celik M.S., 1993 , Flotation Mechanisms of Boron Minerals, Seperation Science and Technology 28(9) , pp. 1703-1714
- [74] Konuk, A. ve Önder, S. , 1999, Maden İstatistiği Ders Kitabı, Osmangazi Üniversitesi, M.M.F. Maden Müh. Bölümü, Eskişehir, 156 s
- [75] Özkan, Ş.G. ve Çebi, H., 1999, Emet Kolemanit Atıklarının Susuzlandırma Olanaklarının Araştırılması, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, edt: Köse, H.,Arslan, V., Tanrıverdi, M. , TMMOB Maden Müh. Odası, İzmir, Türkiye s:147-151
- [76] Sönmez, E. ve Aytakin,Y., 1992, Kırka Tinkal Cevherinden Doğrudan Çökeltme ve 3 Kademeli Flokülasyon Yoluyla B₂O₃ Kazanılması, 4. Cevher Hazırlama Sempozyumu cilt 2 edt: Özbyoğlu, G., Antalya s:751-764
- [77] Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M., 1997 “Ses Ötesi Dalgaların Kolemanit Atıklarının Zenginleştirilmesinde Kullanımının Araştırılması” 15. Madencilik Kongresi, edt:Güyagüler, Erarslan, Bilgen, Türkiye , s: 319-323
- [78] Targan Ş., Olgun A., Sevinç V., 2003 “Influence of Natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on the properties of Portland cement”, Cement and Concrete Research, vol.33, pp:1175-1182

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [79] Tolun R., 1988, Anorganik Bor Bileşikleri ve Üretim Teknolojisi, Tübitak-MAE , Kimya Araştırma Bölümü Yayını , 65 s
- [80] Tolun, R., Kocakuşak, S., Ayok, T., Köroğlu, H.J., Akçay, K., 1993 ,Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) İnce Toz ve Kristallerinin Kompaktlanarak Granülasyonu, T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı İhtira Beratı no:25849 13.08.1993 Ankara s:8
- [81] Topal, A., 2001 “Petrol Orada ise Bor’ da Burada” Yeni Avrasya Dergisi Mart 2001/3
- [82] Çelik, M.S. , Sağlam, H., ve Hançer, M., 1992, Activation Mechanisms of Borium İons in Colemanite Flotation , 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, edt.Özbayoğlu C:1 Antalya s:203-212

EKLER**EK-1 Deney Sonuç Tabloları**

Ek Çizelge 1. -3 +1.18mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

-3+1.18		Ağırlık (%)	B₂O₃ (%)	B₂O₃ Verimi (%)	As (ppm)	As Uz. Verimi (%)
400 °C	Konsantre	60.96	20.32	69.86	2345	63.95
	Artık	30.75				
	Uçan Kısım	8.29				
450 °C	Konsantre	47.72	25.3	68.09	2025	75.63
	Artık	40.67				
	Uçan Kısım	11.61				
500 °C	Konsantre	49.24	23.58	65.49	1975	75.47
	Artık	36.57				
	Uçan Kısım	14.19				
550 °C	Konsantre	50.41	23.89	67.92	1665	78.83
	Artık	34.45				
	Uçan Kısım	15.14				
600 °C	Konsantre	50.17	23.98	67.86	1385	82.47
	Artık	33.94				
	Uçan Kısım	15.89				
650 °C	Konsantre	49.90	23.85	67.13	1620	79.61
	Artık	32.97				
	Uçan Kısım	17.13				
700 °C	Konsantre	67.86	21.17	81.03	1710	70.73
	Artık	14.00				
	Uçan Kısım	18.14				
750 °C	Konsantre	64.69	20.44	74.58	1525	75.12
	Artık	15.28				
	Uçan Kısım	20.03				
800 °C	Konsantre	52.84	22.76	67.82	1835	75.55
	Artık	30.15				
	Uçan Kısım	17.01				
850 °C	Konsantre	58.26	22.88	75.19	1240	81.78
	Artık	20.47				
	Uçan Kısım	21.27				
900 °C	Konsantre	34.13	25.58	49.25	730	93.72
	Artık	47.17				
	Uçan Kısım	18.70				
Besleme		100	17.73	100	3965	100

Ek Çizelge 2. -1.18 +0.5mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

-1.18+0.5		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Verim (%)	As (ppm)	As Uz. Verim (%)
400 °C	Konsantre	73.29	23.78	84.77	2480	21.65
	Artık	18.74				
	Uçan Kısım	7.97				
450 °C	Konsantre	61.99	26.44	79.72	3240	13.43
	Artık	25.90				
	Uçan Kısım	12.11				
500 °C	Konsantre	55.36	28.18	75.88	2710	35.33
	Artık	28.96				
	Uçan Kısım	15.68				
550 °C	Konsantre	53.41	28.55	74.16	2870	33.93
	Artık	30.53				
	Uçan Kısım	16.06				
600 °C	Konsantre	63.28	26.31	80.98	2840	22.53
	Artık	19.84				
	Uçan Kısım	16.88				
650 °C	Konsantre	64.09	25.37	79.09	3055	15.60
	Artık	16.52				
	Uçan Kısım	19.39				
700 °C	Konsantre	45.42	29.61	65.42	4350	14.82
	Ara Ürün	4.04	24.37	15.82	1935	87.44
	Artık	29.80				
	Uçan Kısım	20.74				
750 °C	Konsantre	37.25	30.37	55.02	3300	47.02
	Ara Ürün	6.91	23.43	26.04	1860	
	Artık	35.43				
	Uçan Kısım	20.41				
800 °C	Konsantre	41.02	29.04	57.94	2690	52.43
	Ara Ürün	5.47	34.00	29.89	1305	
	Artık	33.14				
	Uçan Kısım	20.37				
850 °C	Konsantre	38.03	32.24	59.63	1785	70.74
	Ara Ürün	6.69	28.57	30.74	1035	
	Artık	33.07				
	Uçan Kısım	22.21				
900 °C	Konsantre	19.93	33.48	32.46	1990	82.9
	Ara Ürün	9.81	21.24	33.50	725	
	Artık	48.79				
	Uçan Kısım	21.47				
Besleme		100	20.56	100	2320	100

Ek Çizelge 3. -0.5 +0.212 mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

-0.5+0.212		Ağırlık (%)	B₂O₃ (%)	B₂O₃ Verim (%)	As (ppm)	As Uz. Verim (%)
400 °C	Konsantre	36.11	23.20	38.33	3790	57.24
	Artık	58.20				
	Uçan Kısım	5.69				
450 °C	Konsantre	33.33	23.40	35.70	3000	68.75
	Artık	59.96				
	Uçan Kısım	6.71				
500 °C	Konsantre	58.37	26.55	70.92	2540	53.67
	Artık	31.39				
	Uçan Kısım	10.24				
550 °C	Konsantre	56.77	27.82	72.28	2880	48.91
	Artık	30.53				
	Uçan Kısım	12.70				
600 °C	Konsantre	60.18	26.37	80.98	2750	48.28
	Artık	23.83				
	Uçan Kısım	15.99				
650 °C	Konsantre	62.70	26.95	77.34	2605	49.96
	Artık	18.72				
	Uçan Kısım	18.58				
700 °C	Konsantre	36.59	32.96	55.19	2710	69.02
	Ara Ürün	4.24	17.01	3.30	1900	
	Artık	39.58				
	Uçan Kısım	19.59				
750 °C	Konsantre	30.24	31.01	42.92	2650	74.96
	Ara Ürün	7.95	25.29	9.20	1185	
	Artık	39.55				
	Uçan Kısım	22.26				
800 °C	Konsantre	30.75	33.31	46.88	2490	81.76
	Ara Ürün	13.02	25.91	15.44	1880	92.42
	Artık	35.46				
	Uçan Kısım	20.77				
850 °C	Konsantre	31.76	36.07	52.43	1610	84.02
	Ara Ürün	7.79	22.24	7.93	1015	
	Artık	36.60				
	Uçan Kısım	23.85				
900 °C	Konsantre	12.19	30.28	16.89	2150	91.81
	Ara Ürün	8.24	25.14	9.48	1435	
	Artık	58.84				
	Uçan Kısım	20.73				
Besleme		100	21.85	100	3200	100

Ek Çizelge 4. -0.212 mm boyutunda sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

-0.212		Ağırlık (%)	B₂O₃ (%)	B₂O₃ Verim (%)	As (ppm)	As Uz. Verim (%)
400 °C	Konsantre	56.34	18.99	65.48	39.75	54.83
	Artık	36.56				
	Uçan Kısım	7.10				
450 °C	Konsantre	54.34	19.46	64.71	41.15	54.9
	Artık	37.80				
	Uçan Kısım	7.86				
500 °C	Konsantre	59.62	20.49	74.76	44.95	45.95
	Artık	27.54				
	Uçan Kısım	12.84				
550 °C	Konsantre	50.15	22.42	68.81	44.15	55.34
	Artık	35.94				
	Uçan Kısım	13.91				
600 °C	Konsantre	56.51	20.39	70.52	46.95	46.49
	Artık	28.62				
	Uçan Kısım	14.87				
650 °C	Konsantre	53.78	22.71	74.75	44.95	51.24
	Artık	29.78				
	Uçan Kısım	16.44				
700 °C	Konsantre	55.57	20.68	70.32	42.8	52.03
	Ara Ürün	9.00	25.37	13.96	42.85	
	Artık	19.00				
	Uçan Kısım	16.43				
750 °C	Konsantre	52.88	21.69	70.19	46.2	50.73
	Ara Ürün	7.28	19.18	8.54	41.47	
	Artık	21.23				
	Uçan Kısım	18.61				
800 °C	Konsantre	48.55	19.71	58.56	46.6	54.37
	Ara Ürün	7.40	22.42	10.16	56.00	
	Artık	24.08				
	Uçan Kısım	19.97				
850 °C	Konsantre	39.61	20.50	49.69	43.10	65.57
	Ara Ürün	10.49	20.58	13.22	24.50	
	Artık	27.81				
	Uçan Kısım	22.09				
900 °C	Konsantre	11.11	23.34	15.87	29.55	93.38
	Ara Ürün	6.16	21.39	8.07	12.15	
	Artık	56.82				
	Uçan Kısım	25.91				
Besleme		100	16.34	100	49.58	100

Ek Çizelge 5. -3 +1.18mm boyutunda gerçekleştirilen kalsinasyon süresi deneyi sonuçları

-3+1.18		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Verimi (%)	As (ppm)	As Uz. Verimi (%)
10 dk.	Konsantre	59.26	23.21	77.57	970	85.51
	Artık	20.27				
	Uçan Kısım	20.47				
20 dk.	Konsantre	60.05	21.82	73.91	1100	83.34
	Artık	19.05				
	Uçan Kısım	20.90				
30 dk.	Konsantre	58.26	22.88	75.19	1240	81.78
	Artık	20.47				
	Uçan Kısım	21.27				
40 dk.	Konsantre	52.21	23.13	68.12	615	91.9
	Artık	28.35				
	Uçan Kısım	19.44				
60 dk.	Konsantre	49.48	23.38	65.25	470	94.13
	Artık	30.15				
	Uçan Kısım	20.37				
75 dk.	Konsantre	47.24	24.31	64.76	675	91.96
	Artık	30.26				
	Uçan Kısım	22.50				
90 dk.	Konsantre	47.11	23.91	63.53	770	90.85
	Artık	32.53				
	Uçan Kısım	20.36				
Besleme		100	17.73	100	3965	100

Ek Çizelge 6. -1.18 +0.5mm boyutunda gerçekleştirilen kalsinasyon süresi deneyi sonuçları

-1.18+0.5		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Verimi (%)	As (ppm)	As Uz. Verimi (%)
10 dk.	Konsantre	37.87	32.38	59.65	168	72.58
	Ara Ürün	17.27	21.90	18.40	1575	
	Artık	23.04				
	Uçan Kısım	21.81				
20 dk.	Konsantre	40.20	33.38	65.26	1730	70.03
	Ara Ürün	5.04	24.68	6.05	143	
	Artık	31.77				
	Uçan Kısım	22.99				
30 dk.	Konsantre	38.03	32.24	59.63	1785	68.65
	Ara Ürün	6.7	28.57	30.74	1035	
	Artık	33.06				
	Uçan Kısım	22.21				
40 dk.	Konsantre	34.16	34.45	57.24	840	87.63
	Ara Ürün	14.61	20.1	14.29	1190	
	Artık	29.47				
	Uçan Kısım	21.76				
60 dk.	Konsantre	31.1	35.64	53.91	700	92.58
	Ara Ürün	18.11	22.91	20.18	615	
	Artık	33.42				
	Uçan Kısım	17.37				
75 dk.	Konsantre	20.62	34.07	34.16	705	93.74
	Ara Ürün	8.99	29.47	12.89	830	
	Artık	47.54				
	Uçan Kısım	22.85				
90 dk.	Konsantre	25.79	34.62	43.42	875	90.27
	Ara Ürün	10.95	25.20	13.42	325	
	Artık	40.00				
	Uçan Kısım	23.26				
Besleme		100	20.56	100	2320	100

Ek Çizelge 7. -0.5 +0.212 mm boyutunda gerçekleştirilen kalsinasyon süresi deneyi sonuçları

-1.18+0.5		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Verim (%)	As (ppm)	As Uz. Verim (%)
10 dk.	Konsantre	34.91	31.07	59.65	19.4	78.84
	Ara Ürün	8.32	20.82	18.40	18.7	
	Artık	33.52				
	Uçan Kısım	23.25				
20 dk.	Konsantre	33.30	31.69	58.28	17.85	87.22
	Ara Ürün	10.85	23.83	11.84	26.85	
	Artık	35.33				
	Uçan Kısım	20.52				
30 dk.	Konsantre	31.76	36.07	52.43	16.1	82.67
	Ara Ürün	7.79	22.24	7.93	10.15	
	Artık	36.60				
	Uçan Kısım	23.85				
40 dk.	Konsantre	26.54	36.63	44.48	9	92.54
	Ara Ürün	21.23	20.44	19.86	14.85	
	Artık	29.29				
	Uçan Kısım	22.94				
60 dk.	Konsantre	25.77	36.83	53.91	9.45	92.39
	Ara Ürün	18.23	21.06	20.18	8.35	
	Artık	34.5				
	Uçan Kısım	21.50				
75 dk.	Konsantre	17.88	34.10	34.16	10.55	94.11
	Ara Ürün	19.97	22.88	12.89	9.75	
	Artık	39.83				
	Uçan Kısım	22.32				
90 dk.	Konsantre	20.57	36.58	43.42	11.25	92.77
	Ara Ürün	16.45	25.73	13.42	8.3	
	Artık	39.7				
	Uçan Kısım	23.28				
Besleme		100	21.85	100	32.0	100

Ek Çizelge 8. -0.212 mm boyutunda gerçekleştirilen kalsinasyon süresi deneyi sonuçları

-1.18+0.5		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ Verim (%)	As (ppm)	As Uz. Verim (%)
10 dk.	Konsantre	43.43	20.46	54.38	4460	60.93
	Ara Ürün	12.93	23.38	18.50	3305	
	Artık	24.75				
	Uçan Kısım	18.89				
20 dk.	Konsantre	51.18	21.05	65.94	4285	60.6
	Artık	32.28				
	Uçan Kısım	16.54				
30 dk.	Konsantre	52.88	21.69	70.19	4620	50.73
	Ara Ürün	7.28	19.18	8.54	4147	
	Artık	21.23				
	Uçan Kısım	18.61				
40 dk.	Konsantre	48.00	18.47	54.25	4760	53.92
	Ara Ürün	11.76	21.69	15.61	2445	
	Artık	19.89				
	Uçan Kısım	20.35				
60 dk.	Konsantre	51.70	18.41	58.24	3680	61.63
	Ara Ürün	10.55	22.77	14.71	3525	
	Artık	22.56				
	Uçan Kısım	15.19				
75 dk.	Konsantre	37.15	16.05	37.02	2950	77.89
	Ara Ürün	13.3	23.68	19.55	4515	
	Artık	28.71				
	Uçan Kısım	20.84				
90 dk.	Konsantre	35.25	16.47	35.53	3280	76.68
	Ara Ürün	22.15	22.26	30.18	2430	
	Artık	20.90				
	Uçan Kısım	21.70				
Besleme		100	16.84	100	4958	100

Ek Çizelge 9. Kalıba ilave edilen harç miktarının briketleme mukavemetine etkisi

Numune miktarı (gr)	Ham mukavemet (N/mm ²)	P _{max} (KN)	Alan (mm ²)	Boy/Çap Oranı
10	3.34	2.397	718.688	0.45
15	2.40	1.753	730.617	0.69
20	2.08	1.498	718.688	0.94
25	1.21	0.882	730.617	1.19
30	0.86	0.63	730.617	1.45

Ek Çizelge 10. Borik asit miktarının briketleme mukavemetine etkisi

Borik Asit (%)	Ham mukavemet (N/mm ²)	P _{max} (KN)	Alan (mm ²)	Boy/Çap Oranı
0	0.60	0.43	718.688	0.74
12.25	3.80	2.73	718.688	0.77
22.49	4.56	3.29	721.066	0.88
30.28	4.99	3.622	725.834	1.00
39.3	8.32	6	721.066	1.16
48.31	8.20	5.932	723.448	1.40
57.33	4.75	3.447	725.834	1.75

Ek Çizelge 11. Nem miktarının briketleme mukavemetine etkisi

Nem (%)	Ham mukavemet (N/mm ²)	P _{max} (KN)	Alan (mm ²)	Boy/Çap Oranı
5	4.07	2.935	721.066	1.01
7.5	4.50	3.247	721.066	1.01
10	4.30	3.122	725.834	1.00
12.5	4.72	3.434	728.223	0.98
15	5.63	4.059	721.066	0.98
17.5	6.08	4.371	718.688	0.97
20	6.49	4.682	721.066	0.96
22.5	7.27	5.277	725.834	0.96
25	9.06	6.619	730.617	0.94
30	11.32	8	706.858	0.92
35	10.57	8	757.204	0.86
40	8.06	6.12	759.645	0.86

Ek Çizelge 12. Basma kuvvetinin briketleme mukavemetine etkisi

Basma Kuvveti (KN)	Ham mukavemet (N/mm ²)	P _{max} (KN)	Alan (mm ²)	Boy/Çap Oranı
1	1.71	1.249	730.617	1.25
2	3.85	2.810	730.617	1.19
4	5.68	4.121	725.834	1.07
6	6.64	4.850	730.617	1.00
8	7.95	5.806	730.617	0.96
10	9.06	6.619	730.617	0.94
12	11.79	8.700	737.821	0.90
14	9.49	7.000	737.821	0.89
16	7.45	5.500	737.821	0.88

Ek Çizelge 13. Optimum sonuçlara göre tekrarlanan test sonuçları

Test numarası	Ham mukavemet (N/mm ²)	P _{ma} (KN)	Alan (mm ²)	Boy/Çap Oranı
0	6.64	4.85	730.617	1.00000
1	7.06	5.1209	725.834	1.00000
2	6.62	4.808	725.834	0.99507
3	6.41	4.652	725.834	1.00329
4	6.28	4.558	725.834	1.00493
5	6.91	4.996	723.448	1.00494
6	6.41	4.6525	725.834	1.00329

Ek 2. Kolemanitte B₂O₃ Analizi (HCl Yöntemiyle)

0-3 mm ebadına getirilen kolemanit cevheri numunesi, 105 °C'de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune diskli öğütücüden geçirilerek pudra haline getirilir. Pudra halindeki bu numuneden tartım halindeki nemi tayin etmek için 4±1 gr numune alınır. Bu numuneden 250 ml'lik bir erlen için 1±0.2 gr tartılır. Buna 60-70 ml saf su eklenmesiyle bulamaç yapılır. Bunun üzerine 10±0.5 ml derişik HCl asit eklenir. Erlenin üzerine bir huni yerleştirildikten sonra, kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk kaynatılır. Kaynama bittikten sonra huni yıkanarak alınır. Birkaç damla metil kırmızısı damlatılır. Renk sarıya dönüncye kadar azar azar sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat karışımı eklenerek +3 değerlikli metaller (Al, Ti, Fe) çöktürülür. Ortam nötre yakın bazik olmalıdır. Karbonat fazla eklenmiş ise asitlendirilip tekrar ayarlanır. Birkaç dakika yeniden kaynatılır ve soğutulur. Süzülür ve üç defa sıcak suyla yıkanır. Berrak çözelti hafif asitlendirilip, CO₂'li ortamdan uzaklaştırmak için 20 dk kaynatılır ve soğutulur. Soğuyan çözelti ayarlı, faktörü belirlenmiş 0.5 Normal NaOH ile nötralleştirilir. Üzerine 100 ml sulandırılmış (1+1) gliserin veya 4-5 gr Mannitol ilave edilerek üzerine yeterince Fenolftalein eklenir. Faktörlenmiş 0.5 Normal NaOH ile titre edilir. Titrasyon sonundaki sarfiyat dikkate alınarak, aşağıdaki formülle B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

$$\%B_2O_3 = \frac{10.017405 * S * F}{T} * 100$$

0.017405 = Eşdeğer miligram

S = 0.5 Normal NaOH sarfiyatı

F = 0.5 Normal NaOH faktörü

T = Tartım

Not: B₂O₃ analizinde 0.1-0.2 gr Kör düşülür. Numunenin tartıldığı kapların birbirine karışmaması için farklı özellikte ve farklı numaralardaki kaplar kullanılır. Bunlar B₂O₃ hesabının tapıldığı yerlere not edilir. Yapılan bütün kimyasal işlemler sırasında elleri ve çevre şartlarının kuru ve temiz olması dikkat edilir ve işlemler acele etmeden itinaya yapılır.

Kolemanitte Arsenik (As) Tayini (Gutzcit Yöntemiyle)

Pudra haline getirilmiş kolemanit cevherinden, 250 ml' lik bir erlen içerisine yaklaşık 0.4-0.6 gr arasında tartım alınır. Üzerine 4-5 gr NaHCO₃+Na₂CO₃ karışımı eklenerek erlenin yarısına kadar saf su koyulup üzeri huniyle kapatılarak 2 saat süreyle kaynatılır. Çözelti 500

ml'lik balona aktarılarak soğutulur ve içerisindeki arsenik miktarına göre iyice karıştırılarak 250 ml'lik bir erlen içerisine 5-10 ml alınır. Üzerine d= 1.12'lik HCl'den 25 ml, %15'lik KI'dan 5 ml, %15'lik NiCl₂'den 2 ml, %15'lik SnCl₂'den 5-6 damla ilave edilir. Erlenin ağzı yıkanır ve 4 gr granül çinko eklenip, ağzına önceden hazırlanan aparat ve tapası yerleştirilir. Hidrojen çıkışı bittikten sonra tapa çıkarılır ve Cıva Bromürlü (HgBr) süzgeç kâğıdındaki renk skalası (ml'de Arsenik miktarı belli kâğıt) ile karşılaştırılarak hesaba geçilir. Örneğin 1 ml Arsenik çözeltisi 0.002 mgr Arsenik içerir. Analiz sonundaki renk 5 ml'ye eşdeğer olursa ve analiz için balondan 5 ml çekmiş isek;

$$\frac{0.002 \times 2 \times 5}{T} \text{ mgr Arsenik}$$

$$\text{ppm Arsenik} = \frac{0.000002 \times \text{Toplam Cözelti Miktar} \times \text{Okunan Deger}}{\text{Cekilen Miktar} \times \text{Tartim}}$$

Not: Birkaç analizden sonra Kurşun Asetatlı Pamuk ve Süzgeç Kâğıdı değiştirilir.

EK-3**Hipotez Testi**

T dağılışı ile test

Briketleme deney sonuçlarına göre optimum değerlerde yapılan 6 adet deneyde aşağıdaki tek eksenli basınç değerleri ölçülmüştür

1:7.06, 2: 6.62, 3:6.41, 4:6.28, 5:6.91, 6:6.41

H_0 : 6.64

Bu sonuçlara göre optimum değerlerde yapılan bütün briketlerin aynı tek eksenli basınç değerlerine sahip olup olmayacağını test edelim.

$$\bar{X} = 6.615 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$S = 0.09696$$

$$H_0: \bar{X} = \mu = 6.64$$

$$H_1: \bar{X} \neq \mu = 6.64 \text{ (Çift Taraflı Test)}$$

$$\alpha = 0.01 = \alpha / 2 = 0.005$$

$$n=6 = \text{S.D} = \sqrt{n-1} = \sqrt{6-1} = \sqrt{5}$$

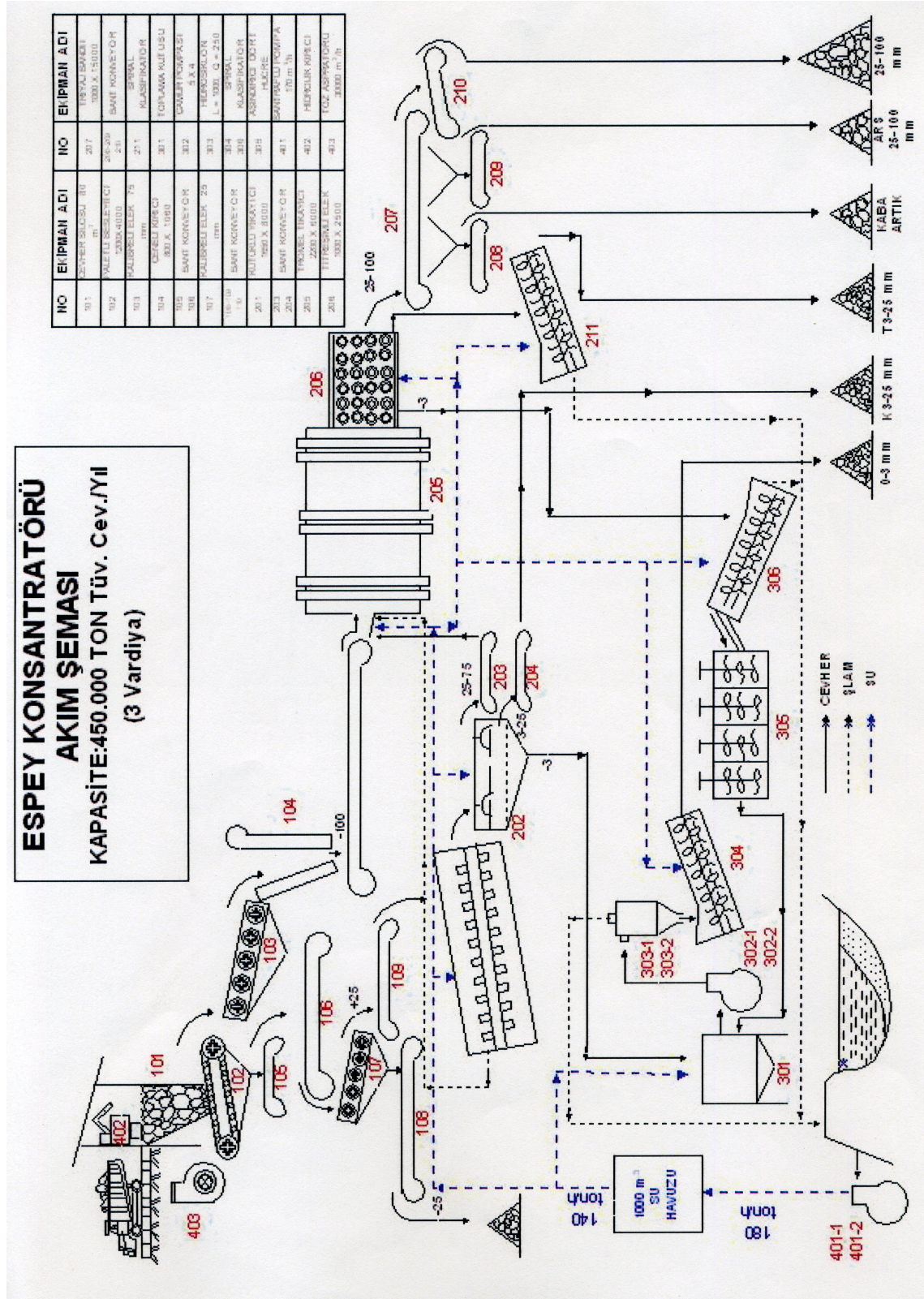
$$t_{\alpha/2, \sqrt{n}} = t_{0.005, 5} = 4.03$$

Red Bölgesi : $t_h > t_{\alpha/2, \sqrt{n}}$ ise H_0 red edilir, H_1 kabul edilir.

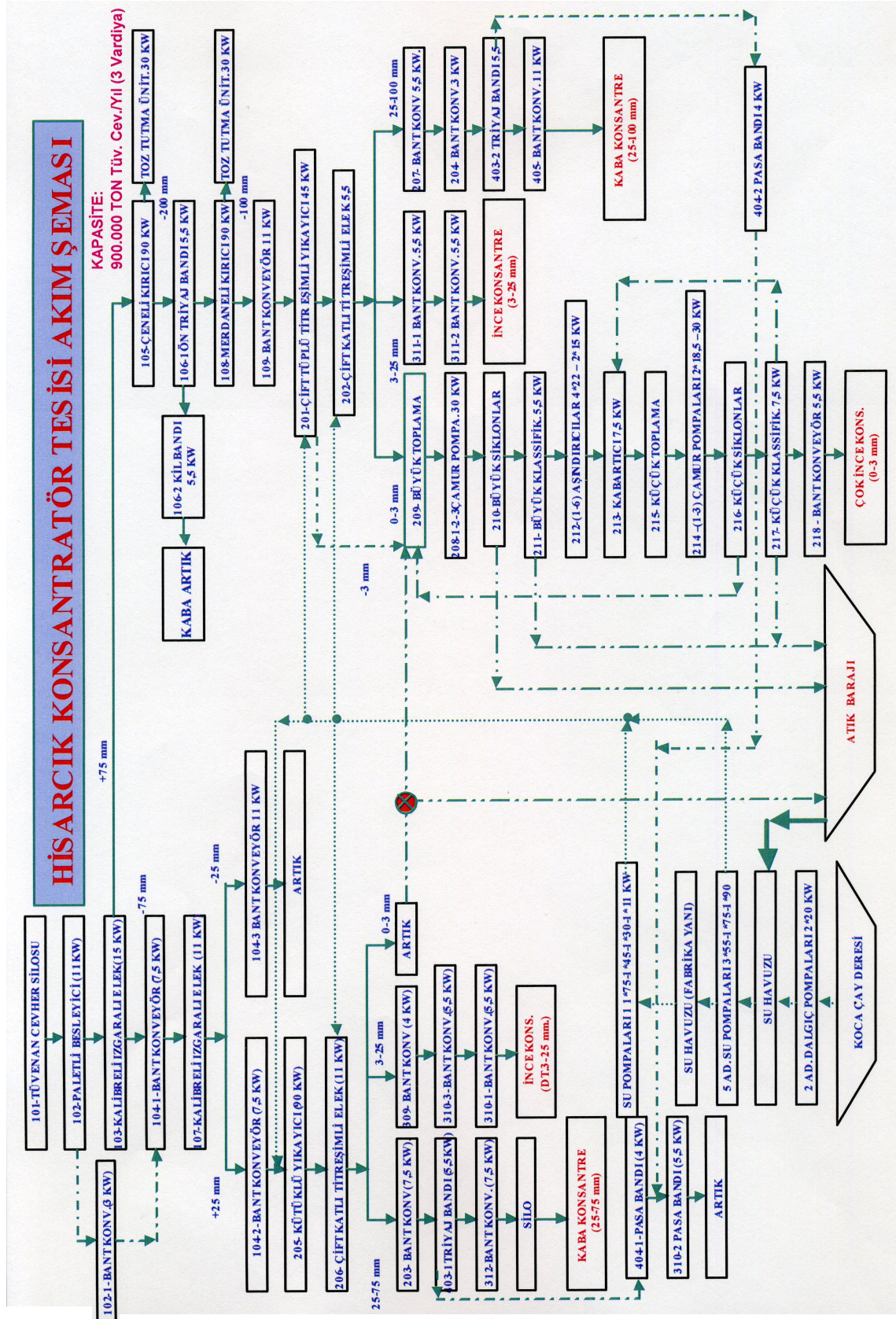
$$t_h = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}} = \frac{6.615 - 6.64}{0.09696 / \sqrt{6}} = -0.6315$$

$t_h = -0.6315 < t_{0.005, 5} = 4.03$ olduğundan H_1 hipotezi reddilir, H_0 hipotezi kabul edilir. Tek eksenli basınç değeri ortalama bir değer olup, hemen hemen her deneyde aynı sonuçlar elde edilebilir (74).

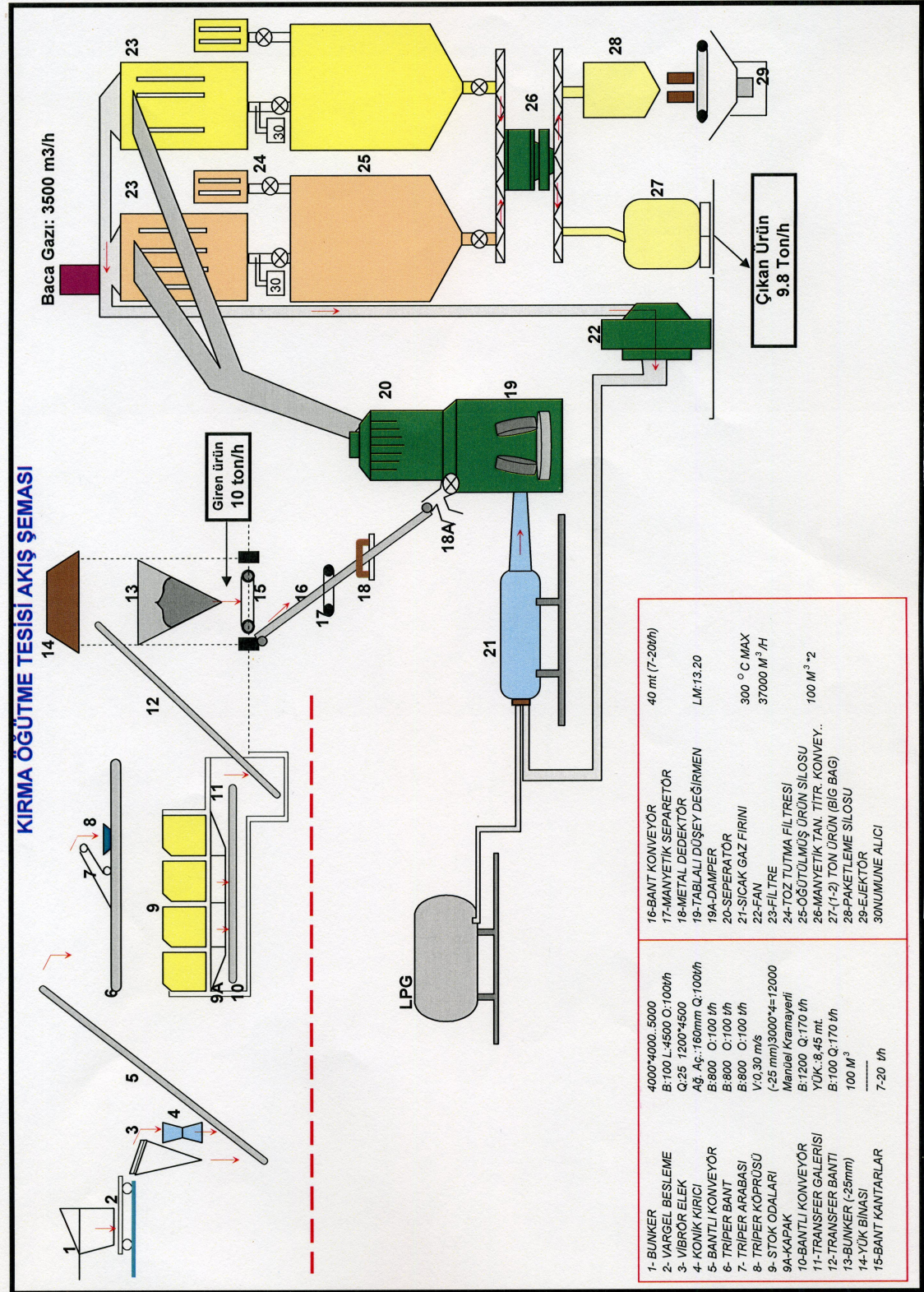
Ek Şekil 1. Emet-Kolemanit İşletmesi Espey Konsantratör Tesisi akım şeması



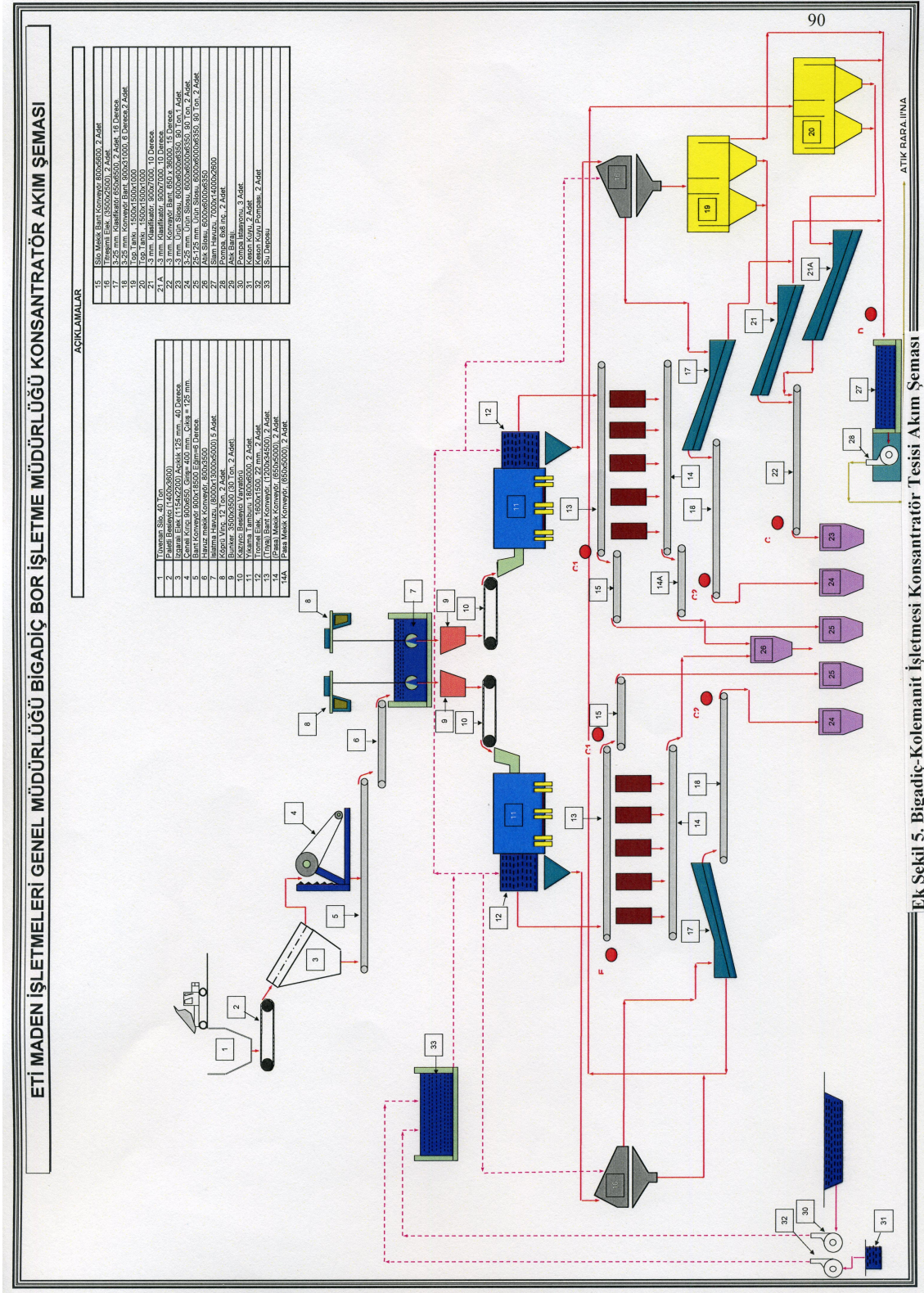
Ek Şekil 2. Emet-Kolemanit İşletmesi Hisarcık Konsantratör Tesisi akım şeması



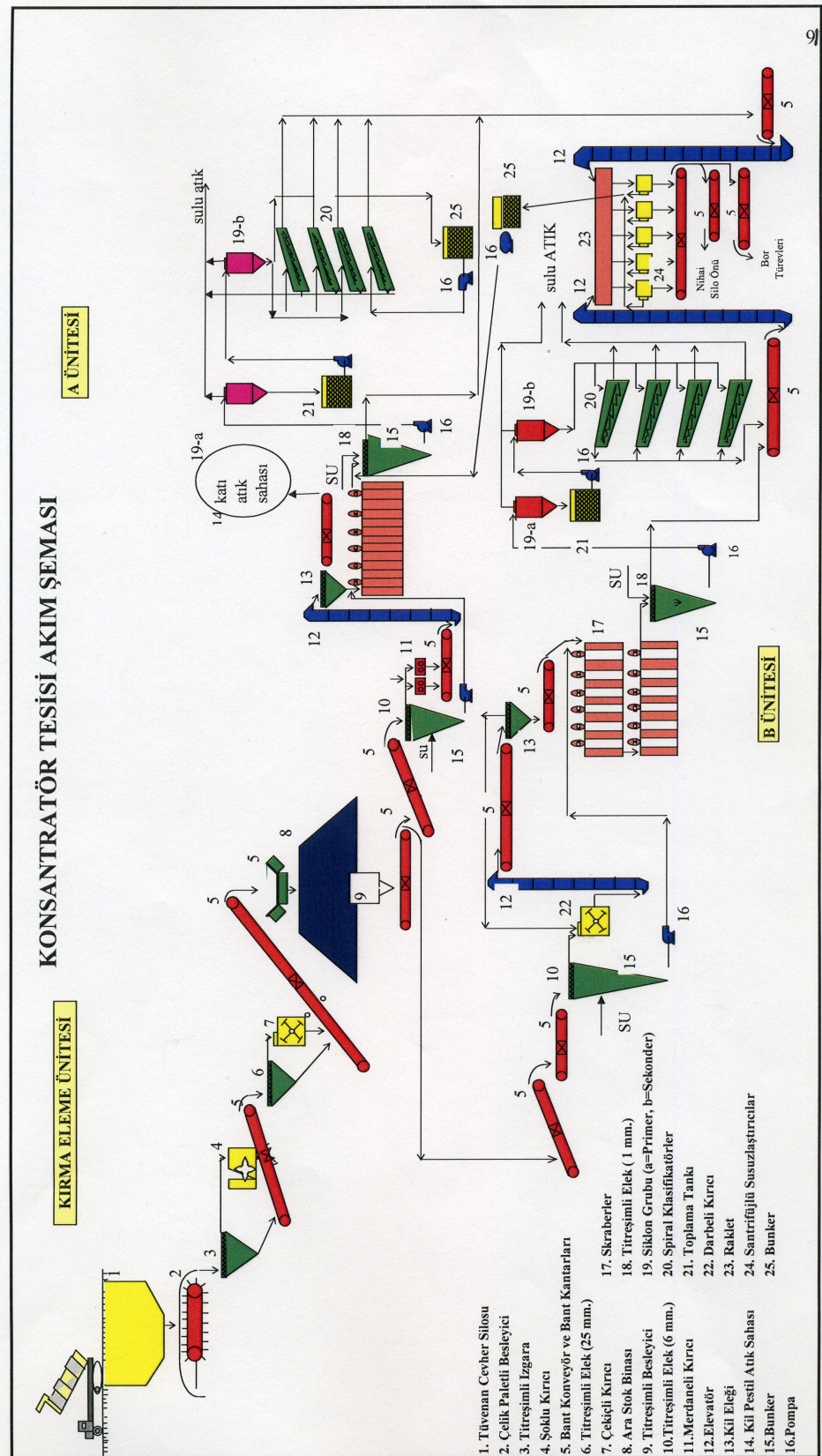
Ek Şekil 4. Bigadiç-Kolemanit İşletmesi Kırma-Öğütme Tesisi akım şeması



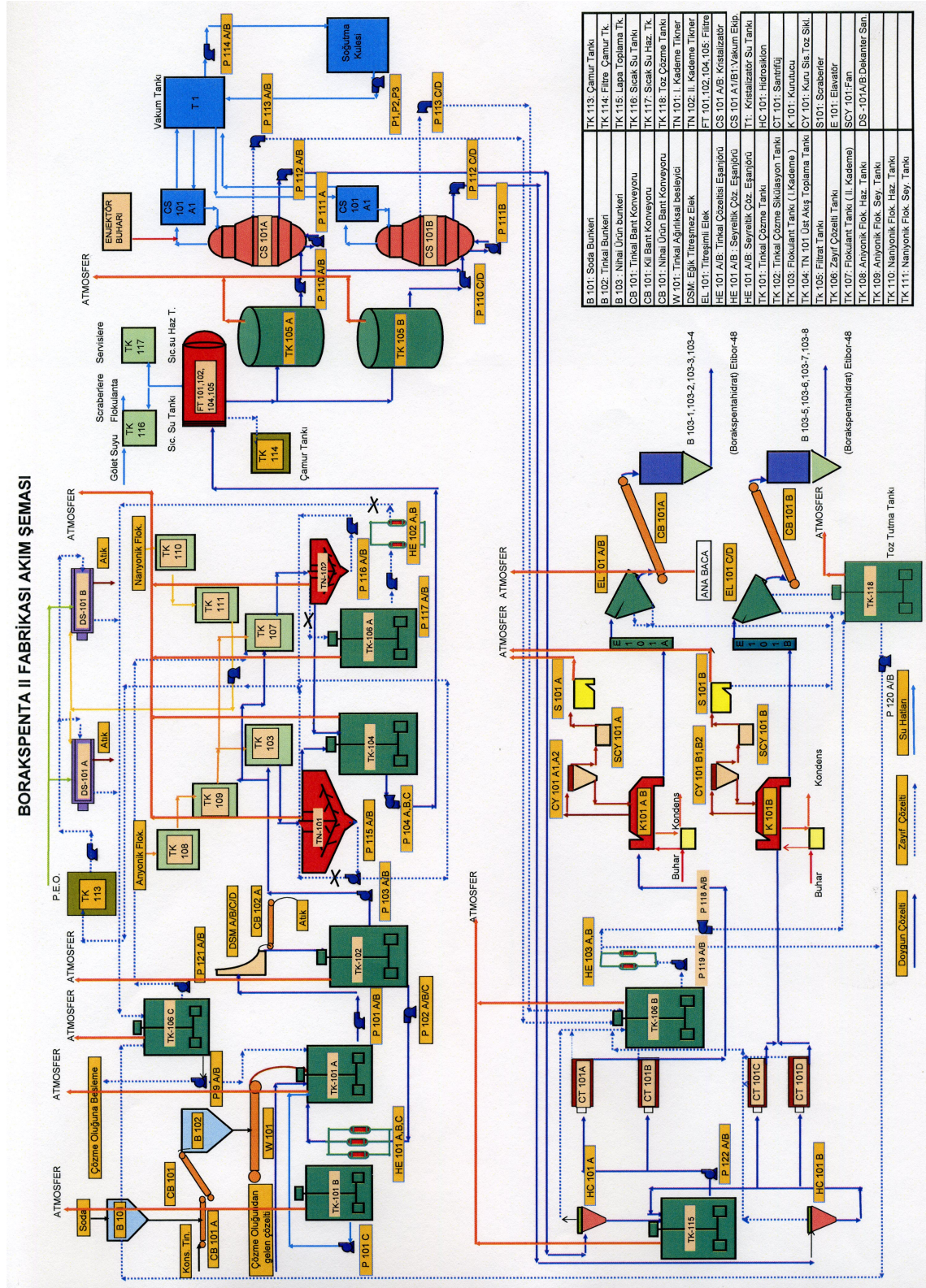
Ek Şekil 5. Bigadiç-Kolemanit İşletmesi Konsantratör Tesisi akım şeması



Ek Şekil 6. Kırka-Boraks İşletmesi Konsantratör Tesisi akım şeması



Ek Şekil 8. Kırka-Boraks İşletmesi Boraks Penta II Fabrikası Tesisi akım şeması



Ek Şekil 9. Kırka-Boraks İşletmesi Boraks Penta III Fabrikası Tesisi akım şeması

