T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR MADENCİLİĞİ ATIKLARININ KARAKTERİZASYONU VE DEĞERLENDİRİLMESİ

BETÜL EROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR MADENCİLİĞİ ATIKLARININ KARAKTERİZASYONU VE DEĞERLENDİRİLMESİ

BETÜL EROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. MEHMET SALİM ÖNCEL

GEBZE
2018

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF BORON MINE TAILINGS

BETÜL EROĞLU

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

DOÇ. DR. MEHMET SALİM ÖNCEL

GEBZE

2018

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/01/2018 tarih ve 2018/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/02/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Betül Eroğlu'nun tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Doç. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL
ÜYE	: Prof. Dr. Mehmet KOBYA
ÜYE	: Yrd. Doç. Dr. Erhan GENGEÇ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Ülkemizde yer alan beş farklı bor işletmesi atık göletlerinden örneklenen numuneler fiziksel, kimyasal ve mineralojik açıdan tanımlanmıştır. Söz konusu sahalarda bor cevheri yan kayaçlarında killi formasyonlar olduğu tespit edilmiş dolayısıyla atıkların tane boyları oldukça düşük saptanmıştır. Bu durum atıkların porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini de düşürmektedir. Kimyasal analizlerde en yüksek bor içeriği Kırka atıklarında tespit edilmiştir. Mineralojik taramalar kapsamında, Hisarcık örneklerinde majör olarak kalsit minerali ve montmorillonit killeri, Espey atıklarında seramik sanayinde kullanılan hidroborasit minerali, Kestelek atıklarında kalsit ve saponit, Kırka atıklarında çok yüksek konsantrasyonda tinkalkonit ve Bigadiç atıklarında kolemanit ve dolomit ağırlıklı mineraller saptanmıştır. Atıklar bünyesindeki yan kayaç killerin saflaştırılması ve atıklardan bor geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen doygun eluat ve yıkama prosedürleri sonucunda, kristalizasyon için beklemeye alınan Kırka son doygun eluat çözeltisinde yer alan bor iyonları kütlece %75,23 oranında kristalleşerek yüksek saflıkta tinkal kristalleri elde edilmiş ve bor geri kazanımı sağlanmıştır. Diğer yandan atıkları değerlendirme çalışmaları kapsamında, uygun oranlarda atıkların, beyaz alçının ve suyun karıştırılarak kalıplara dökülmesi ile oluşturulan izolasyon panel çalışmalarında başarılı sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bor Atıkları, Bor Geri Kazanımı, Bor Atıklarının Değerlendirilmesi, Kil Saflaştırma.

SUMMARY

Samples taken from five different boron mining tailing ponds of Turkey were characterized in physical, chemical and mineralogical terms. It was determined that clay formations were hosted in boron ores, so the grain size of the tailings was very low. This also reduces the porosity and hydraulic conductivity of the tailings. In the chemical analyzes, the highest boron content was found in Kırka tailings. Within the scope of mineralogical scans, calcite and montmorillonite clays were found to be major in Hisarcık samples. In addition, hydroboracite mineral using in ceramic industry was detected in Espey tailings. Calcite and saponite in Kestelek tailings, the very high concentration of tincalconite in Kırka tailings and colemanite-dolomite minerals were found to be major in Bigadiç tailings, respectively. As a result of the saturated eluate and washing eluate procedures, carried out in order to purify the wall rock clays in tailings and to determine the boron recovery potential from the tailings, the boron ions in the final saturated eluate solution, which was taken for the crystallization, crystallized in 75.23% by mass and high purity tincal crystals were obtained and boron recovery has been achieved. On the other hand, within the scope of the tailings assessment studies, successful results have been obtained in insulation panel works which are formed by mixing tailings with white plaster and water at an appropriate proportion.

Key Words: Boron Mine Tailings, Boron Recovery, Evaluation of Boron Tailings, Clay Purification.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca bana maddi ve manevi olarak her türlü desteği sağlayan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL ve tüm bölüm hocalarıma sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Deney çalışmaları ve tez yazımı aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen, geçmiş deneyimleriyle bana vermiş olduğu destekten dolayı Arş. Gör. Emin Ender ÇELEBİ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışması ve örnekleme sürecinde yardımlarını esirgemeyen Eti Maden İşletmeleri personellerine, atıkların mineralojik tanımlamalarını gerçekleştiren, GTÜ Malzeme Bilimi ve Müh. Bölümü personeli Adem Şen'e teşekkür ederim.

Çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen Burcu Pala, Deniz Ertuğrul, Elif Günel ve Gülşah Delice'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda, her zaman destekçim olan yıllarca yaptıkları tüm fedakârlıkları ve şefkatleriyle beni destekleyen, borçlarını asla ödeyemeyeceğim aileme minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA SAHALARI	6
2.1. Kütahya/Emet/Espey Tesis Sahası	6
2.2. Kütahya/Hisarcık Tesis Sahası	8
2.3. Bursa/Kestelek Tesis Sahası	11
2.4. Balıkesir/Bigadiç Tesis Sahası	13
2.5. Eskişehir/Kırka Tesis Sahası	16
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Atıkların Karakterizasyon Prosedürleri	20
3.2. Atıklara Uygulanan Doygun Eluat Prosedürü	21
3.3. Atıkların Eluat Prosedürü ile Yıkanması	22
3.4. Atıkların Değerlendirme Yöntemleri	23
4. ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU	24
4.1. Kütahya/Emet/Espey Tesis Atıkları	24
4.1.1. Kimyasal Analizler	24
4.1.2. Tane Boyu Dağılımı	24
4.1.3. Mineralojik Analizler	25
4.1.3.1. X-ışını Kırınımı	25
4.1.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu	26
4.2. Kütahya/Hisarcık Tesis Atıkları	26
4.2.1. Kimyasal Analizler	26
4.2.2. Tane Boyu Dağılım	27

4.2.3. Mineralojik Analizler 27
4.2.3.1. X-ışını Difraksiyonu 27
4.2.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu 28
4.3. Bursa/Kestelek Tesis Atıkları 29
4.3.1. Kimyasal Analizler 29
4.3.2. Tane Boyu Dağılımı 29
4.3.3. Mineralojik Analizler 30
4.3.3.1. X-ışını kırınımı 30
4.3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu 31
4.4. Balıkesir/Bigadiç Tesis Atıkları 31
4.4.1. Kimyasal Analizler 31
4.4.2. Tane Boyu Dağılım 32
4.4.3. Mineralojik Analizler 33
4.4.3.1. X-ışını Difraksiyonu 33
4.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu 33
4.5. Eskişehir/Kırka Tesis Atıkları 34
4.5.1. Kimyasal Analizler 34
4.5.2. Tane Boyu Dağılımı 35
4.5.3. Mineralojik Analizler 35
4.5.3.1. X-ışını Difraksiyonu 35
4.5.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu 36
5. BULGULAR ve YORUMLAR 37
5.1. Doygun Eluat Testlerinin Değerlendirmesi 37
5.1.1. Espey Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi 37
5.1.2. Hisarcık Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi 40
5.1.3. Kestelek Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi 42
5.1.4. Bigadiç Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi 45
5.1.5. Kırka Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi 47
5.2. Eluat Yıkama Testlerinin Değerlendirmesi 52
5.2.1. Espey Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi 52
5.2.2. Hisarcık Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi 54
5.2.3. Kestelek Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi 56
5.2.4. Bigadiç Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi 58
5.2.5. Kırka Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi 60

5.3. Atıklardan Panel Dökümü 62
6. SONUÇLAR 65

KAYNAKLAR 66
ÖZGEÇMİŞ 68
EKLER 69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
Σ	:	Standart sapma
µM	:	Mikrometre
°C	:	Santigrat derece
cm	:	Santimetre
gr	:	Gram
mS	:	Mili Siemens
pH	:	Suyun asitlik derecesi
AKY	:	Atık kil yıkama
And	:	Andaluzit
BD	:	Bigadiç doygun
BY	:	Bigadiç yıkama
Cal	:	Kalsit
DEÇ	:	Doygun eluat çözeltisi
Dol	:	Dolomit
ED	:	Espey doygun
Eİ	:	Elektriksel iletkenlik
EY	:	Espey yıkama
EYÇ	:	Eluat yıkama çözeltisi
GTÜ	:	Gebze teknik üniversitesi
HD	:	Hisarcık doygun
HY	:	Hisarcık yıkama
KD	:	Kestelek doygun
KD	:	Kırka doygun
KeY	:	Kestelek yıkama
KRS	:	Kristalizasyon sonrası çözelti
KY	:	Kırka yıkama
Mnt	:	Montmorillonit
Qtz	:	Quartz
Rpm	:	Dakikada dönüş hızı

TDS	:	Toplam çözünmüş katı
TEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	:	X ışını deseni
Zeo	:	Zeolit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Espey Açık Ocağı Uydu Görüntüsü ve Söz Konusu Atık Göletinin Konumu.	7
2.2:	a) Espey Atık Göleti Genel Görünümü, b) Örnekleme Anı Görseli.	8
2.3:	Hisarcık Açık Ocağı Uydu Görüntüsü ve Atık Göletlerinin Konumu.	11
2.4:	a) Hisarcık Eski Atık Göleti Genel Görünümü, b) Örnekleme Noktası.	11
2.5:	Kestelek İşletme Sahası Uydu Görüntüsü ve Atık Göletinin Konumu.	13
2.6:	Kestelek Atık Göleti Genel Görünümü ve Örnekleme Noktası.	13
2.7:	Bigadiç Cevherleşme Sahası Uydu Görüntüsü ve Atık Göletleri.	15
2.8:	Bigadiç Bor İşletmesi Uydu Görüntüsü ve Şlam Atık Göletleri.	15
2.9:	Bigadiç Şlam Göleti Genel Görünümü.	16
2.10:	a) Bigadiç 3. Şlam Göleti Örnekleme Noktası, b) Örnekleme Prosedürü.	16
2.11:	Kırka Bor İşletme Sahası Uydu Görüntüsü.	19
2.12:	Kırka 5. Atık Göleti Genel Görünümü.	19
3.1:	Doygun ve Yıkama Eluat Prosedürlerinin Uygulama Sıralarını Gösteren Akış Diyagramı.	22
4.1:	Espey Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.	25
4.2:	Espey Örneğine Ait X-Işını Difraksiyonu.	25
4.3:	Espey Örneğinin Elektron Mikroskobu Görüntüsü.	26
4.4:	Hisarcık Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.	27
4.5:	Hisarcık Örneğinin X-Işını Deseni.	28
4.6:	Hisarcık Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.	28
4.7:	Kestelek Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.	30
4.8:	Kestelek Örneğinin X-Işını Deseni.	30
4.9:	Kestelek Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.	31
4.10:	Bigadiç Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.	32
4.11:	Bigadiç Örneği X-Işını Difraksiyonu.	33
4.12:	Bigadiç Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.	34
4.13:	Kırka 5. Atık Göleti Numunesinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.	35
4.14.	Kırka Numunesi X-Işını Kırınımı.	36
4.15.	Kırka 5. Atık Göleti Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.	36

5.1: Espey Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları. 39
5.2: Espey Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi. 39
5.3: Hisarcık Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları. 41
5.4: Hisarcık Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi. 42
5.5: Kestelek Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları. 44
5.6: Kestelek Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi. 44
5.7: Bigadiç Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları. 46
5.8: Bigadiç Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi. 47
5.9: Kırka Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları. 49
5.10: Kırka Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi. 50
5.11: a) Kırka 5.gölet atığı, b) Kırka Son Doygun Eluat Çözeltisinde Oluşan Tinkal Kristalleri, c) Elde Edilen Yıkanmış kil Örneklerine Ait Görseller. 50
5.12: a) Kırka 5.gölet Atığı, b) Kırka Son Doygun Eluat Çözeltisinde Oluşan Tinkal Kristalleri, c) Elde Edilen Yıkanmış Kil Örneklerine Ait X-ışını Desenleri. 51
5.13: Espey Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları. 54
5.14: Hisarcık Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları. 56
5.15: Kestelek Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları. 58
5.16: Bigadiç Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları. 60
5.17: Kırka Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları. 62
5.18: a) Bigadiç, b) Kestelek, c) Espey, d) Hisarcık Atık Numunelerinden Dökülen 40 cm x 60 cm x 1 cm (en x boy x kalınlık) Boyutlu Panel Görselleri. 63
5.19: a) Kırka, b) Hisarcık Atık Numunelerinden Dökülen 25 cm x 35 cm x 0,8 cm (en x boy x kalınlık) Boyutlu Panel Görselleri. 63

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
1.1:	Ticari Bor Mineralleri.	1
1.2:	Dünya Bor Rezervleri.	2
1.3:	Ülkemiz Bor Cevherleşme Sahaları Rezerv Miktarları.	3
4.1:	Espey Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.	24
4.2:	Espey Numunesinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.	24
4.3:	Hisarcık Eski Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.	26
4.4:	Hisarcık Örneğinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.	27
4.5:	Kestelek Kodlu Atığın Eluat Sonuçları.	29
4.6:	Kestelek Örneğinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.	29
4.7:	Bigadiç 3.Şlam Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.	31
4.8:	Bigadiç Numunelerinin Lazerli Tane Boyu Dağılımları.	32
4.9:	Kırka 5. Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.	34
4.10:	Kırka 5. Atık Gölet Numunesinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı Tablosu.	35
5.1:	Espey 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.	37
5.2:	Örneklenen Espey Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.	38
5.3:	Hisarcık 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.	40
5.4:	Örneklenen Hisarcık Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.	40
5.5:	Kestelek 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.	42
5.6:	Örneklenen Kestelek Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Kütle Prosedürü Dengesi Tablosu.	43
5.7:	Bigadiç 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.	45
5.8:	Örneklenen Bigadiç Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.	45
5.9:	Kırka 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.	47
5.10:	Örneklenen Kırka Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.	48
5.11:	Espey 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.	52

5.12: Örneklenen Espey Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu. 53
5.13: Hisarcık 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi. 54
5.14: Örneklenen Hisarcık Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu. 55
5.15: Kestelek 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi. 56
5.16: Örneklenen Kestelek Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu. 57
5.17: Bigadiç 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi. 58
5.18: Örneklenen Bigadiç Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu. 59
5.19: Kırka 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi. 60
5.20: Örneklenen Kırka Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu. 61

1. GİRİŞ

Bor, element olarak doğada B^{10} ve B^{11} olarak adlandırılan iki ayrı kararlı izotoptan oluşmaktadır. B^{10} izotopunun doğada bulunma oranı %19,1-20,3 iken B^{11} izotopunun ise %79,7-80,9'dur.

Bor, element olarak çok çeşitli bileşik yapma kapasitesine ve nötronları absorbe etme özelliğine sahip olmasından dolayı sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden bir tanesidir. Metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir.

Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit [B_2O_3] içeren doğal bileşiklerdir. Doğada sediman ve sedimanter kayaçlar içerisinde 230'dan fazla bor minerali bulunmakta olup çoğunlukla borat tuzları formunda bulunmaktadır. Ticari açıdan en yaygın olanları, tinkal, kolemanit, üleksit ve kernit mineralleridir. Söz konusu bor minerallerinin kimyasal formülleri ve bor oksit içerikleri Tablo 1.1 içerisinde verilmektedir [Eti Maden, 2016].

Tablo 1.1: Ticari Bor Mineralleri.

Mineral	Formül	B_20_3 İçeriği (ağırlık olarak %)
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43,0
Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5
Kernit	$Na_2B_{14}O_7.4H_2O$	51,0
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_9.7H_2O$	49,8
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, Rusya, Güney Amerika ve ABD'de olup dünya ticari bor rezervleri bu dört ana bölgede toplanmaktadır. Ülkeler bazında rezerv miktarları ve dağılımı Tablo 1.2'de görülmektedir.

Tablo 1.2: Dünya Bor Rezervleri.

Ülkeler	Toplam Rezerv (bin ton B_2O_3)	Dağılım (%)
Türkiye	950.000	72,9
ABD	80.000	6,1
Rusya	100.000	7,7
Çin	47.000	3,6
Peru	22.000	1,7
Arjantin	9.000	0,7
Bolivya	19.000	1,5
Şili	41.000	3,1
Kazakistan	15.000	1,2
Sırbistan	21.000	1,6
TOPLAM	1.304.000	100

Tablo 1.2 üzerinde görüldüğü gibi yer kabuğunda yer alan bor rezervlerinin %72, 9'luk büyük bir kısmı Türkiye'de bulunmaktadır. Ülkemizdeki bor rezervleri çoğunlukla, Kütahya, Balıkesir, Eskişehir ve Bursa illerinde yer alan Hisarcık, Espey, Bigadiç, Kırka ve Kestelek olmak üzere beş ana bölgede yer almaktadır. Bu sahalarda yaygın olarak bulunan bor mineralleri ise; sodyum bazlı tinkal, kalsiyum bazlı kolemanit ve sodyum-kalsiyum bazlı üleksittir.

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor mineralleri tinkal ($Na_2O.2B_2O_3.10H_2O$) ve kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)'tir. Türkiye'de tinkal yatakları Kırka yöresinde, kolemanit yatakları ise Emet, Bigadiç ve Kestelek cevherleşme sahasında bulunmaktadır. Bunlara ilaveten, Bigadiç'te üleksit rezervi mevcut olup Kestelek'te ise kolemanit yanında zaman zaman üleksit mineraline rastlanmaktadır [Eti Maden, 2016]. Söz konusu sahalardaki rezerv miktarları Tablo 1.3'de verilmektedir.

Tablo 1.3: Ülkemiz Bor Cevherleşme Sahaları Rezerv Miktarları.

Cevherleşme Sahası	Miktar (Ton)
Emet (Kolemanit-Üleksit)	1.812.660.631
Kırka (Tinkal)	827.496.297
Bigadiç (Kolemanit-Üleksit)	629.788.478
Kestelek (Kolemanit)	5.254.923
TOPLAM	3.275.200.329

Dünya fiili bor üretimi 2016 yılında yaklaşık 4,2 milyon ton (2 milyon ton B_2O_3) olarak gerçekleşmiştir. Fiili bor üretiminde (B_2O_3 bazında); Eti Maden (Türkiye) %50 pay ile birinci sırada yer alırken, ABD %25 ile ikinci, Güney Amerika ve Asya ülkeleri ise %25 payla ilk iki ülkeyi takip etmiştir.

Dünya bor ürünleri tüketimi ise, 2000 yılında 3,1 milyon ton iken, bu değer 2014 yılında yaklaşık 4,3 milyon ton, 2015 yılında 3,8 milyon ton, 2016 yılında ise 3,77 milyon ton olarak gerçekleşmiştir [Eti Maden, 2016].

Bor, nihai kullanım alanı olan sektörlerde çoğunlukla rafine bor ürünleri şeklinde tüketildiği gibi konsantre bor olarak doğrudan da tüketilebilmektedir.

Bor minerallerinin en fazla tüketildiği alan cam sektörüdür. Bor ergimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun alışkanlığını artırmakta, son ürünün yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmektedir. Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Seramik sanayinde çoğunlukla sır ve fritlerde kullanılmaktadır. Seramik sırlarında kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça %8 – 24 arasında değişmektedir. Sırlarda bor oksitin temel fonksiyonu, esas itibarıyla cam ve malzeme arasında ısısal uyum sağlamak ve sırın ısısal genleşme katsayısını düzenlemektedir.

Çimento üretiminde %8 oranında kolemanit kullanılarak tüketilen bor, klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmektedir. Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısısı gibi parametreler açısından porland çimentosuna göre daha iyi avantajlar sergilemektedir. Hidrasyon ısısının düşük oluşu, özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır.

Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri nedeniyle demir dışı metal sanayide koruyucu cüruf oluşturucu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak da kullanılmaktadır.

Borun bu alanlar dışındaki alanlarda da kullanımı mevcuttur. Örneğin, son dönemde kaya gazı sektöründe de bor kullanılmaya başlanmıştır.

Sektörel tüketime bakıldığında; bor ürünlerinin %48'i cam (yalıtım amaçlı cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı, borosilikat cam), %15'i tarım, %15'i seramik-frit, %2'si de deterjan olarak temizlik sektörlerinde tüketilmekte olup toplam bor kullanımının yaklaşık %80'lik kısmı bu alanlarda gerçekleşmektedir. Geri kalan pay ise elektronik ve iletişim sektörü, uzay ve hava araçları, askeri ve nükleer uygulamalar, nanoteknoloji, otomotiv ve enerji sektörü, matalürji ve inşaat sektörüne aittir [Eti Maden, 2016].

Ülkemizde yer alan 5 ana bor cevherleşme yataklarında yılda yaklaşık iki milyon ton bor türevleri üretimi gerçekleştirilmektedir [Eti Maden, 2016]. Üretim esnasında, bor cevher kristallerinin arasında ve yan kayaçlarda yer alan killer ve minerallerden oluşan yüksek miktarlarda atıklar meydana gelmektedir. Atıklar bünyesinde killer ve yan kayaç minerallerinin yanı sıra çökelmiş ya da adsorplanmış bor ve diğer element tuzları da yer almaktadır.

Bor endüstrisi atıklarının değerlendirilmesi üzerine literatürde bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir [Abali et al., 2006], [Boncukcuoğlu et al., 1999], [Christogerou et al., 2009], [Guray Kaya and Karacaoglu, 2006], [Kavas, 2006], [Kıpçak and Özdemir, 2010], [Kıpçak and Özdemir, 2012], [Kula et al., 2002], [Ediz and Özdağ, 1995], [Olgun et al., 2005], [Özdemir and Kıpçak, 2007, 2010], [Uslu and Arol, 2004], [Yakar et al., 1999]. Bu çalışmalarda, tinkal bakımından zengin atık killerin çimento katkısı olarak kullanılabilirliğinin yanı sıra killi ve çamur şeklinde atıklardan bor geri kazanımı çalışmaları da yürütülmüştür. Bu kapsamda, bor iyonları seçiciliği yüksek iyon değiştirici reçineler ve güçlü asit ajanları ile liçing işlemleri uygulanarak killi bor atıklarından bor geri kazanımı çalışmaları yürütülmüştür [Kıpçak and Özdemir, 2010, 2012], [Özdemir and Kıpçak, 2007]. Diğer yandan, farklı bor sahalarından kaynaklı boraks çamurlarından saf su, sülfat ve karbondioksit bakımından zengin suların çözücü olarak kullanıldığı katı-sıvı ekstraksiyonu ile bor geri kazanımı çalışmaları yürütülmüştür [Özdemir and Kıpçak, 2003], [Sinirkaya et al., 2005]. Bu çalışma özelinde ise; bor atıkları üzerinde adsorplanmış ve çökelmiş kolay çözünebilir

oluşumların görece sıcak saf suyun (95 °C) kullanıldığı kademeli katı-sıvı ekstraksiyonu ile geri kazanımı çalışılmak istenmektedir.

Bu çalışmadaki ana amaçlar; bahsi geçen beş ana bor sahasından kaynaklı atıkların fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakteristiklerini belirlemek ve bu atıkların değerlendirilmesi amacıyla dört kademeli doygun ve yıkama eluat (katı-sıvı ekstraksiyonu) işlemleri uygulayarak kolay çözünebilir elementlerin potansiyel geri kazanımını sağlamak ve atıklar bünyesindeki kontamine killeri yüksek oranda saflaştırmaktır. Ek olarak bu atıklardan inşaat sektöründe ürün potansiyeli taşıyan yalıtım paneli yapılabilirliği de araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA SAHALARI

2.1. Kütahya/Emet/Espey Tesis Sahası

Emet İşletme Müdürlüğü, Kütahya İlinin 100 km güneybatısında Emet İlçesinde yer almaktadır. İşletme sahaları; güneyde Hisarcık'a 4 km mesafedeki Hamamköy ile kuzeyde Emet'e 3,5 km mesafedeki Espey bölgesini içine almaktadır. Emet Bor İşletmeleri bünyesinde Hisarcık ve Espey olmak üzere iki farklı saha bulunmaktadır. Emet cevherleşme sahasında 1.812.660.631 ton rezervli kolemanit ve tinkal mineralleri bulunmaktadır. İşletme, Hisarcık ve Espey açık ocaklarından temin ettiği cevherleri işleyerek yılda 900.000 ton kapasiteli konsantre bor ürünü ve 290.000 ton kapasiteli borik asit üretimi gerçekleştirmektedir [Eti Maden, 2016]. Espey konsantratörü kırma, yıkama, sınıflandırma ve triyaj yöntemleriyle çalışan fiziksel bir zenginleştirme tesisidir. Operasyon stoklara alınmış tüvenan cevherin konsantratör silosuna beslenmesi ile başlamaktadır. Silo altındaki paletli besleyici aracılığıyla 75 mm açıklığa sahip kalibreli eleğe beslenen -500 mm tane boylu tüvenan cevher ikinci elemeden geçilerek -75 mm ve 75-500 mm boyutlarına ayrılmaktadır. 75 mm üstü tane boyuna sahip tüvenan cevher, çeneli kırıcıda -100 mm tane boyuna kırılarak, bant konveyör ile tromel yıkayıcıya beslenmektedir. 75 mm altı tane boyuna sahip tüvenan cevher bir bant vasıtası ile 25 mm aralıklı kalibreli eleğe beslenerek, 25-75 mm ve -25 mm olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. 25 mm elek altı kil, atık stokuna çekilmektedir. 25-75 mm tüvenan cevher ise, bir bant konveyör ile kütüklü yıkayıcıya beslenmektedir. Kütüklü yıkayıcıdan çıkan cevher, elek açıklığı 3 ve 25 mm olan çift katlı titreşimli elekte sınıflandırılarak, 0-3 mm, 3-25 mm ve 25-75 mm olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. 0-3 mm tane boyutlu kısım, 0-3 devresindeki spiral sınıflandırıcıya verilip, bu sınıflandırıcıda tromel devresindeki 0-3 mm kısım ile birleşmektedir. 3-25 mm tane boylu kısım, bant ile 3-25 mm konsantre ürün olarak alınmaktadır. 25-75 mm tane boylu kısım ise bant konveyör ile tromel yıkayıcıda yıkanmaktadır. Yıkanmış -100 mm boyundaki cevher, tromel yıkayıcı önündeki elek açıklıkları 3 mm ve 25 mm olan çift katlı titreşimli elekte 0-3 mm, 3-25 mm ve 25 - 100 mm olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. 0-3 mm tane boyuna sahip kısım 0-3 mm devresindeki sınıflandırıcıya gelmektedir. Kütüklü yıkayıcı devresinden gelen 0-3 mm kısım ile birleşerek birinci sınıflandırıcıya gelmektedir. Kütüklü yıkayıcı devresinden

gelen 0-3 mm kısım ile birleşerek birinci sınıflandırıcı şlamından arındırılmaktadır. Daha sonra aşındırıcı hücrelere gelen cevher biraz sulandırılarak, sertliği kile göre daha fazla olan cevherin kilinin aşındırılması sağlanmaktadır. Cevher buradan toplama kutusuna, daha sonra çamur pompası aracılığıyla hidrosiklona verilmektedir. İkinci sınıflandırıcıda, şlamından ayrılan cevher 0-3 mm konsantre cevher olarak alınmaktadır. 3-25 mm tane boyuna sahip kısım, 3-25 mm cevher olarak alınmaktadır. 25-100 mm'lik kısım ise triyaj işleminin yapılabilmesi için bir bant konveyör ile triyaja gönderilmektedir. 25-100 mm tane boyutuna sahip yıkanmış cevher triyaj ünitesinde ayıklanarak son zenginleştirme işlemi yapılmaktadır. Cevher içindeki kil, kalker ve kalsit gibi gang mineralleri kaba atık olarak tanımlanmış olup, konsantre cevher içerisinde bulunması istenmeyen minerallerdir. Ayrıca bünyesinde arsenik bulunan cevherler, renk farkı nedeniyle kolemanit cevherinden insan eli yardımı ile kolaylıkla ayrılabilmektedir. Üretim sonucunda meydana gelen atık ve atıksular ocakların bünyesinde yer alan atık göletlerine aktarılmaktadır [Eti Maden, 2013].

Şekil 2.1 içerisinde Espey açık ocak işletme sahası ve atık göleti yer almaktadır. Tez kapsamında incelenen Espey atık numunesi bu sahanın belirli bir bölgesinden birden fazla noktadan örneklenmiştir.

Şekil 2.1: Espey Açık Ocağı Uydu Görüntüsü Ve Söz Konusu Atık Göletinin Konumu.

Espey atık göleti genel görünümü ve örnekleme anı Şekil 2.2 içerisinde görülmektedir.

Şekil 2.2: a) Espey Atık Göleti Genel Görünümü, b) Örnekleme Anı Görseli.

2.2. Kütahya/Hisarcık Tesis Sahası

Emet Bor İşletmesi bünyesinde işletilen Hisarcık tesisi, ilçe merkezinin güney doğusunda yer almaktadır. Tesis açık ocak ve konsantratör birimlerinden oluşmaktadır. Hisarcık konsantratör tesisi esas itibari ile kırma, yıkama, sınıflandırma ve triyaj yöntemleri ile çalışan fiziksel bir zenginleştirme tesisidir. Saatte 180 ton kapasiteli konsantratör tesisine açık ocaktan veya tüvenan cevher stokundan ağır iş kamyonları ile yüklenen cevher, ızgara açıklığı 60x90 cm olan 90 m^3 kapasiteli siloya beslenmektedir. Tüvenan cevher silosuna dökülen cevher, 5 derece eğimli ve 180 ton/saat kapasiteli çelik paletli besleyici vasıtası ile kalibreli ızgaralı eleğe beslenmektedir. 13 derece eğimli ve 180 ton/saat kapasiteli olan kalibreli eleğe dökülen tüvenan cevher eleme işlemine tabi tutulmaktadır. Elek açıklığı 75x75 mm olan bu ekipmandan eleme sonrası 75 mm altı ve 75 mm üstü tane boylarında iki ürün elde edilmektedir. Bunlardan 75 mm elek üstü ürün, 100 ton/saat kapasiteli çeneli ve

merdaneli kırıcıda iki kademeli boyuta küçültülerek sırasıyla, -200 mm ve -10 mm'lik çıkış açıklığına indirgenmektedir. En son 100 mm altı tane boyu grubuna indirilmiş olan cevher, bant konveyör vasıtası ile elek açıklığı 25 mm olan ikinci kalibreli eleğe beslenmektedir. Kapasitesi 10 ton/saat olan 14 derece eğimli bu elekten 25 mm elek altı ince pasta ve 25 mm elek üstü ürün elde edilmektedir. 25 mm üstü tane boyu grubuna sahip cevher bant konveyörler vasıtası ile yıkama ünitesine gönderilmektedir.

Merdaneli kırıcı çıkışlı ürün (-100 mm), 100 ton/saat kapasiteli ve 2 derece eğimli çift tüplü titreşimli yıkayıcı ile yıkanarak cevher içindeki kilin bünyeden arındırılması sağlanmaktadır. Ürün içerisinde yer alan ince taneler, yıkayıcı gövdesinde bulunan ve 8 mm çapındaki deliklerden geçmek suretiyle 5 m^3 kapasiteli büyük toplama kutusuna aktarılmaktadır. İri parçalar ise yıkayıcıdan geçerek çift katlı titreşimli eleğe dökülmekte ve 2 derece eğimli, 100 ton/saat kapasiteli çift katlı titreşimli elekten yıkama sonrası üç ürün elde edilmektedir.

Birinci ürün 25-100 mm boyut grubuna sahip olup bant konveyörler ile seçme işlemi için triyaj ünitesine nakledilmektedir. Triyaj ünitesinde cevher içermeyen parçalar seçilerek ayıklanan 25-100 mm'lik iri ve zengin konsantre cevher stok sahasına nakledilerek satışa hazır hale getirilmektedir.

3-25 mm'lik boyut grubundaki ikinci ürün ise çift katlı titreşimli elekte yıkandıktan sonra hiçbir işleme tabi tutulmada bant konveyörler vasıtasıyla stok döküş yerine nakledilmektedir. Bu ürün satış koşullarına uygun özellikleri taşıdığı için, satış yapıldığı zamanlarda müşteri firmalara nakledilmektedir. Çift katlı titreşimli elekte elendikten sonra elde edilen son ürün ise 0-3 mm boyut grubundaki cevherde çift tüplü titreşimli yıkayıcıda elde edilen -8 mm'lik ürünün döküldüğü büyük toplama kutusuna pulp halinde gönderilmektedir. Büyük toplama kutusundan çamur pompaları vasıtasıyla büyük siklon (180 m^3/saat) grubuna basılan bu üründen siklon üst akımı şlam içeriğinden dolayı atık barajına, alt akım ise sınıflandırıcıya (15 ton/m^3, eğim 20 derece) gönderilmektedir. Sınıflandırıcıda yine şlam içeren tanecikler atık barajına, daha yoğun ve zengin içerikli kısımlar ise skraberlere (75 ton/saat) gönderilmektedir. Tamamı altı adet olan aşındırıcılarda kil, kalker, marn vb. gang mineralleriyle kolemanit cevherleri arasında sekiz köşeli selüllerde çarpma ve sürtünme etkisiyle tane, boyut ve yoğunluk farkı yaratılmaktadır. Böylece zenginleşmiş olan katı ve sıvı karışımı buradan kabartıcı (70 ton/saat) ünitesine gönderilmektedir. Pervaneli kabartıcıda bünyedeki mevcut pulpın karıştırılması işlemi yapıldıktan sonra ürün, küçük toplama kutusunda (1,5 m^3) biriktirilmektedir. İkinci grup çamur pompaları

vasıtasıyla küçük siklon grubuna (70 m^3/saat) basılan üründen siklon üst akımı, kapalı devre yaparak büyük toplama kutusunda birikmekte, daha zengin ve daha yoğun olan siklon alt akımı da ikinci sınıflandırıcıya (10 ton/saat) akmaktadır. Bu sınıflandırıcıda biriken pulp içindeki yoğunluğu ve tenörü düşük tanecikler atık olarak atılmakta, daha zengin tenöre sahip olan malzemeler kapalı devre yaparak pervaneli karıştırıcıya, şlamı olan konsantre de bant konveyör vasıtasıyla -3 mm'lik ürün stokuna gönderilmektedir.

107 kalibreli elek çıkışlı ürün (25-75 mm) bant konveyörler ile kütüklü yıkayıcıya akmaktadır. Kütüklü yıkayıcıda zenginleştirme işlemine tabi tutulan üründen şlam içerikli, az yoğun ve tenörü düşük kısımlar atık barajına, daha iri, daha yoğun ve tenörü daha yüksek kısımlar da ikinci bir çift katlı titreşimli eleğe beslenmektedir. Çift katlı titreşimli elekten, titreşim hareketi basınçlı suyun etkisi ile boyuna sınıflandırma işlemi yaparak üç ürün elde edilmektedir. Birinci ürün 25-75 mm boyut grubunda olup seçme ünitesinde triyaj edilerek satış için stok sahasına gönderilmektedir. 3-25 mm boyut grubundaki ikinci ürün ise satış baz tenörüne sahip olmadığı için düşük tenörlü 3-35 mm ürün olarak adlandırılmakta ve ikinci bir yıkama operasyonuna tabi tutulmak üzere kendine ait stok yerine nakledilmektedir. Son ürün de 0-3 mm boyut grubunda olup ekonomik değer taşımadığından atık barajına gönderilmektedir. Ancak mevcut olan by-pass sistemi sayesinde zengin içerikli cevherlerle çalışıldığı zamanlarda -3 mm cevherlerle birlikte zenginleştirilip 0-3 mm'lik konsantre ürün elde edilmektedir [Eti Maden, 2015].

Ocağa ait atık göletler sırasıyla yaklaşık 202.000 (H-2) ve 184.000 m^2 (H-1) yüzey alanına sahip olan eski atık gölet ve hâlihazırda kullanılmakta olan mevcut göletten oluşmaktadır [Eti Maden, 2016]. Hisarcık tesisi özelinde örnekleme, eski atık gölet üzerinde belirlenen bir kısımdan birden fazla noktadan gerçekleştirilmiştir. Tesise ait uydu görüntüsü ve kullanılmakta olan gölet ile örnekleme yapılan eski atık göleti Şekil 2.3 üzerinde görülmektedir.

Şekil 2.3: Hisarcık Açık Ocağı Uydu Görüntüsü ve Atık Göletlerinin Konumu.

Hisarcık atığı örnekleme anı ve gölet görseli Şekil 2.4 içerisinde görülmektedir.

Şekil 2.4: a) Hisarcık Eski Atık Göleti Genel Görünümü, b) Örnekleme Noktası.

2.3. Bursa/Kestelek Tesis Sahası

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne bağlı Kestelek açık ocağı işletmesi, Bursa İlinin Mustafakemalpaşa İlçesine bağlı Kestelek mahallesinde yer almaktadır. Kestelek çevresinde yaklaşık 5,25 milyon ton kanıtlanmış kolemanit rezervi bulunmaktadır [Eti Maden, 2016]. Kestelek konsantratör tesisinde açık ocaktan gelen yaklaşık % 30 B_2O_3 tenörlü, ortalama % 7 nem içerikli 500 mm tane boylu tüvenan

kolemanit minerali zenginleştirilerek ortalama %40 B_2O_3 tenörlü, azami % 4,5 nem içerikli ve 0,2-100 mm tane boyunda konsantre kolemanit üretilmektedir. Konsantratör tesisi; kırma, yıkama, eleme ve zenginleştirme ünitelerinden oluşmaktadır.

Açık işletmede üretilen cevherler, kamyonlarla, konsantratör tesisindeki 40 tonluk cevher besleme silosuna dökülmektedir. Silo üstündeki 300 mm açıklıklı ızgara üzerinde kalan cevherler çekiç kırıcılar ile kırılarak ızgara altına geçirilmektedir. Silo altındaki besleyici yardımıyla ön triyaj bandı ve çeneli kırıcıya beslenen cevher burada isteğe bağlı olarak –100 mm veya -125 mm tane boyuna kırılarak yıkama tamburuna (tromel) beslenmektedir. Yıkama tamburunda 5-10 dakika su ile yıkanan cevher, üzerine yapışan kil ve çamurlardan temizlendikten sonra, 25 mm ve 3 mm açıklıklı, çift katlı döner eleğe dökülerek burada 25-100 mm, 3-25 mm ve –3 mm tane boylarına ayrılmaktadır.

25-100 mm ürün, birbirine paralel olarak çalışan triyaj bantlarına dökülmektedir. Burada, triyaj bandı kenarında bulunan triyaj işçileri tarafından cevher içindeki yan kayaçlar ve yabancı maddeler (kil, kalker, marn, tahta parçası v.s.) ayıklanarak elde edilen ortalama % 45 B_2O_3 tenörlü 25-100 mm konsantre cevher ürün silosuna dökülmekte, oradan da kamyonlarla konsantre cevher stokuna taşınmaktadır.

3-25 mm tane boyundaki ürün, bir oluk yardımıyla susuzlandırılmak ve içindeki yonga parçalarından arındırılmak amacıyla spiral sınıflandırıcıya beslenmektedir. Spiral sınıflandırıcı taşarı şlam olarak atılırken, çöken kısım ürün silosuna dökülerek, buradan, B_2O_3 tenörüne göre konsantre veya ara ürün stoklarına taşınmaktadır.

3 mm tane boyu altındaki ürün, spiral sınıflandırıcıya beslenerek düşük tenörlü ince malzeme (–150 mikron) sınıflandırıcı taşarı olarak atılmaktadır. Çöken malzemeye katı oranı % 50 olacak şekilde temiz su ilave edildikten sonra, içindeki killerin aşındırılması amacıyla seri olarak çalışan 4 adet pervaneli dağıtıcı (scrubber) kullanılmaktadır. Burada, beslenen cevherin miktarına bağlı olarak 15-30 dakika aşındırma işlemine tabi tutulan malzeme ikinci spiral sınıflandırıcıya gelmektedir. Aşınmış killer spiral sınıflandırıcı taşarı olarak atıldıktan sonra çöken kısım ürün silosuna dökülmekte ve B_2O_3 tenörüne göre konsantre veya ara ürün stoklarına taşınmaktadır.

Sınıflandırıcı taşarları ve tesisten çıkan diğer atık sular, buru hattı ile şlam havuzuna dökülmekte ve burada ince malzeme çökeldikten sonra temiz su yıkama suyu olarak kapalı devre şeklinde pompalarla tekrar tesise basılmaktadır [Eti Maden, 2014].

Tesise ait, yaklaşık 146.000 m^2 yüzey alanına sahip dört adet atık gölet bulunmakta olup Şekil 2.5 üzerinde görülmektedir.

Şekil 2.5: Kestelek İşletme Sahası Uydu Görüntüsü ve Atık Göletinin Konumu.

Kestelek atık göleti panoramik görünümü ve örnekleme noktası da Şekil 2.6 üzerinde görülmektedir.

Şekil 2.6: Kestelek Atık Göleti Genel Görünümü ve Örnekleme Noktası.

2.4. Balıkesir/Bigadiç Tesis Sahası

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğüne bağlı Bigadiç Tesisi, Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusunda Osmanca köyü sınırları içerisinde kurulmuştur. İlçenin Balıkesir'e uzaklığı 36 km, İzmir ve Bursa'ya uzaklığı ise 180 km dir. Şlam atık göletleri ise işletmeye ait konsantratör tesisine güneydoğu yönünde yaklaşık 1 km uzaklıktadır.

Bigadiç cevherleşme sahasında 629.788.478 ton kolemanit ve üleksit rezervleri bulunmaktadır. İşletme, Tülü, Acep, Simav ve Kestelek açık ocaklarından aldığı

cevheri üretim prosesine aktararak yılda 1.045.000 ton kapasite ile üretim yapmaktadır. Ocaklardan gelen tüvenan cevherler konsantratör silosuna beslenerek, paletli besleyici ile ızgaralı elekten geçirilmekte ve +125 mm tüvenan cevher çeneli kırıcıya beslenmektedir. Çeneli kırıcıdan çıkan 125 mm altı kırılmış tüvenan cevher ile ızgaralı elek altına geçen 125 mm altı tüvenan cevher konveyör bant ile mekik banda aktarılmakta ve bu bant vasıtasıyla da ıslatma havuzlarına beslenmektedir.

Islatma havuzlarına alınan malzeme ile 125 mm altı kırılmış tüvenan cevher suyun içerisinde bekletilerek, bünyesindeki kil ve çamurun şişmesi sağlanmaktadır. Daha sonra bu malzemeler gezer köprü vinç vasıtası ile yıkama ünitesinin bunkerlerine beslenmektedir. Bunkerlerdeki tüvenan cevher, kazıyıcı besleyiciler ile yıkama tamburlarına aktarılmaktadır. Burada su ile yıkanan cevherler, tromel eleklerde elenerek 25 -125 mm tane boyundaki konsantreler triye edilmek üzere triyaj bandına beslenmekte ve triyajı yapılarak konsantre ürün silosuna aktarılmaktadır. Cevher içerisinden seçilen pasalar ise konveyör bantlarla pasa silosuna atılmaktadır. Tromel elek altı olan 25mm altı tane boylu cevher titreşimli eleğe verilerek buradan elek üstü olan +3-25 mm tane boylu konsantre cevher sınıflandırıcı vasıtası ile konveyör bandına beslenmekte ardından konsantre ürün silosuna aktarılmaktadır. Titreşimli elek altı olan –3mm tane boylu konsantre cevher ise toplama tanklarına alınarak buradan sınıflandırıcı vasıtası ile banda alınmakta ve ardından konsantre cevher silosuna aktarılmaktadır [Eti Maden, 2012].

Konsantrasyon işlemi sonucunda kolemanit cevherinden üç, üleksit cevherinden iki ayrı fraksiyonda konsantre ürün elde edilmektedir. Üretim sonucu oluşan atık ve atıksular %100 doluluk oranına ulaşana kadar şlam göletlerine (dört adet) boşaltılmaktaydı. Ancak atık ve atıksular, depolama kapasiteleri dolan bu göletlerin yerine bir kanal vasıtasıyla, işletme binasının yaklaşık 4,5 km güneydoğusunda yer alan Çamköy barajına aktarılmaktadır (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8). Çamköy barajı 628.429 m^2 alan kaplayıp 15.300.000 m^3 hacminde depolama alanına sahiptir [Eti Maden, 2016].

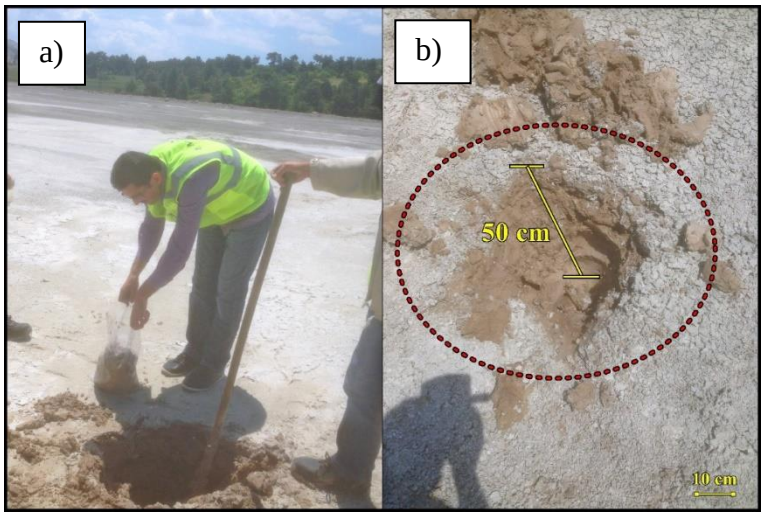
Şekil 2.7: Bigadiç Cevherleşme Sahası Uydu Görüntüsü ve Atık Göletleri.

Depolama ömürleri dolan dört şlam göletlerinden bir numaralı gölet yaklaşık 55.000 m^2, iki numaralı gölet 10.500 m^2, üç numaralı gölet 100.000 m^2 ve dört numaralı gölet 129.000 m^2 yüzey alanına sahiptir. Derinlikleri ise 5-9 metre arasında değişkenlik göstermektedir. Şlam atık göletleri ve örnekleme yapılan 3. Gölet Şekil 2.8 üzerinde görülmektedir.

Şekil 2.8: Bigadiç Bor İşletmesi Uydu Görüntüsü ve Şlam Atık Göletleri.

Bigadiç tesisi söz konusu atık göletleri genel görünümü Şekil 2.9 ve 3. Gölet üzerindeki örnekleme noktası ve prosedürü Şekil 2.10’ da görülmektedir.

Şekil 2.9: Bigadiç Şlam Göleti Genel Görünümü.



Şekil 2.10: a) Bigadiç 3. Şlam Göleti Örnekleme Noktası, b) Örnekleme Prosedürü.

2.5. Eskişehir/Kırka Tesis Sahası

Eskişehir ili, Seyitgazi ilçesi, Kırka mahallesinde yer alan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne ait sodyum bazlı tinkal bor minerali işleme tesisinde yılda 840.000 ton boraks pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$), 80.000 ton boraks dekahidrat ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), 10.000 ton susuz boraks ve 5.000 ton kalsine tinkal üretimi gerçekleştirilmektedir [Eti Maden, 2016]. Boraks türevleri ve kalsine tinkal üretimi

için 827.496.297 ton rezerve sahip sahadan temin edilen tinkal mineralinin ara, üst ve alt zonlarında katmanlar halinde montmorillonit grubundan killer de yer almaktadır.

Üretim prosesinin ana bölümü konsantratör tesisidir. Konsantratör tesisi kırma, eleme ve yıkama ünitelerinden oluşmaktadır. Kırma-eleme tesisinde ilk olarak açık ocaktan gelen tüvenan cevher 600 x 600 mm açıklıklı ızgaralardan geçirilerek tüvenan cevher silosuna alınmaktadır. Tüvenan cevher ardından, silodan 650 ton/saat kapasiteli mineral sizers tipi seri bağlı iki kırıcıdan geçirilerek 75 mm tane boyunun altına indirilmektedir. Kırılmış tüvenan cevher 20.000 ton kapasiteli ara stokta stoklanmaktadır. Bu ara stoktan çözme oluğuna besleme yapılmaktadır. Ara stok binasında stoklanan 25 mm altı tüvenan cevher bant konveyör ile A ve B yıkama ünitelerine beslenmektedir. Yıkama ünitesine giren cevher önce 10 mm açıklıklı titreşimli elekte elenmektedir. Elek üstü; A ünitesinde 10 mm açıklıklı merdaneli kırıcıdan geçirilerek, skraberlere verilmektedir. B ünitesinde merdaneli kırıcı yerine paletli kırıcı bulunmakta ve bu kırıcı daha homojen bir kırma sağlayarak kapalı devre çalışmaktadır.

10 mm elek altı bunkerinde yaklaşık 1/1 oranında yıkama suyu ile karıştırılan cevher ve kırıcı çıkışından alınan cevher skraberlere beslenmektedir. Cevherin skraberde kalma süresi 20-25 dakika olmaktadır. Skraberlerde yumuşak ve dağılabilir yapıdaki safsızlıklar dağıtılarak cevher zenginleştirilmektedir. Safsızlıkların çözeltide disperse hale getirilmesindeki ana etki partiküllerin karıştırıcı elemanı ve cidarla çarpışmasıdır. Skraber çıkışı pulp halindeki cevher sulu sistemle çalışan 1 mm açıklıklı titreşimli eleğe verilmektedir. Elek üstü cevher + 1 mm kaba konsantre olarak alınmakta ve santrifüj susuzlandırıcıya verilmektedir. Skraber çıkışının yaklaşık %50 - 60'ı kaba konsantre olarak alınmaktadır. Cevher, elek altı bunkerinde toplandıktan sonra pompalar yardımı ile primer hidrosiklon grubuna basılmaktadır. Hidrosiklon alt akımı toplama tankından pompa ile sekonder hidrosiklon grubuna basılmaktadır. Sekonder hidrosiklon alt akımı susuzlandırıcılara beslenmektedir. Primer ve sekonder hidrosiklon üst akımları ise atık kanalı (betonarme kanallar) ile atık göletine şlam atığı olarak verilmektedir. Konsantre tinkal asgari % 30 B_2O_3 tenörlü, azami % 9 nem içerikli ürün olarak üretilmektedir. Üretilen konsantre tinkal söz konusu tesis bünyesindeki bor türevleri tesislerine veya Bandırma tesisine gönderilmektedir.

Kırka bor türevleri tesisinde, bor türevleri ara stok binalarından alınan tüvenan tinkal ve konsantre tinkal üzerinde elektronik bant kantarı bulunan bir bant konveyör ile belli bir oranda soda ile karıştırılarak çözme oluğuna veya çözme tankına

beslenmektedir. Bu oluk ve tanka gelen malzeme tesisten dönen ana çözelti içerisinde (96-98 ^{o}C sıcaklıkta) çözünerek 1 mm açıklıklı susuzlandırma eleğine beslenmektedir. Çözünmeyen kil, bir takım bor madenleri vb. mineraller elek üstünde tutularak bant konveyörler vasıtasıyla atık olarak atık kil pasa sahasına gönderilmektedir. Elek altına geçen çözeltinin bir kısmı eşanjörlerden geçirilerek çözme tankına gönderilirken, bir kısmı da içerisinde bulunan 1 mm altındaki çözünmeyen maddelerin sistemden uzaklaştırılması amacıyla 1. kademe tiknere pompalanmaktadır. Çözme bölümünde elde edilen süzüntü içerisindeki küçük boyutta istenmeyen safsızlıklar (kil, vb.) 1. kademe tiknerde % 0,1'lik anyonik flokülant ilavesi ile çöktürülmekte, flokülantın etkisiyle killer ve diğer çözünmeyenler flok oluşturarak dip kısımda çökmekte, üste kalan temiz süzüntü ise taşardan alınıp, tanka verilmektedir. 1. kademe tikner altından alınan yoğun killi çözelti ise II. kademe tiknere beslenmekte, burada non-iyonik flokülant ilavesi ile çökmeye tabi tutulmaktadır. Üstten alınan temiz süzüntü çözme tankına gönderilirken, dipten alınan çamur katı-sıvı ayrımına tabi tutulmak üzere dekantasyona gönderilmektedir. Burada ayrılan katı faz, atık kil pasa sahasına, sıvı faz ise çözme tankına gönderilmektedir. Böylece çözme oluğundan, 1 mm açıklıklı susuzlandırma eleğinden ve dekanter santrifüjden elde edilen katı atıklar bor türevleri nihai atığını oluşturmaktadır. Elde edilen temiz ve doygun çözelti ise kristalizatör bölümünde kristallendirilmektedir [Eti Maden, 2016].

Tesis üretim prosesi sonucu oluşan tüm atık ve atıksular, atık göletlerine ve atık kil pasa sahasına aktarılmaktadır. Hâlihazırda 7 adet olan atık göletleri toplam 3 milyon m^2 yer kaplamaktadır. Sahanın son durumu ve oluşan atık ve atıksu barajları uydu görüntüsünden anlaşılmaktadır (Şekil 2.11). Tez kapsamında incelenmek üzere 5. göletin belirlenen bir bölgesinden birden fazla noktadan örnekleme gerçekleştirilmiş ve alınan örnekler kompozit hale getirilmiştir.

Şekil 2.11: Kırka Bor İşletme Sahası Uydu Görüntüsü.

Kırka tesisi söz konusu atık göletleri genel görünümü Şekil 2.12 üzerinde görülmektedir.

Şekil 2.12: Kırka 5. Atık Göleti Genel Görünümü.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Atıkların Karakterizasyon Prosedürleri

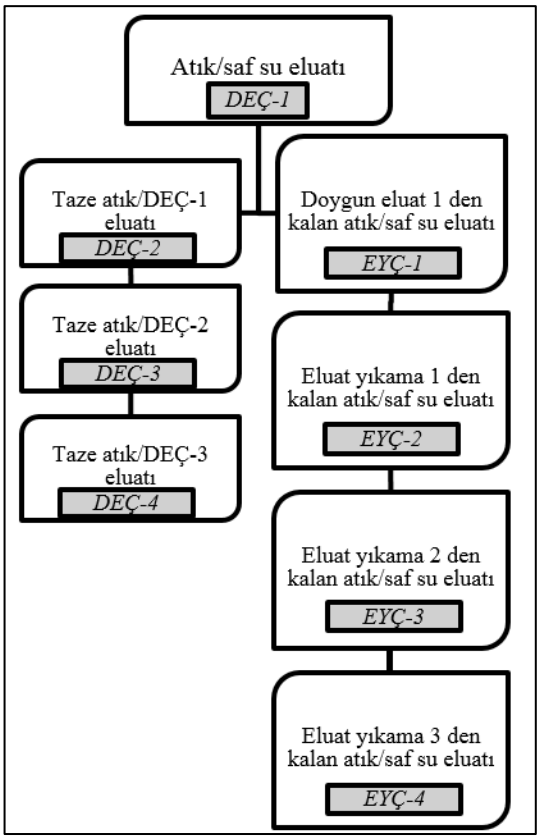
Tez çalışması kapsamında, beş farklı bor işletmesi atık depolama sahalarının 50 cm derinliğinden örneklenen numunelerin kimyasal, fiziksel ve mineralojik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizler kapsamında, örneklenen numunelerin öncelikle nem içerikleri, 105 $^{\circ}$C sıcaklıktaki etüv içerisinde 24 saat bekletildikten sonra alınan tartımlar sonucu belirlenmiştir. Ardından numunelerin sulu ortamdaki davranışları eluat testleri ile incelenmiştir. Eluat testleri ile örneklerin suyun asitliğini (pH) ve elektriksel iletkenliğini (Eİ) ne derecede etkilediği ve sulu ortama geçirdiği element konsantrasyonları belirlenmiştir. Deneyler, homojen erlenler içerisine alınan 2,5 gr kuru atık/25 mL sıcak saf su (95 ^{0}C) (1/10 katı sıvı oranında) ortamında 200 rpm çalkalama derecesinde yürütülmüştür. Bu deneylerde suyun pH ve Eİ değişiminin belirlenmesine ek olarak özellikle yörede majör olarak saptanan bor ve sodyum elementlerinin yanında Ca, Mg, Fe, Li ve Al elementlerinin de suya geçiş miktarları bir enstrümental spektrofotometri cihazı olan ICP-OES ile tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların Malvern Zetasizer marka nano parçacık boyut dağılımı ölçüm cihazı ile tane boyu dağılımı sonuçları alınmıştır.

Kimyasal ve fiziksel prosedürlere ek olarak incelenen atıkların mineralojik karakteristiği de çıkarılmıştır. Örneklerin mineral bileşimi ve kristal yapılarını tespit etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını Difraksiyonu (XRD) prosedürleri uygulanmıştır. Metotların uygulanabilmesi için örnek 105 $^{\circ}$C'de 24 saat bekletilerek nemi alındıktan sonra uygun tane boyuna kadar öğütülmüştür. Örneklerin yüzey taraması ise Philips XL 30 SFEG marka ve model SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mineralojik tanımlamaları ise Rigaku D/MAX 2200V/PC marka ve model XRD cihazı vasıtasıyla Cu Kα radyasyonu ile oda sıcaklığında 40 kV voltaj verilerek gerçekleştirilmiştir.

Numunelere uygulanan fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizlerin sonuçları her bir tesisin tanımlandığı bölümlerde detaylı olarak verilmektedir.

3.2. Atıklara Uygulanan Doygun Eluat Prosedürü

Doygun eluat prosedürü, bor üretim prosesi sonucu meydana gelen atıklar bünyesine kaçan bor içeriğinin, çözücü olarak sıcak saf suyun (≈95 °C) kullanıldığı kesikli ve kademeli katı-sıvı ekstraksiyonu ile geri kazanılabilme potansiyelinin araştırılmasını içermektedir. Bu kapsamda, 1:20 katı-sıvı oranında (kütle/hacim) atık ve sıcak saf su 1 litre hacimli erlen içerisine konulmuş ve 1 saat boyunca Daihan MSH 20A marka ve model ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ile katı-sıvı ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Ardından soğumaya bırakılan örnekler 20 mikron gözenekli kaba filtre kâğıdından süzülmüş ve katı ile sıvı faz birbirinden ayrılmıştır. Süzüntü olarak adlandırılan doygun eluat çözeltilerinin (DEÇ) pH, Ei ve toplam çözünmüş katı (TDS) değerleri Thermo Orion versa star multimetre ile ölçülmüş ve elementel analiz için 15'er ml örnekleme yapılmıştır. Filtre kâğıdında kalan katı malzeme etüvde 105 °C'de kurutularak kalan katı içerik de belirlenmiştir. İlk kademe doygun eluat prosedürü sonlandırılmış ve 2. kademeye geçilmiştir. 2. Kademede 1:20 katı-sıvı oranını sağlayacak şekilde taze atık alınmış ve ilk doygun eluatından elde edilen süzüntü ile katı-sıvı ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Bu işlem her bir kademede bir önceki kademede elde edilen süzüntü ile taze atığın muamelesi ile devam ettirilmiştir. 4 kademe sürdürülen bu işlem sonucunda veriler elde edilmiştir. Şekil 3.1 içerisinde, tez kapsamında uygulanan doygun eluat ve eluat yıkama işlemleri akış diyagramı yer almaktadır. Ayrıca, eluat yıkama işleminin doygun eluat ile bağlantısı da Şekil 3.1'de görülmektedir. Doygun eluat işleminin ilk kademesinde yıkanan atık, filtre kâğıdından olabildiğince sıyrıldıktan sonra eluat yıkama prosedürünün ilk kademesinde katı fazı oluşturmaktadır. Bu katı faz sıcak ultra saf su (95 °C) ile yıkanarak eluat yıkama çözeltisini (EYÇ) oluşturmaktadır. Bu sistematik 4 kademe yürütülmüş ve tüm atıklar özelinde tekli olarak uygulanmıştır. Bir sonraki başlıkta yıkama eluat yöntemi daha detaylı incelenmektedir



Şekil 3.1: Doygun ve Yıkama Eluat Prosedürlerinin Uygulama Sıralarını Gösteren Akış Diyagramı.

3.3. Atıkların Eluat Prosedürü ile Yıkanması

Eluat yıkama prosedürü, söz konusu atıklar bünyesinde yer alan bol miktarda kil yapılarının borat ve diğer tuzların varlığından kurtarılması ve dolayısıyla saflaştırılması amacıyla yürütülmüştür. Bu kapsamda ilk kademe doygun eluat işlemi sonucu elde edilen yıkanmış atığın 4 kademe daha yıkanması gerçekleştirilmiştir. Yıkanan atıkların tartımı sonucu çözücü olarak kullanılan sıcak saf suyun hacmi 1/20 katı-sıvı oranını sağlayacak şekilde belirlenmiş ve bu işlem her bir kademede bir önceki kademede elde edilen kil kütlesine göre 4 kademe sürdürülmüş ve pH, Ei, TDS, süzüntüye geçen elemen konsantrasyonları ve mineralojik sonuçlar alınmıştır (Şekil 3.1).

3.4. Atıkların Değerlendirme Yöntemleri

Bor içeren malzemelerin ısı ve ses yalıtımı özelliklerinin yanında radyasyon emici özelliği de bilinmektedir. Bu amaçla, söz konusu atıklardan yalıtım paneli çalışmaları yürütülmüştür. Kütlece sırasıyla 1/3 oranında atık ve alçı alınarak su ile uygun karışım sağlanmış ve gerçekleşen ekzotermik reaksiyon ile karışım kalıplara dökülmüştür. Kalıplarda bir gün bekletilen malzeme ardından çıkarılmıştır.

4. ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU

Tez kapsamında incelenen beş farklı atığın fiziksel, kimyasal ve mineralojik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Bu tanımlamalar her bir atık özelinde beş başlık altında verilmektedir.

4.1. Kütahya/Emet/Espey Tesis Atıkları

4.1.1. Kimyasal Analizler

Espey Tesisinin atık göletinden örneklenen numunenin nem içeriği ve bu atığa uygulanan eluat testleri sonucunda saptanan parametre değerleri Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1: Espey Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Parametre	Nem	pH	Eİ	TDS	K	Li	Na	Mg	Ca	Fe	Al	B
Birim	%	-	mS/cm	mg/L								
Espey	41,9	8,8	0,99	495	33,0	0,36	38,8	18,8	235	T.E.[1]	T.E.[1]	554,4
[1]T.E.=Tespit edilemedi												

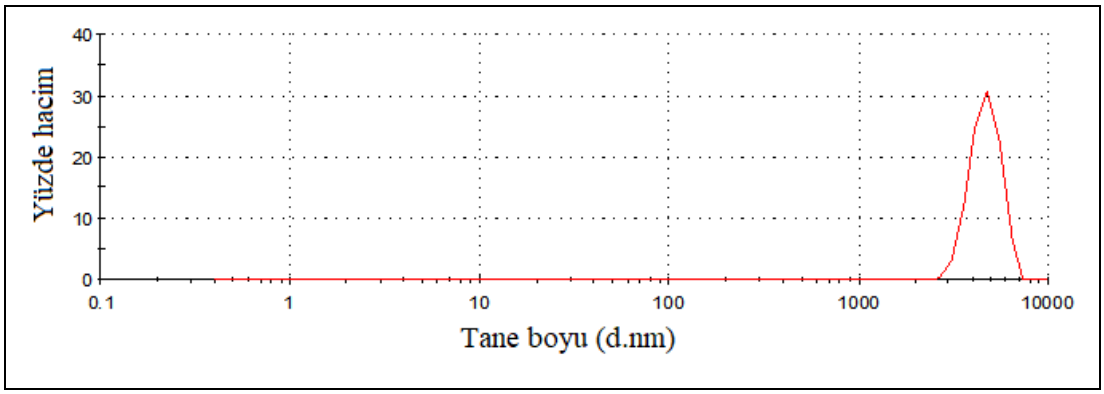
Espey gölet atığı eluat çözeltisinde pH 8,84, Eİ ise 1 mS/cm mertebelerine yakın tespit edilmektedir. Söz konusu eluat çözeltisinde çözünmüş elementel içerikler, B>Ca>Na>K>Mg>Li şeklinde sıralanmaktadır.

4.1.2. Tane Boyu Dağılımı

Espey atık göletinden örneklenen numunenin tane boyu ve dağılımı sonuçları ve grafiği sırasıyla Tablo 4.2. ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.2: Espey Numunesinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.

Numune	Okuma Sayısı	Ort. Dv (0,1)	σ	Ort. Dv (0,5)	σ	Ort. Dv (0,9)	σ
		nm					
Espey	3	3580	177	4370	221	6000	180



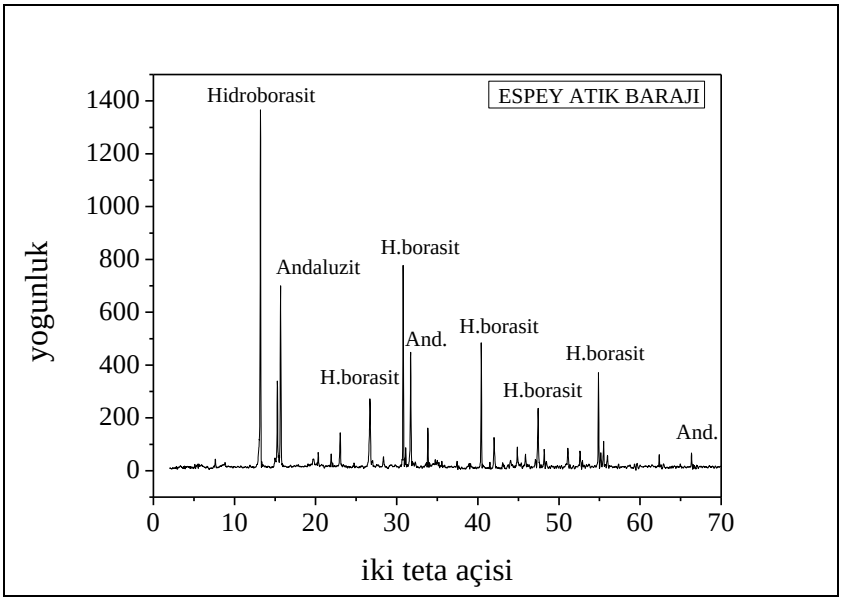
Şekil 4.1: Espey Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.

Espey numunesinin ortalama tane boyu 4,37 µm olup 7 µm boyundan büyük tane içermemektedir.

4.1.3. Mineralojik Analizler

4.1.3.1. X-ışını Kırınımı

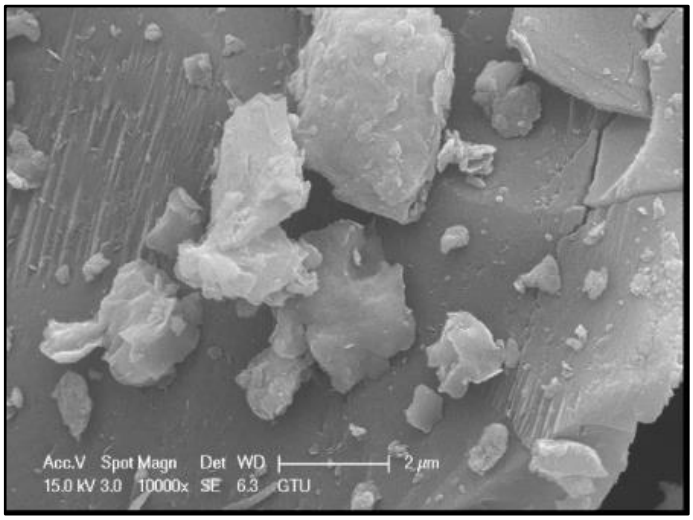
Espey atık barajından alınan örneğe uygulanan XRD prosedürü sonucunda atıkların mineralojik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Espey numunesine ait X-ışını deseni Şekil 4.2'de verilmektedir. Numunede majör olarak hidroborasit ve andaluzit bileşiklerine rastlanmaktadır.



Şekil 4.2: Espey Örneğine Ait X-Işını Difraksiyonu.

4.1.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu

Espey atık göleti numunesinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Espey Örneğinin Elektron Mikroskobu Görüntüsü.

4.2. Kütahya/Hisarcık Tesis Atıkları

4.2.1. Kimyasal Analizler

Hisarcık Tesisinin eski atık göletinden örneklenen numunenin nem içeriği ve bu atığa uygulanan eluat testleri sonucunda saptanan parametre değerleri Tablo 4.3'de verilmektedir.

Tablo 4.3: Hisarcık Eski Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Parametre	Nem	pH	Eİ	TDS	K	Li	Na	Mg	Ca	Fe	Al	B
Birim	%	-	mS/cm	mg/L								
Hisarcık	24,7	9,1	0,77	388	53,4	0,24	1,23	29,7	157	0,03	T.E.[1]	302,3
[1]T.E.=Tespit edilemedi												

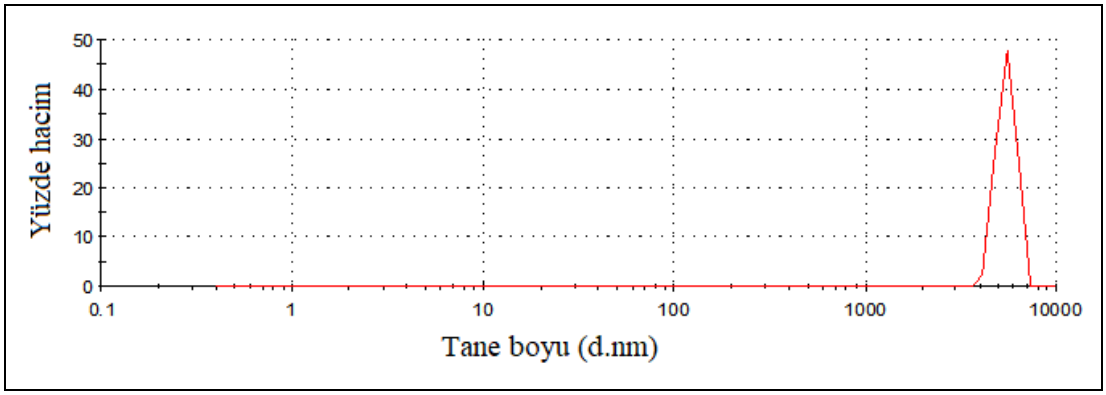
Hisarcık gölet atığı eluat çözeltisinde pH 9,12, Eİ ise 0,8 mS/cm mertebelerine yakın tespit edilmektedir. Söz konusu eluat çözeltisinde çözünmüş elementel içerikler, B>Ca>K>Mg>Na>Li>Fe şeklinde sıralanmaktadır.

4.2.2. Tane Boyu Dağılım

Hisarcık atık göletinden örneklenen numunenin tane boyu ve dağılımı sonuçları ve grafiği sırasıyla Tablo 4.4. ve Şekil 4.4'de verilmektedir.

Tablo 4.4: Hisarcık Örneğinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.

Numune	Okuma Sayısı	Ort. Dv(0,1)	σ	Ort. Dv(0,5)	σ	Ort. Dv(0,9)	σ
		nm					
Hisarcık	3	4840	160	5470	105	6570	94,7



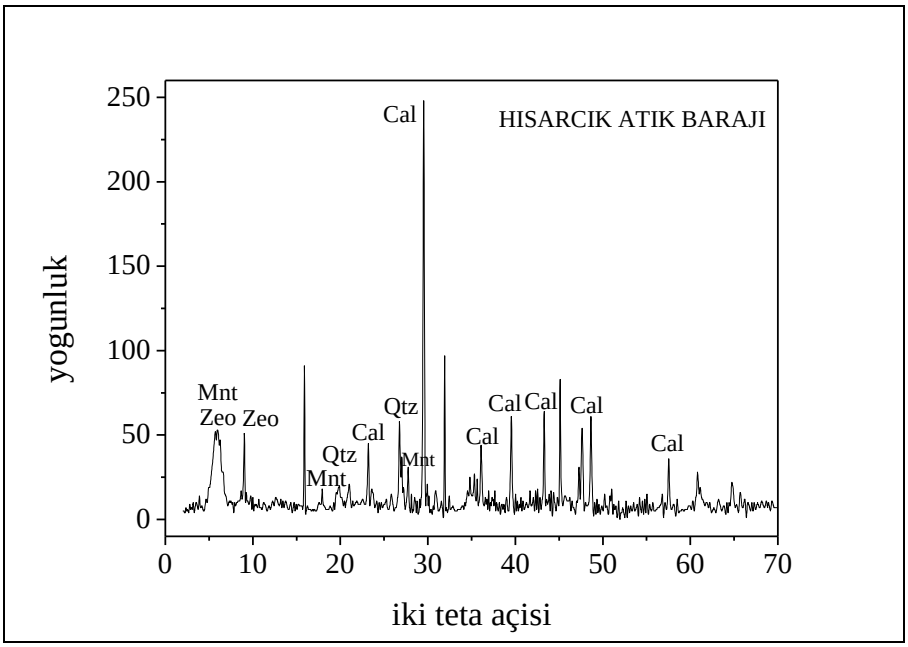
Şekil 4.4: Hisarcık Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.

Hisarcık numunesinin ortalama tane boyu 5,47 µm olup 8 µm boyundan büyük tane içermemektedir.

4.2.3. Mineralojik Analizler

4.2.3.1. X-ışını Difraksiyonu

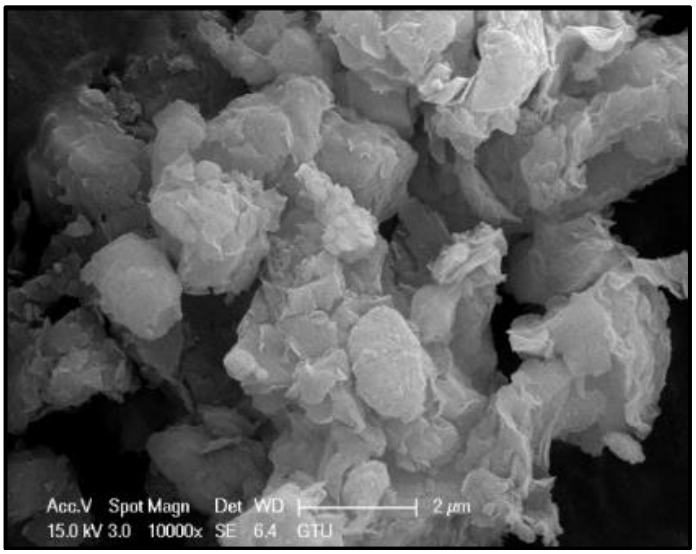
X-ışını diffraksiyonu belirlenen Hisarcık örneğinin yapısında majör olarak kalsit ve kuartz mineralleri ile zeolit ve montmorillonit tipinde killere rastlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Hisarcık Örneğinin X-Işını Deseni.

4.2.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu

Hisarcık örneğinin yüzey taraması görüntüsü Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6: Hisarcık Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.

4.3. Bursa/Kestelek Tesis Atıkları

4.3.1. Kimyasal Analizler

Kestelek Tesisinin atık göletinden örneklenen numunenin nem içeriği ve bu atığa uygulanan eluat testleri sonucunda saptanan parametre değerleri Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.5: Kestelek Kodlu Atığın Eluat Sonuçları.

Parametre	Nem	pH	Eİ	TDS	K	Li	Na	Mg	Ca	Fe	Al	B
Birim	%	-	mS/cm	mg/L								
Kestelek	30,8	9,2	0,95	475	12,4	1,82	19,2	8,38	177	T.E.[1]	T.E.[1]	513,0
[1]T.E.=Tespit edilemedi												

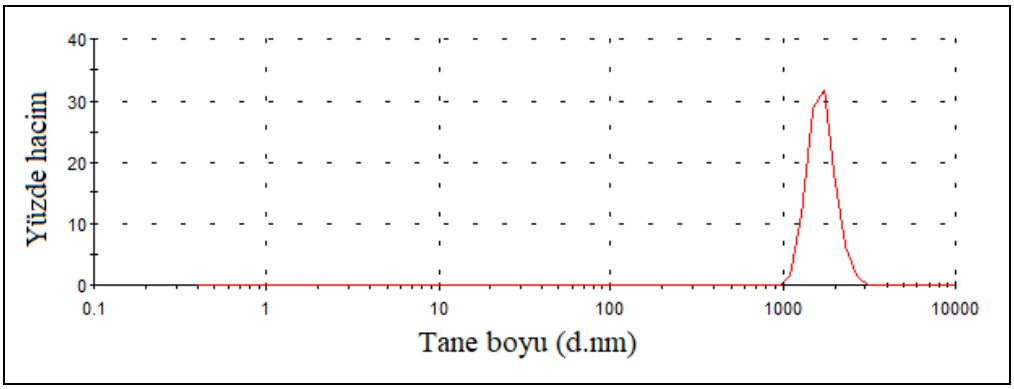
Kestelek tesisinden alınan ince taneli atık numunesine ait eluat çözeltisinde diğer tesis atıklarına ait eluatlarda olduğu gibi pH 9 değerine yakın tespit edilmiştir. Eİ değeri ise 1 mS/cm mertebelerinde tespit edilmektedir. Söz konusu eluatta çözünmüş elementel içerikler, B>Ca>Na>K>Mg>Li şeklinde sıralanmaktadır.

4.3.2. Tane Boyu Dağılımı

Kestelek kompozit atık örneğinin tane boyu ve dağılımı sonuçları sırasıyla Tablo 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.6: Kestelek Örneğinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı.

Numune	Okuma Sayısı	Ort. Dv(0,1)	σ	Ort. Dv(0,5)	σ	Ort. Dv(0,9)	σ
		nm					
Kestelek	3	1360	101	1610	134	2110	231



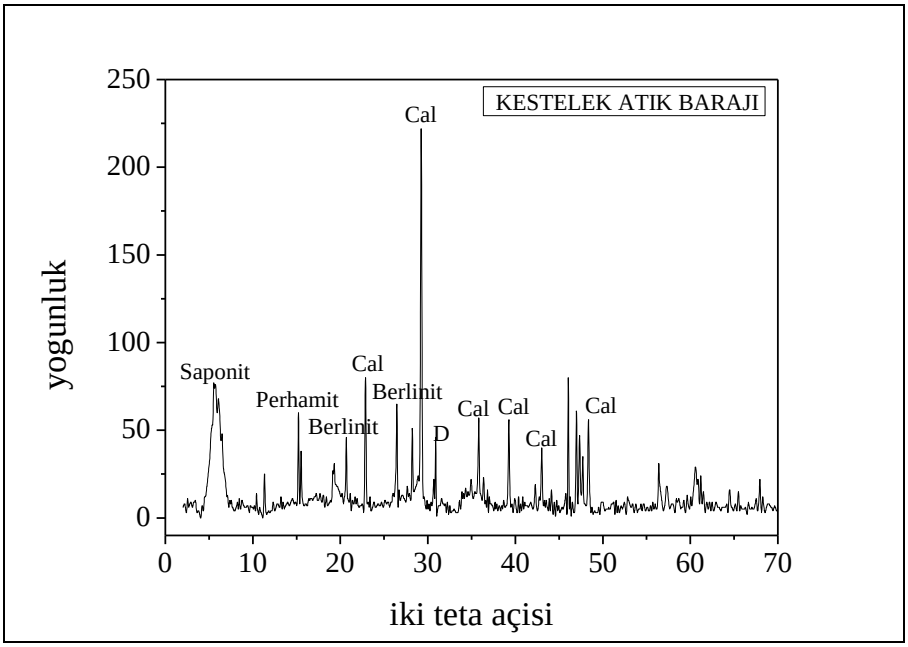
Şekil 4.7: Kestelek Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.

Kestelek atık numunesinin ortalama tane boyu 1,61 µm olup 3 µm boyundan büyük tane içermemektedir.

4.3.3. Mineralojik Analizler

4.3.3.1. X-ışını kırınımı

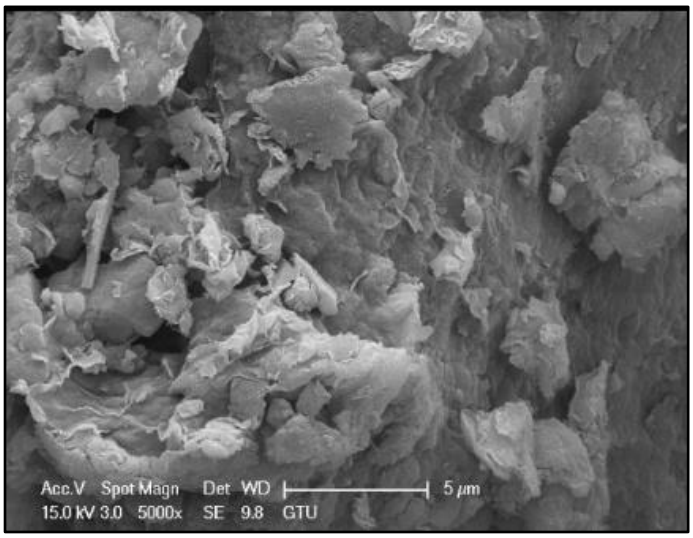
X-ışını diffraksiyonu belirlenen Kestelek örneğinin yapısında majör olarak kalsit mineralleri ile saponit ve perhamit tipinde killere rastlanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Kestelek Örneğinin X-Işını Deseni.

4.3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu

Kestelek örneğinin yüzey taraması görüntüsü Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9: Kestelek Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.

4.4. Balıkesir/Bigadiç Tesis Atıkları

4.4.1. Kimyasal Analizler

Bigadiç tesisinin 3. şlam atık göletinden örneklenen numunenin nem içeriği ve bu atığa uygulanan eluat testleri sonucunda saptanan parametre değerleri Tablo 4.3'de verilmektedir.

Tablo 4.7: Bigadiç 3.Şlam Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Parametre	Nem	pH	Eİ	TDS	K	Li	Na	Mg	Ca	Fe	Al	B
Birim	%	-	mS/cm	mg/L								
Bigadiç	34,8	9,2	1,97	985	15,4	1,21	21,7	12,3	255	T.E.[1]	T.E.[1]	866,8
[1]T.E.=Tespit edilemedi												

Bigadiç işletmesi 3. şlam atık göleti kompozit örneğine uygulanan eluat testi sonucunda, çözelti pH değeri 9 mertebesinin üzerinde ve Ei ise 2 mS/cm değerine

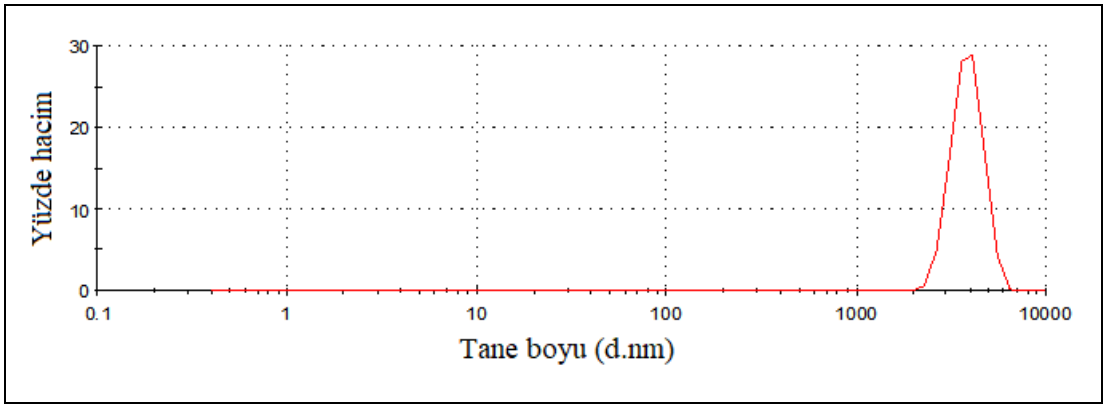
yakın tespit edilmiştir. Eluat çözeltisinde çözünen elementel konsantrasyonlar sırasıyla B>Ca>Na>K>Mg>Li şeklinde tespit edilmiştir.

4.4.2. Tane Boyu Dağılım

Bigadiç 3.şlam göleti atık örneğinin tane boyu ve dağılımı sonuçları sırasıyla Tablo 4.8 ve Şekil 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.8: Bigadiç Numunelerinin Lazerli Tane Boyu Dağılımları.

Numune	Okuma Sayısı	Ort. Dv(0,1)	σ	Ort. Dv(0,5)	σ	Ort. Dv(0,9)	σ
		nm					
Bigadiç	3	2990	189	3620	217	4980	262



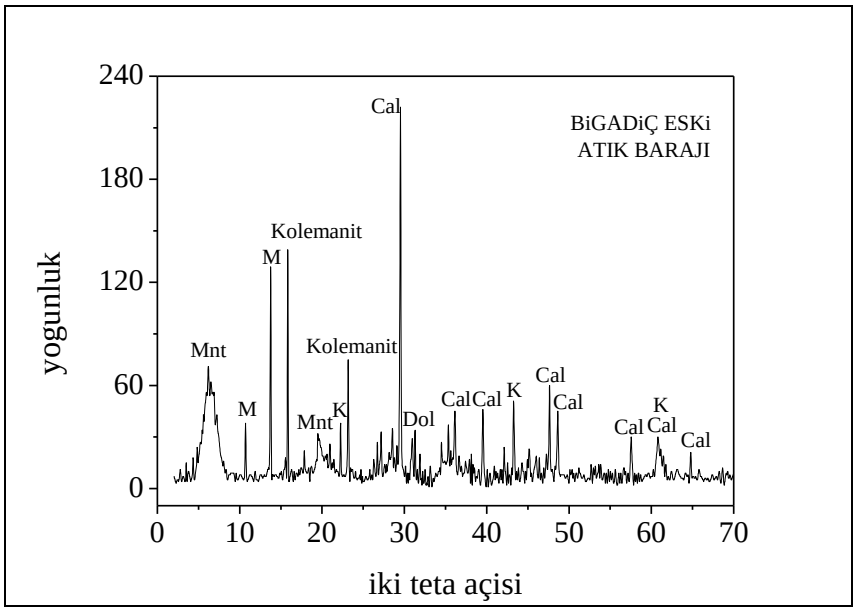
Şekil 4.10: Bigadiç Örneğinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.

Bigadiç atık numunesinin ortalama tane boyu 3,62 µm olup 6 µm boyundan büyük tane içermemektedir.

4.4.3. Mineralojik Analizler

4.4.3.1. X-ışını Difraksiyonu

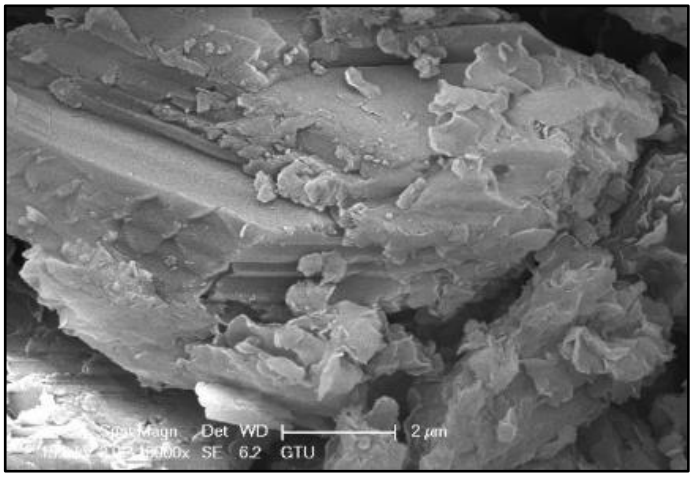
X-ışını deseni belirlenen Bigadiç kompozit atık örneğinin yapısında majör olarak dolomit, kalsit, kolemanit (K) ve mayerhoferit (M) minerallerinin yanı sıra montmorillonit tipi killere de rastlanmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Bigadiç Örneği X-Işını Difraksiyonu.

4.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu

Bigadiç 3.Şlam göleti atık örneğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.12: Bigadiç Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.

4.5. Eskişehir/Kırka Tesis Atıkları

4.5.1. Kimyasal Analizler

Kırka tesisinin 5. atık göletinden örneklenen numunenin nem içeriği ve bu atığa uygulanan eluat testleri sonucunda saptanan parametre değerleri Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9: Kırka 5. Atık Gölet Numunesi Kimyasal Analiz Sonuçları.

Parametre	Nem	pH	Eİ	TDS	K	Li	Na	Mg	Ca	Fe	Al	B
Birim	%	-	mS/cm	mg/L								
Kırka	50,0	9,6	26,5	13.25	27,5	19,1	1.27	16,4	29,5	0,6	1,51	14.575

Kırka işletmesi 5. atık göleti örneğine uygulanan eluat testi sonucunda, çözelti pH değeri 9,5 mertebesinin üzerinde ve Ei ise 25 mS/cm değerine yakın tespit edilmiştir. Eluat çözeltisinde çözünen elementel konsantrasyonlar sırasıyla B>Na>Ca>K>Li>Mg şeklinde tespit edilmiştir.

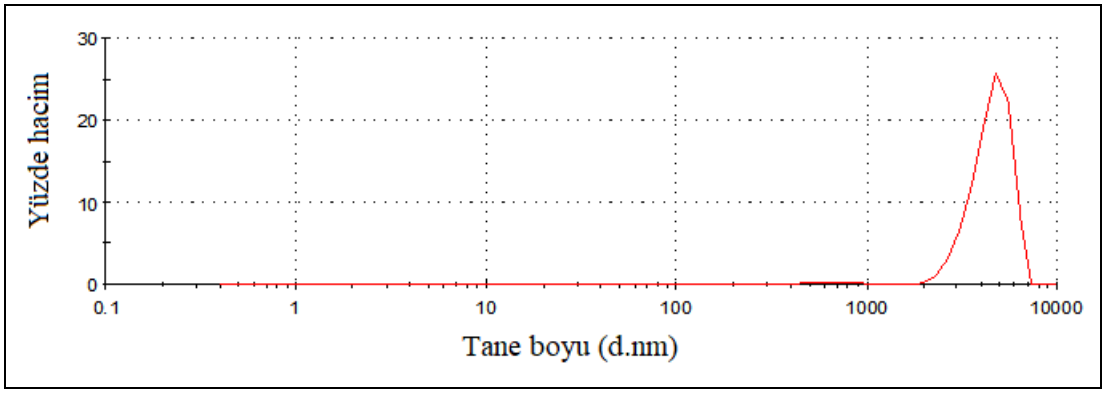
Tüm atık eluatları içerisinde en yüksek çözünmüş bor (~14 g B/L) ve çözünmüş lityum konsantrasyonu (~19 mg/L) Kırka 5 numaralı gölet kompozit örneğin eluatında tespit edilmiştir.

4.5.2. Tane Boyu Dağılımı

Kırka 5. atık göleti örneğinin tane boyu ve dağılımı sonuçları ve grafiği Tablo 4.10 ve Şekil 4.13 içerisinde verilmektedir.

Tablo 4.10: Kırka 5. Atık Gölet Numunesinin Lazerli Tane Boyu Dağılımı Tablosu.

Numune	Okuma Sayısı	Ort. Dv(0,1)	σ	Ort. Dv(0,5)	σ	Ort. Dv(0,9)	σ
		nm					
Kırka	3	697	55,4	553	67,2	6080	43,2



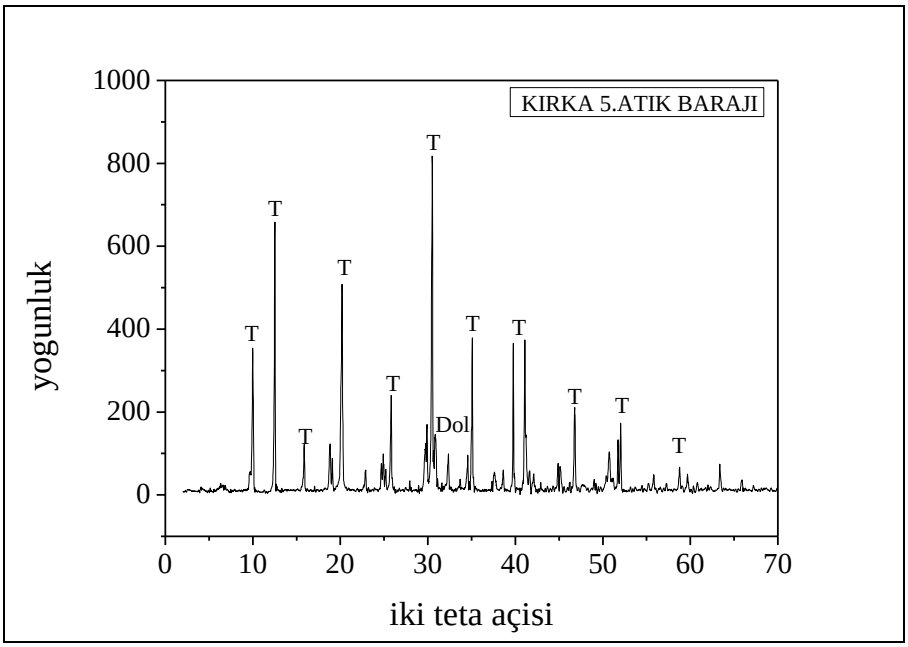
Şekil 4.13: Kırka 5. Atık Göleti Numunesinin Hacimsel Tane Boyu Dağılım Grafiği.

Kırka 5. atık barajı numunesinin ortalama tane boyu 0,553 µm olup 7 µm boyundan büyük tane içermemektedir.

4.5.3. Mineralojik Analizler

4.5.3.1. X-ışını Difraksiyonu

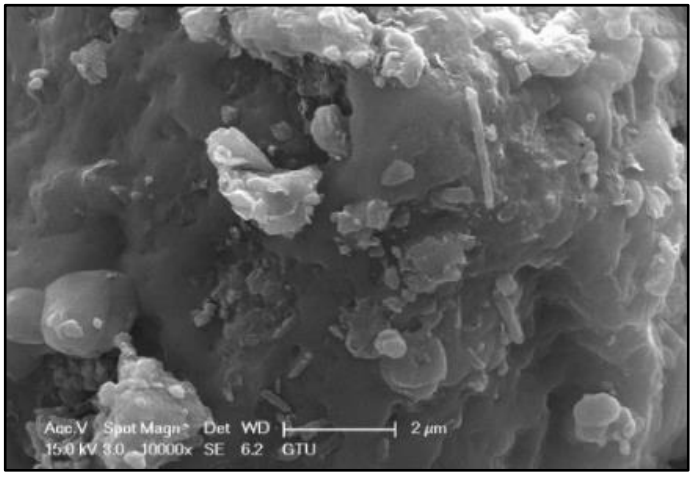
Kırka tesisine ait 5. atık barajından alınan örneğe uygulanan XRD prosedürü sonucunda atığın mineralojik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Tanımlamada majör olarak tinkalkonit (T) ve dolomit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Kırka Numunesi X-Işını Kırınımı.

4.5.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu

Kırka tesisine ait 5. atık göletinden alınan numunenin yüzey taraması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Kırka 5. Atık Göleti Örneğinin Yüzey Taraması Görüntüsü.

5. BULGULAR ve YORUMLAR

5.1. Doygun Eluat Testlerinin Değerlendirmesi

5.1.1. Espey Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi

Espey atığına uygulanan 4 kademeli doygun eluat testi sonucunda, doygun eluat çözeltilerinin (DEÇ) asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.1). Ek olarak, bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve tablo halinde raporlanmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.1: Espey 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	g/L	mg/L							
ED[1]-1	9,035	1,241	0,620	646,5	1,00	T.E.[2]	295,3	T.E.[2]	25,15	0,45	8,750
ED[1]-2	8,920	1,464	0,732	763,0	1,40	T.E.[2]	322,0	T.E.[2]	48,80	0,25	20,40
ED[1]-3	8,770	1,554	0,777	832,0	1,85	T.E.[2]	312,4	T.E.[2]	54,95	0,75	22,25
ED[1]-4	8,632	1,643	0,821	921,5	2,00	T.E.[2]	317,1	T.E.[2]	94,15	0,70	32,85

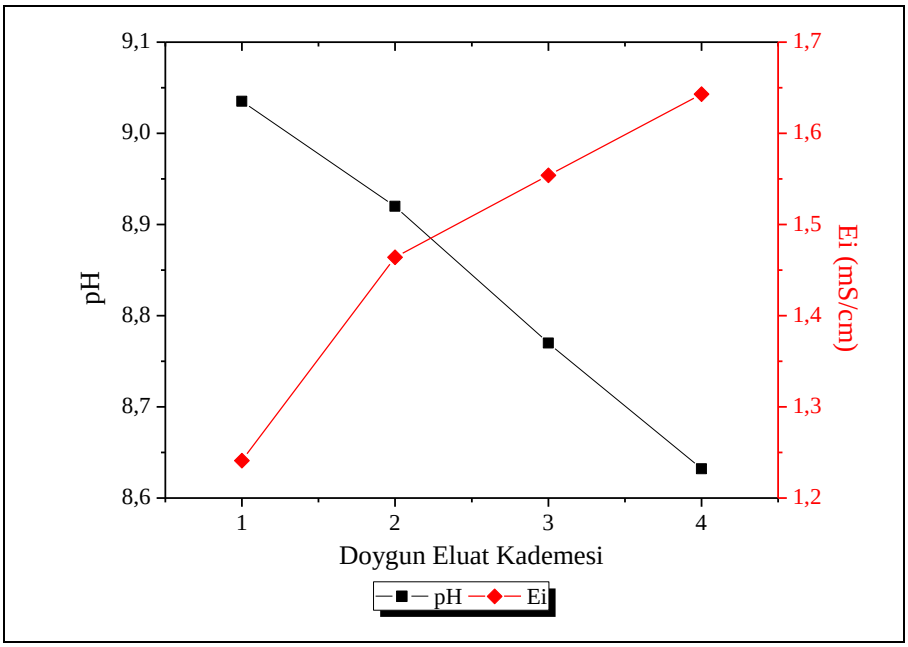
[1]ED: Espey Doygun [2]T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 5.2: Örneklenen Espey Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Espey	Giren			Çıkan			
Kademe	Matriks	Değerler		Aktarılan süzüntü	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Atık kil kalıntısı
				Alınan süzüntü			
			Birim	ml g		g	
DEÇ-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	400.00 398,83	ml g	335.00 335,15	15,00 15,01	50,02	18,65
	Taze Atık	20.00	g	350,00 350,16			
	Toplam	418,83	g	418,83			
DEÇ-2	Çözücü hacmi (DEÇ-1)	335.00 335,15	ml g	264,00 264,14	15,00 15,01	57,05	15,70
	Taze atık	16,75	g	279,00 279,15			
	Total	351,90	g	351,90			
DEÇ-3	Çözücü hacmi (DEÇ-2)	264,00 264,14	ml g	225,00 225,13	15,00 15,01	24,88	12.32
	Taze atık	13,20	g	240.00 240,14			
	Total	277,34	g	277,34			
DEÇ-4	Çözücü hacmi (DEÇ-3)	225,00 225,13	ml g	185,00 185,11	15,00 15,01	25,75	10,51
	Taze atık	11,25	g	200,00 200,12			
	Toplam	236,38	g	236,38			

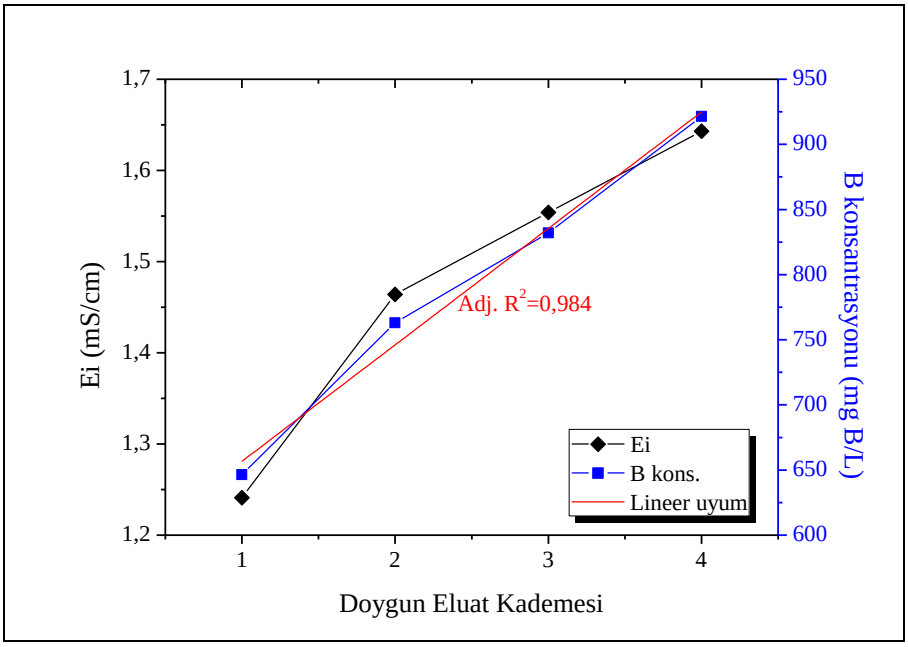
[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Doygun eluat kademelerine göre pH ve Ei değerleri değişimleri Şekil 5.1 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.1: Espey Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları.

Beklendiği gibi doygun eluat prosedürü kademeli olarak uygulandıkça Ei değerleri artmaktadır. Diğer yandan pH değerleri sürekli azalış göstermektedir. Ei değerindeki artışın çözünmüş bor konsantrasyonu ile yüksek ilişkisi Şekil 5.2'den rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.2: Espey Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi.

5.1.2. Hisarcık Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi

Hisarcık atığına uygulanan 4 kademeli doygun eluat testi sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.3). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.4 içerisinde yer almaktadır.

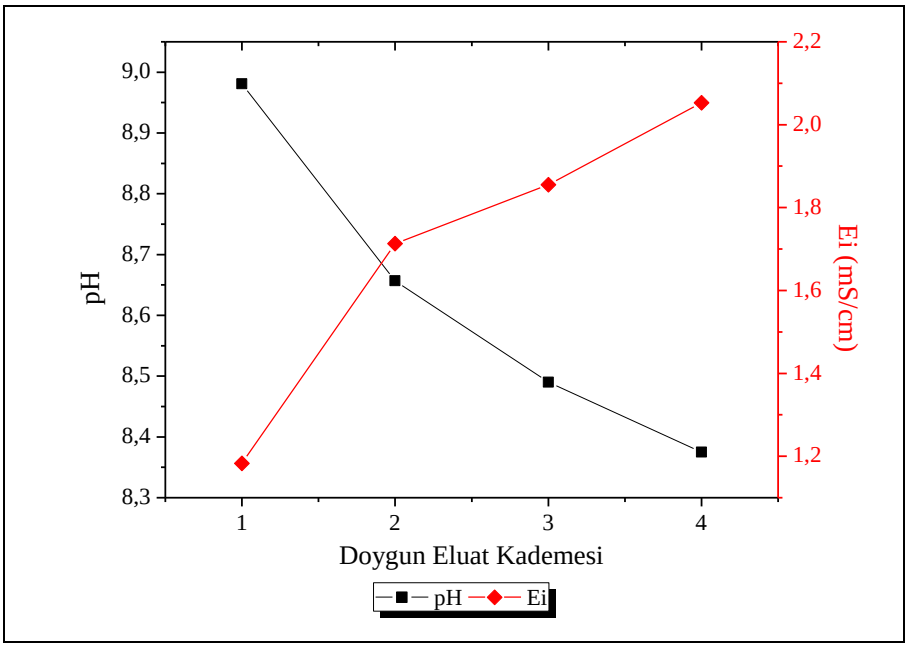
Tablo 5.3: Hisarcık 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	g/L	mg/L							
HD[1]-1	8,981	1,183	0,591	451,5	0,60	T.E.[2]	243,0	0,05	32,85	0,40	10,2
HD[1]-2	8,657	1,713	0,856	633,0	0,95	T.E.[2]	318,4	T.E.[2]	59,3	0,30	12,6
HD[1]-3	8,490	1,855	0,927	767,5	1,20	T.E.[2]	366,1	T.E.[2]	63,9	0,75	33,1
HD[1]-4	8,375	2,053	1,026	787,5	5,35	T.E.[2]	342,5	0,05	86,9	1,00	62,9
[1]HD: Hisarcık Doygun [2]T.E.: Tespit Edilemedi											

Tablo 5.4: Örneklenen Hisarcık Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

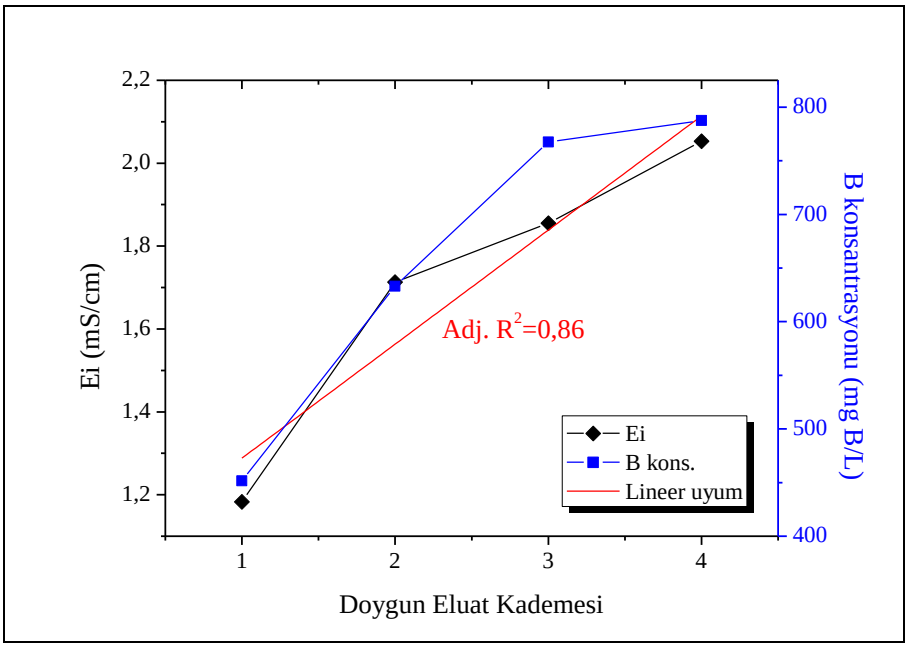
Hisarcık	Giren			Çıkan			
Kademe	Matriks	Değerler		Aktarılan süzüntü	Örneklenen1	Nem kaybı2	Atık kil kalıntısı
				Alınan süzüntü			
			Birim	ml g		g	
DEÇ-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	400.00 398,83	ml g	358.00 358,16	15,00 15,01	26,53	19,13
	Taze Atık	20.00	g	373,00 373,17			
	Toplam	418,83	g	418,83			
DEÇ-2	Çözücü hacmi (DEÇ-1)	358.00 358,16	ml g	256,00 256,17	15,00 15,01	87,96	16,92
	Taze atık	17,90	g	271,00 271,18			
	Total	376,06	g	376,06			
DEÇ-3	Çözücü hacmi (DEÇ-2)	256,00 256,17	ml g	240,00 240,17	15,00 15,01	1,65	12,14
	Taze atık	12,80	g	255.00 255,18			
	Total	268,97	g	268,97			
DEÇ-4	Çözücü hacmi (DEÇ-3)	240,00 240,17	ml g	195,00 195,15	15,00 15,01	30,38	11,63
	Taze atık	12,00	g	210,00 210,16			
	Toplam	252,17	g	252,17			
[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır. [2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp							

Hisarcık kompozit atığı eluatlarının doygun eluat kademelerine göre pH ve Ei değerleri değişimleri Şekil 5.3 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.3: Hisarcık Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları.

Espey doygun eluatlarına benzer şekilde Hisarcık atıklarına doygun eluat prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri artmaktadır. Diğer yandan pH değerleri sürekli azalış göstermektedir. Ei değerindeki artışın çözünmüş bor konsantrasyonu ile olumlu korelasyonu Şekil 5.4'ten rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.4: Hisarcık Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi.

5.1.3. Kestelek Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi

Kestelek atığına uygulanan 4 kademeli doygun eluat testi sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.5). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.6 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.5: Kestelek 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	g/L	mg/L							
KeD[1]-1	9,230	1,015	0,507	581,7	9,50	T.E.[2]	185,2	T.E.[2]	5,80	1,4	3,6
KeD[1]-2	9,068	1,266	0,633	635,2	16,4	1,2	234,8	0,2	14,2	0,6	3,3
KeD[1]-3	9,070	1,576	0,788	756,7	24,2	T.E.[2]	214,5	T.E.[2]	16,6	1,7	3,8
KeD[1]-4	8,956	1,910	0,955	939,6	33,7	0,1	217,2	T.E.	40,0	2,0	4,8

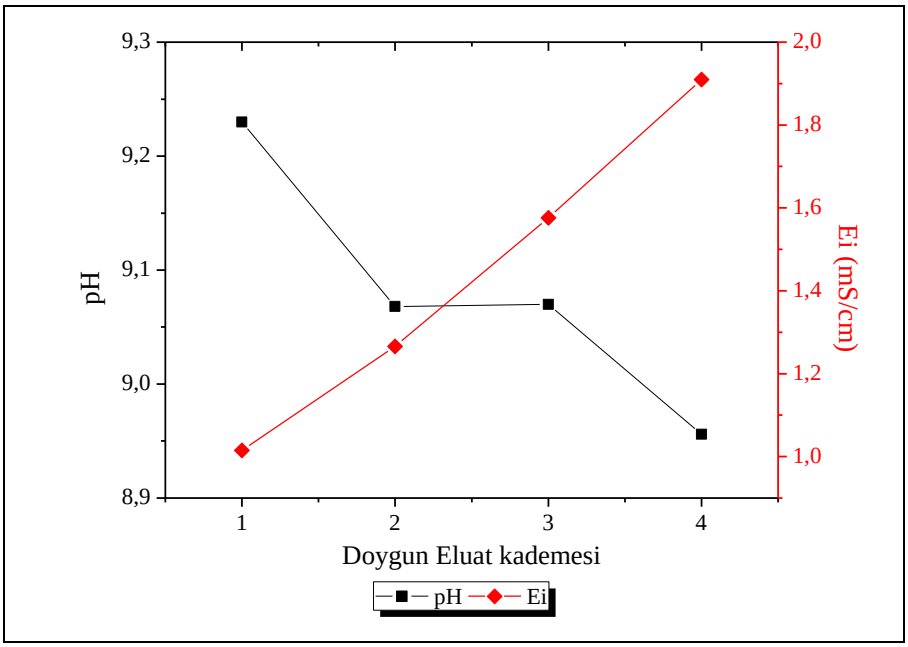
[1]KeD: Kestelek Doygun [2]T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 5.6: Örneklenen Kestelek Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Kestelek	Giren			Çıkan			
Kademe	Matriks	Değerler		Aktarılan süzüntü	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Atık kil kalıntısı
				Alınan süzüntü			
			Birim	ml g		g	
DEÇ-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	400.00 398,83	ml g	350.00 350.14	15,00 15,00	13,15	19.27
	Taze Atık	20.00	g	365,00 365,14			
	Toplam	418,83	g	418,83			
DEÇ-2	Çözücü hacmi (DEÇ-1)	350.00 350.14	ml g	305,00 305,15	15,00 15,00	30,63	16,86
	Taze atık	17.50	g	320,00 320,15			
	Total	367.64	g	367.64			
DEÇ-3	Çözücü hacmi (DEÇ-2)	305,00 305,15	ml g	260,00 260,16	15,00 15,00	30,50	14.74
	Taze atık	15,25	g	275.00 275,16			
	Total	320,40	g	320,40			
DEÇ-4	Çözücü hacmi (DEÇ-3)	260,00 260,16	ml g	175,00 175,13	15,00 15,01	70,50	12,52
	Taze atık	13,00	g	190,00 190,14			
	Toplam	273,16	g	273,16			

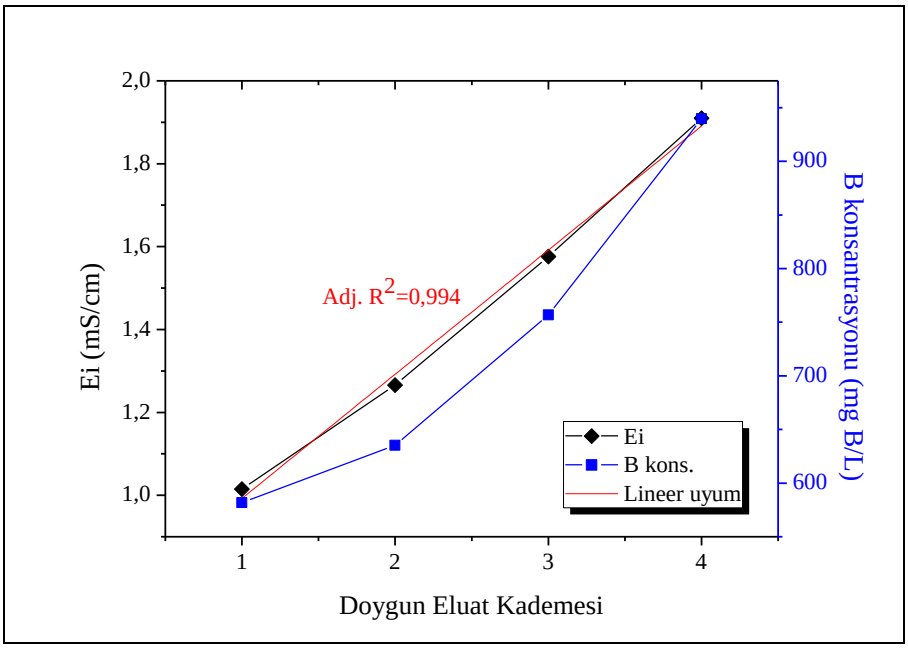
[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Kestelek atığı eluatlarının doygun eluat kademelerine göre pH ve Ei değerleri değişimleri Şekil 5.5 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.5: Kestelek Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları.

Espey ve Hisarcık doygun eluatlarına benzer şekilde Kestelek atıklarına doygun eluat prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri artmaktadır. Diğer yandan pH değerleri ise azalış eğilimindedir. Ei değerindeki artışın çözünmüş bor konsantrasyonu ile olumlu korelasyonu Şekil 5.6'dan rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.6: Kestelek Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi.

5.1.4. Bigadiç Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi

Bigadiç atığına uygulanan 4 kademeli doygun eluat testi sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.7). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.8 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.7: Bigadiç 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.

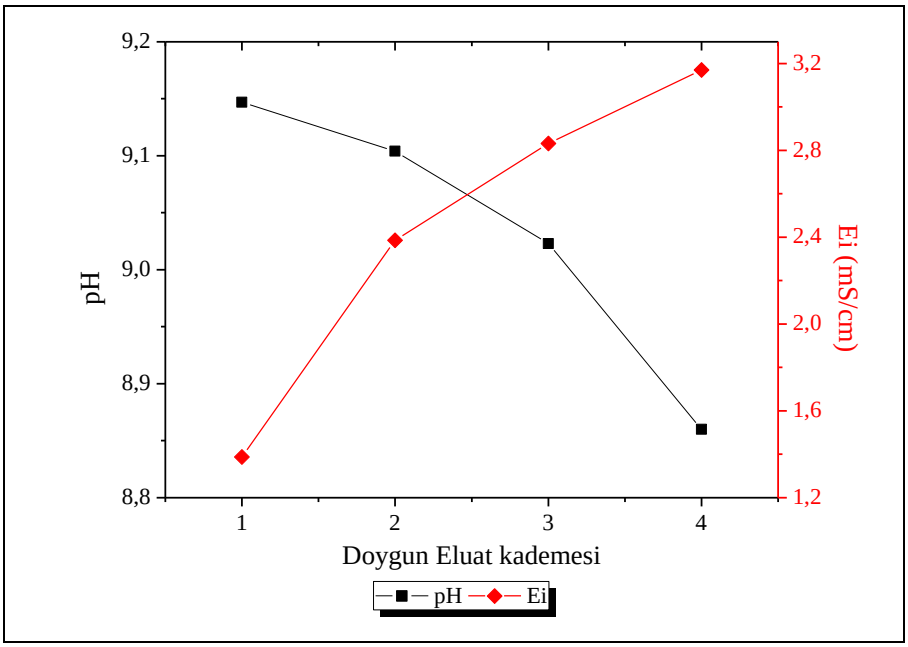
Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	g/L	mg/L							
BD[1]-1	9,147	1,388	0,694	667,3	17,3	0,1	200,5	T.E.[2]	5,2	0,8	6,10
BD[1]-2	9,104	2,386	1,193	1.038	32,5	T.E.[2]	374,6	0,6	31,5	1,4	13,6
BD[1]-3	9,023	2,832	1,141	1.089	46,4	T.E.[2]	372,3	0,4	33,7	1,9	17,7
BD[1]-4	8,860	3,17	1,585	1.167	57,6	0,1	335,2	T.E.[2]	51,8	1,8	29,6
[1]BD: Bigadiç Doygun				[2]T.E.: Tespit Edilemedi							

Tablo 5.8: Örneklenen Bigadiç Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Bigadiç	Giren			Çıkan			
Kademe	Matriks	Değerler		Aktarılan süzüntü	Alınan numune1	Nem kaybı2	Atık kil kalıntısı
				Alınan süzüntü			
			Birim	ml g		g	
DEÇ-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	400.00 398,83	ml g	315,00 315,18	15,00 15,00	50,10	18,55
	Taze Atık	20.00	g	350,00 350,18			
	Toplam	418,83	g	418,83			
DEÇ-2	Çözücü hacmi (DEÇ-1)	335.00 335,18	ml g	284,00 284,26	15,00 15,01	37,15	15,51
	Taze atık	16,75	g	299,00 299,27			
	Total	351,93	g	351,93			
DEÇ-3	Çözücü hacmi (DEÇ-2)	284,00 284,26	ml g	245.00 245,27	15,00 15,01	25,26	12,92
	Taze atık	14,20	g	260.00 260,28			
	Total	298,46	g	298,46			
DEÇ-4	Çözücü hacmi (DEÇ-3)	244,00 244,26	ml g	180,00 180,13	15,00 15,01	54,99	11,33
	Taze atık	12,20	g	195,00 190,14			
	Toplam	256,46	g	256,46			

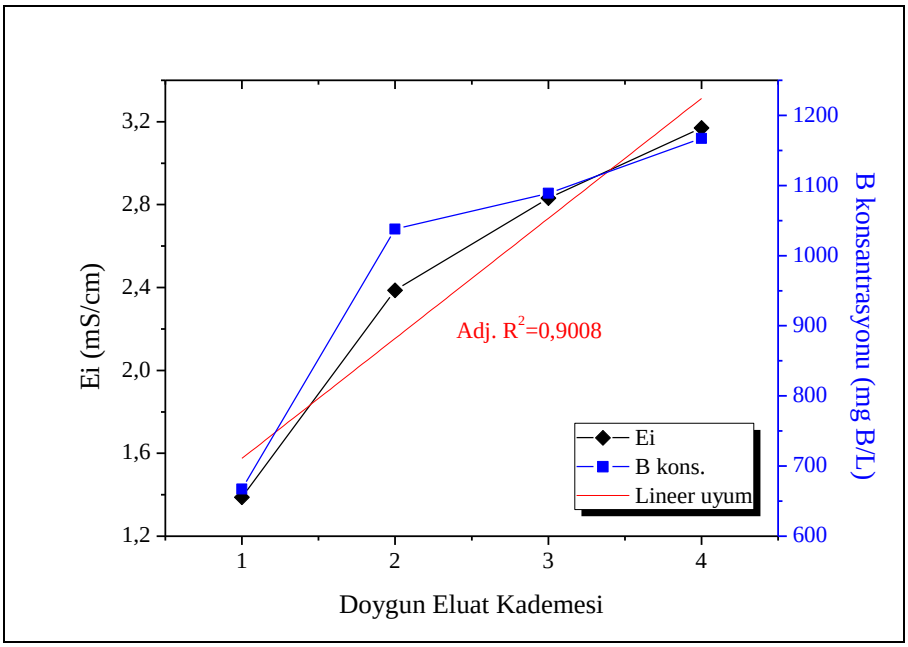
[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Bigadiç atığı eluatlarının doygun eluat kademelerine göre pH ve Ei değerleri değişimleri Şekil 5.7 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.7: Bigadiç Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları.

Espey, Hisarcık ve Kestelek doygun eluatlarına benzer şekilde Bigadiç atıklarına doygun eluat prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri artmaktadır. Diğer yandan pH değerleri ise sürekli azalmaktadır. Ei değerindeki artışın çözünmüş bor konsantrasyonu ile pozitif ilişkisi Şekil 5.8'den rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8: Bigadiç Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi.

5.1.5. Kırka Doygun Eluat Testi Değerlendirmesi

Son olarak Kırka atığına uygulanan 4 kademeli doygun eluat testi sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.9). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.10 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.9: Kırka 4 Kademeli Doygun Eluat Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	g/L		mg/L						
KD[1]-1	9,34	17,90	8,950	10,35	868,0	1,15	21,4	0,45	13,9	9,550	8,150
KD[1]-2	9,58	24,24	13,12	9,810	853,0	0,20	6,65	0,05	24,15	17,95	4,460
KD[1]-3	9,41	37,10	18,55	23,33	2.203	0,70	33,9	0,05	49,35	28,10	6,850
KD[1]-4	9,40	42,40	21,20	31,07	2.983	0,65	13,8	0,15	61,3	34,25	10,25
KRS[2]	9,47	14,60	7,30	7,696	696,0	0,35	9,75	0,005	50,45	34,9	9,850

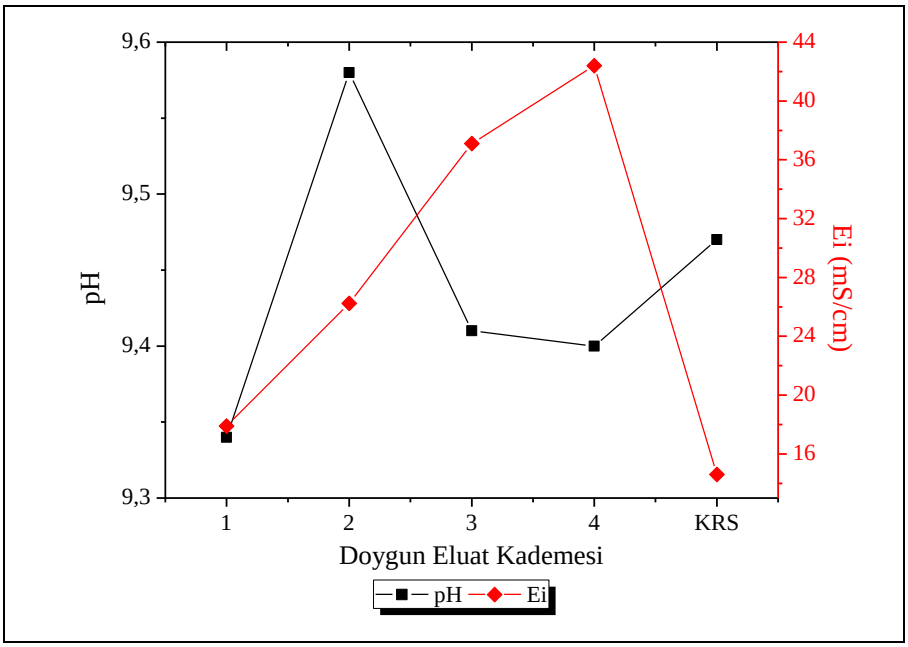
[1]KD: Kırka Doygun [2]KRS: Kristalizasyon sonrası çözelti

Tablo 5.10: Örneklenen Kırka Atığına Uygulanan 4 Kademeli Doygun Eluat Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Kırka	Giren			Çıkan			
Kademe	Matriks	Değerler		Aktarılan süzüntü	Örneklenen1	Nem kaybı2	Atık kil kalıntısı
				Alınan süzüntü			
			Birim	ml g		g	
DEÇ-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	400.00 398,83	ml g	355.00 357,39	15,00 15,10	43,37	2,96
	Taze Atık	20.00	g	370,00 372,50			
	Toplam	418,83	g	418,83			
DEÇ-2	Çözücü hacmi (DEÇ-1)	355.00 357,39	ml g	327,00 330,23	15,00 15,15	26,26	3,50
	Taze atık	17,75	g	342,00 345,38			
	Total	375,14	g	375,14			
DEÇ-3	Çözücü hacmi (DEÇ-2)	327,00 330,23	ml g	305.00 309,86	15,00 15,21	18,53	3,59
	Taze atık	16,35	g	320.00 324,46			
	Total	346,58	g	346,58			
DEÇ-4	Çözücü hacmi (DEÇ-3)	305.00 309,86	ml g	275,00 279,38	15,00 15,24	26,23	4,26
	Taze atık	15,25	g	290,00 294,62			
	Toplam	325,11	g	325,11			

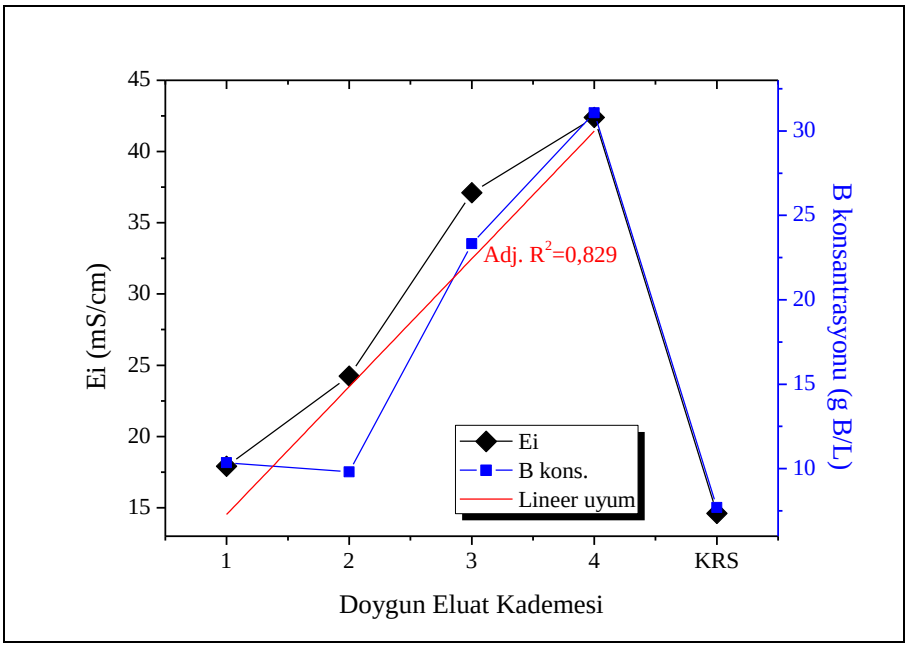
[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Kırka atığı eluatlarının doygun eluat kademelerine göre pH ve Ei değerleri değişimleri Şekil 5.9 içerisinde yer almaktadır.



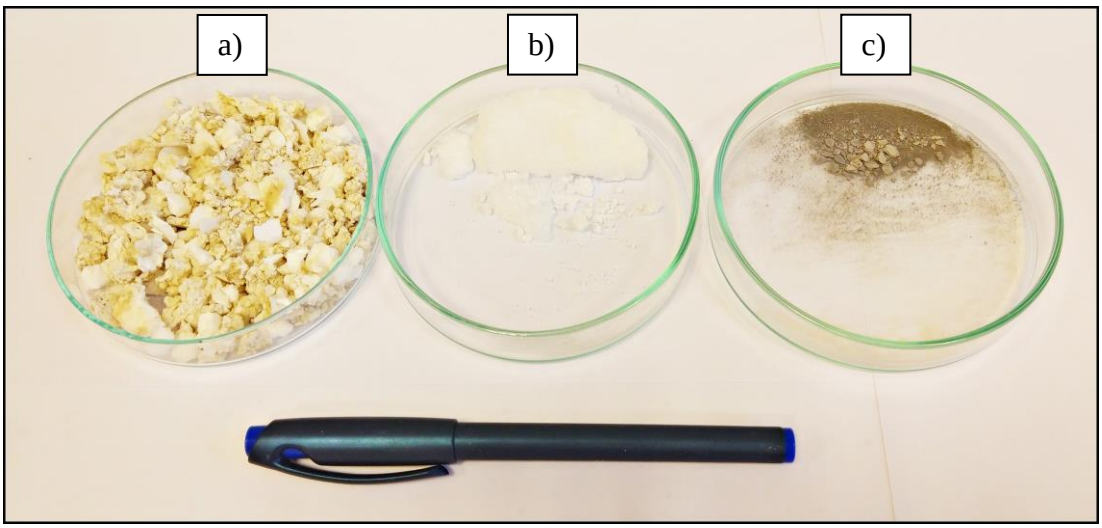
Şekil 5.9: Kırka Doygun Eluat Kademelerine Bağlı Ei ve pH Salınımları.

Kırka atıkları diğer atıklara göre çok daha yüksek bor ihtiva etmektedir. Dolayısıyla 2. doygun eluat kademesinden itibaren çalışmalar sırasında çözünmüş borun, sıcaklığa bağlı olarak kristal formuna dönüşebildiği gözlemlenmiştir. Bu durumdan faydalanılarak son doygun eluat çözeltisinde meydana gelen kristaller ile bor geri kazanılabilmiştir. Diğer atıkların son eluat çözeltilerinde böyle bir durum oluşmamıştır. Kırka atıklarına doygun eluat prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri artmaktadır. Kristalizasyon sonrasında kalan çözeltide ise bu değer keskin bir düşüş göstermiş olup bor ve sodyum bakımından zengin kristallerin oluştuğunun bir kanıtıdır. Diğer yandan pH değerleri ise aşağı-yukarı yönlü salınmıştır. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonu arasındaki pozitif ilişki Şekil 5.10 üzerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır.



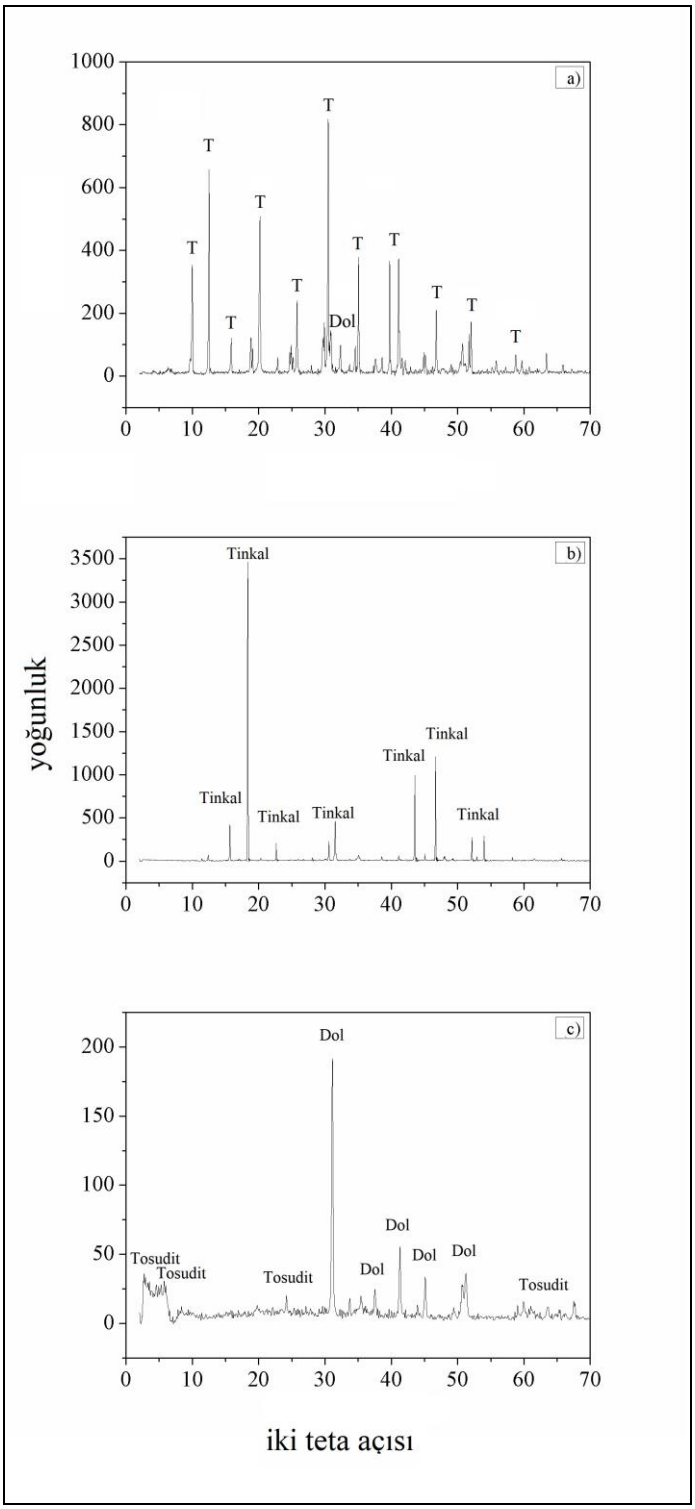
Şekil 5.10: Kırka Doygun Eluat Çözeltilerinde Ei ve Bor Konsantrasyon İlişkisi.

Doygun eluat prosedürüne giren Kırka 5. Gölet atığı ile 4 kademeli eluat sonucunda elde edilen kristaller ve yıkama prosedürü ile elde edilmiş kil görselleri Şekil 5.11 içerisinde görülmektedir.



Şekil 5.11: a) Kırka 5.gölet atığı, b) Kırka Son Doygun Eluat Çözeltisinde Oluşan Tinkal Kristalleri, c) Elde Edilen Yıkanmış kil Örneklerine Ait Görseller.

Şekil 5.11'de görülen materyallerin mineralojik tanımlamaları Şekil 5.12 üzerinde görülmektedir.



Şekil 5.12: a) Kırka 5.gölet Atığı, b) Kırka Son Doygun Eluat Çözeltisinde Oluşan Tinkal Kristalleri, c) Elde Edilen Yıkanmış Kil Örneklerine Ait X-Işını Desenleri.

Mineralojik tanımlamalar ile Kırka 5. gölet atığında yer alan yüksek konsantrasyonlu borun doygun eluat prosedürü ile kristaller halinde alınabildiği rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca uygulanan yıkama prosedürü ile elde edilen yıkanmış atığın bor varlığından arındırıldığı görülmektedir.

5.2. Eluat Yıkama Testlerinin Değerlendirmesi

5.2.1. Espey Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi

Espey atığına uygulanan dört kademeli eluat yıkama prosedürü sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, TDS ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.11). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.12 içerisinde yer almaktadır. Her bir yıkama kademesi atık kil yıkama (AKY) olarak adlandırılmıştır.

Tablo 5.11: Espey 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.

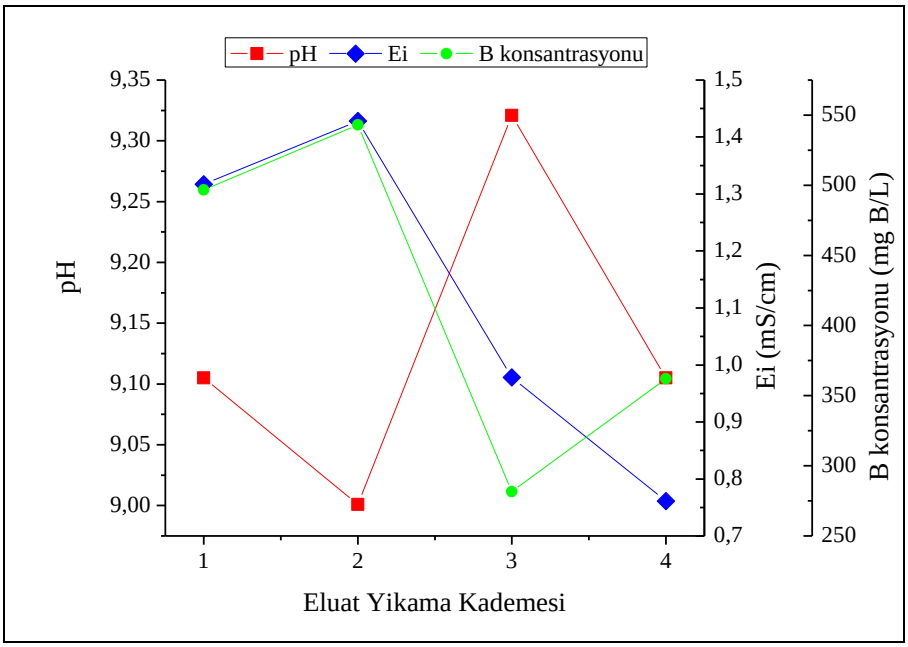
Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	mg/L								
EY[1]-1	9,10	1,31	476	496,6	0,164	T.E.[2]	198,3	T.E.[2]	25,25	T.E.[2]	15,5
EY[1]-2	9,00	1,42	475	543,1	0,176	T.E.[2]	314,6	0,003	14,50	T.E.[2]	6,57
EY[1]-3	9,32	0,97	445	281,5	0,111	T.E.[2]	159,7	0,001	6,492	T.E.[2]	7,41
EY[1]-4	9,10	0,76	380	362,1	0,124	T.E.[2]	187,7	T.E.[2]	4,638	0,01	9,16
[1]EY: Espey Yıkama [2]T.E.: Tespit Edilemedi											

Tablo 5.12: Örneklenen Espey Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Espey	Giren			Çıkan				
Kademe	Katı-sıvı ekstraksiyonu	Değerler		Kalan çözelti	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Kalan atık	
				Alınan süzüntü			Alınabilen atık	Filtre kâğıdında kalan kuru kil
			Birim	ml g		g		
AKY-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	368,40 367,32	ml g	280,00 280,15	15,00 15,00	73,79	16,80	
	1. Doygun eluatından alınabilen atık kil kalıntısı 1	18,42	ml g	295,00 295,15			16,76	0,04
	Toplam	385,74	g	385,74				
AKY-2	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	335,20 334,22	ml g	270,00 270,15	15,00 15,00	50,28	15,55	
	Alınan atık kil kalıntısı 2	16,76	ml g	285,00 285,15			15,46	0,09
	Toplam	350,98	g	350,98				
AKY-3	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	309,20 308,30	ml g	260,00 260,08	15,00 15,00	34,02	14,66	
	Alınan atık kil kalıntısı 3	15,46	ml g	275,00 275,08			14,62	0,04
	Toplam	323,76	g	323,76				
AKY-4	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	292,40 291,54	ml g	250,00 250,10	15,00 15,00	27,43	13,63	
	Alınan atık kil kalıntısı 4	14,62	ml g	265,00 265,10				
	Toplam	306,16	g	306,16				

[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Espey atığı eluatlarının eluat yıkama kademelerine göre pH, Ei ve çözünmüş bor konsantrasyonları değerleri değişimleri Şekil 5.13 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.13: Espey Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları.

Epey atıklarına eluat yıkama prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri düşüş eğilimindedir. Diğer yandan pH değerleri ise aşağı-yukarı yönlü salınmaktadır. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonları benzer eğilimdedir.

5.2.2. Hisarcık Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi

Hisarcık atığına uygulanan 4 kademeli eluat yıkama prosedürü sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.13). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.14 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.13: Hisarcık 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	mg/L								
HY[1]-1	9,14	1,166	583	364,7	0,153	T.E.[2]	198,6	T.E.[2]	22,82	0,01	3,45
HY[1]-2	9,23	1,146	573	402,6	0,164	T.E.[2]	199,5	T.E.[2]	10,58	0,05	1,03
HY[1]-3	9,30	1,111	555,5	326,3	0,164	T.E.[2]	197,5	T.E.[2]	8,407	T.E.[2]	0,64
HY[1]-4	9,22	0,669	334,5	145,3	0,087	T.E.[2]	134,9	0,001	5,599	0,01	0,93

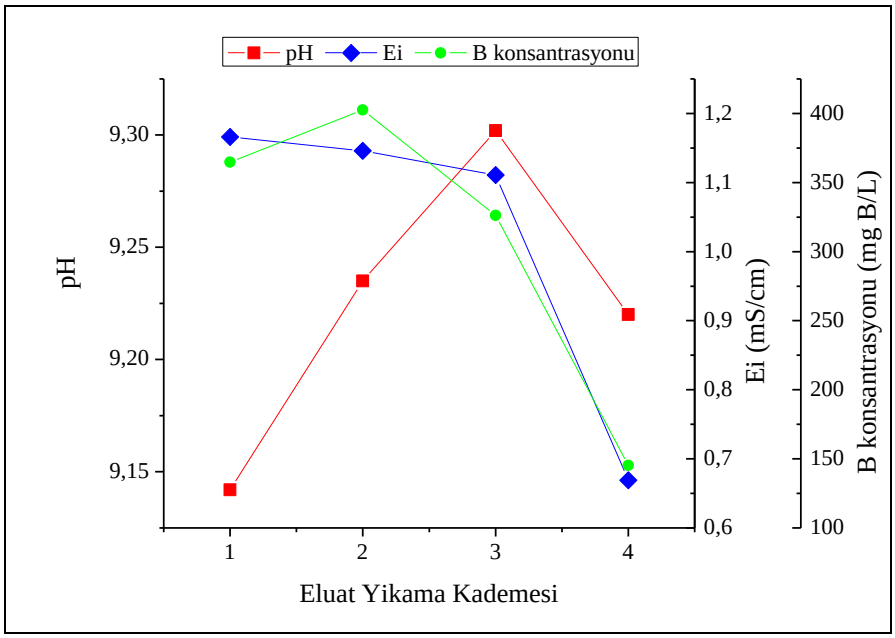
[1]HY: Hisarcık Yıkama [2]T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 5.14: Örneklenen Hisarcık Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Hisarcık	Giren			Çıkan				
Kademe	Katı-sıvı ekstraksiyonu	Değerler		Kalan çözelti	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Kalan atık	
				Alınan süzüntü			Alınabilen atık	Filtre kâğıdında kalan kuru kil
			Birim	ml g		g		
AKY-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	379,00 377,89	ml g	312,00 312,15	15,00 15,00	52,79	16,90	
	1. Doygun eluatından alınabilen atık kil kalıntısı 1	18,95	ml g	327,00 327,15			16,77	0,13
	Toplam	396,84	g	396,84				
AKY-2	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	335,40 334,42	ml g	280,00 280,13	15,00 15,00	40,42	15,64	
	Alınan atık kil kalıntısı 2	16,77	ml g	295,00 295,13			15,62	0,02
	Toplam	351,19	g	351,19				
AKY-3	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	312,80 311,88	ml g	266,0 266,12	15,00 15,00	50,04	14,77	
	Alınan atık kil kalıntısı 3	15,64	ml g	281,00 281,12			14,74	0,03
	Toplam	327,52	g	327,52				
AKY-4	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	294,80 293,94	ml g	250,0 250,08	15,00 15,00	29,36	14,24	
	Alınan atık kil kalıntısı 4	14,74	ml g	265,00 265,08				
	Toplam	308,68	g	308,68				

[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Hisarcık atığı eluatlarının eluat yıkama kademelerine göre pH, Ei ve çözünmüş bor konsantrasyonları değerleri değişimleri Şekil 5.14 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.14: Hisarcık Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları.

Hisarcık atıklarına eluat yıkama prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri düşüş eğilimindedir. Diğer yandan pH değerleri ise ilk üç kademede yükseliş eğilimi göstermiş son kademede ise düşüşe geçmiştir. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonları benzer eğilimde olup bu iki parametre değerleri arasında olumlu bir ilişki vardır.

5.2.3. Kestelek Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi

Kestelek atığına uygulanan dört kademeli eluat yıkama prosedürü sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.15). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.16 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.15: Kestelek 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	mg/L								
KeY[1]-1	9,30	0,95	470	285,7	0,98	T.E.[2]	144,2	0,001	2,72	0,02	0,44
KeY[1]-2	9,35	0,95	470	245,5	0,27	T.E.[2]	143,4	T.E.[2]	12,4	0,04	0,35
KeY[1]-3	9,39	0,89	440	259,1	0,23	T.E.[2]	154,7	T.E.[2]	24,0	0,01	0,35
KeY[1]-4	9,30	0,76	380	214,2	0,19	T.E.[2]	104,6	T.E.[2]	1,14	0,03	0,33

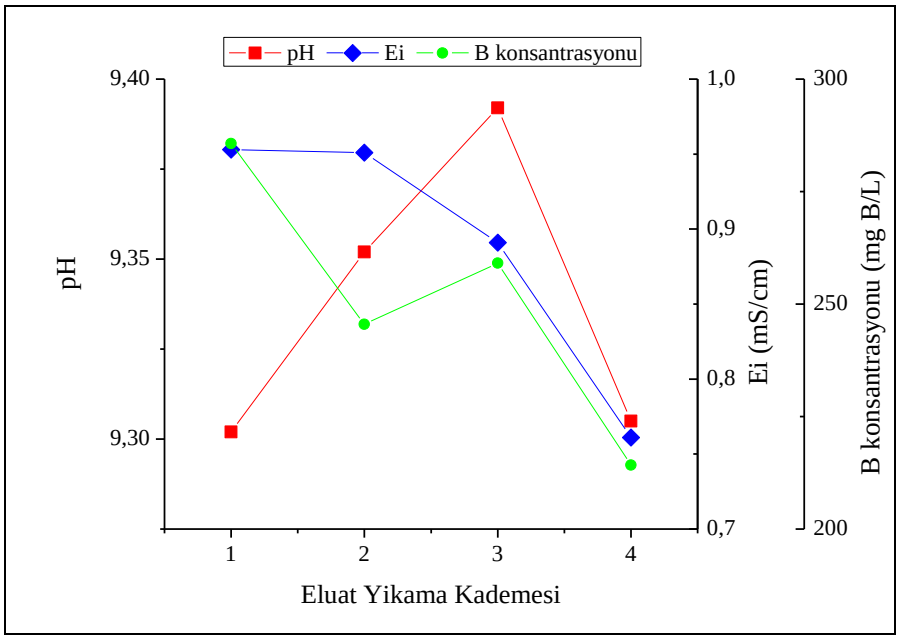
[1]KeY: Kestelek Yıkama [2]T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 5.16: Örneklenen Kestelek Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Kestelek	Giren			Çıkan				
Kademe	Katı-sıvı ekstraksiyonu	Değerler		Kalan çözelti	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Kalan atık	
				Alınan süzüntü			Alınabilen atık	Filtre kâğıdında kalan kuru kil
			Birim	ml g		g		
AKY-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	377,00 375,90	ml g	350,00 350,13	15,00 15,00	12,78	16,84	
	1. Doygun eluatından alınabilen atık kil kalıntısı 1	18,85	ml g	365,00 365,13			16,58	0,26
	Toplam	394,75	g	394,75				
AKY-2	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	332,00 331,03	ml g	313,00 313,12	15,00 15,00	3,80	15,69	
	Alınan atık kil kalıntısı 2	16,58	ml g	328,00 328,12			15,57	0,12
	Toplam	347,61	g	347,61				
AKY-3	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	311,40 310,49	ml g	267,00 267,09	15,00 15,00	29,49	14,48	
	Alınan atık kil kalıntısı 3	15,57	ml g	282,00 282,09			14,34	0,14
	Toplam	326,06	g	326,06				
AKY-4	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	286,80 285,96	ml g	250,00 250,08	15,00 15,00	21,69	13,53 ±0.040	
	Alınan atık kil kalıntısı 4	14,34	ml g	265,00 265,08				
	Toplam	300,30	g	300,30				

[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Kestelek atığı eluatlarının eluat yıkama kademelerine göre pH, Ei ve çözünmüş bor konsantrasyonları değerleri değişimleri Şekil 5.15 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.15: Kestelek Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları.

Kestelek atıklarına eluat yıkama prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri düşüş eğilimindedir. Diğer yandan pH değerleri ise Hisarcık eluatlarına benzer şekilde ilk üç kademede yükseliş eğilimi göstermiş son kademede ise düşüşe geçmiştir. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonları benzer eğilimde olup bu iki parametre değerleri arasında genel anlamda olumlu bir ilişki vardır.

5.2.4. Bigadiç Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi

Bigadiç atığına uygulanan 4 kademeli eluat yıkama prosedürü sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.17). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.18 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.17: Bigadiç 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.

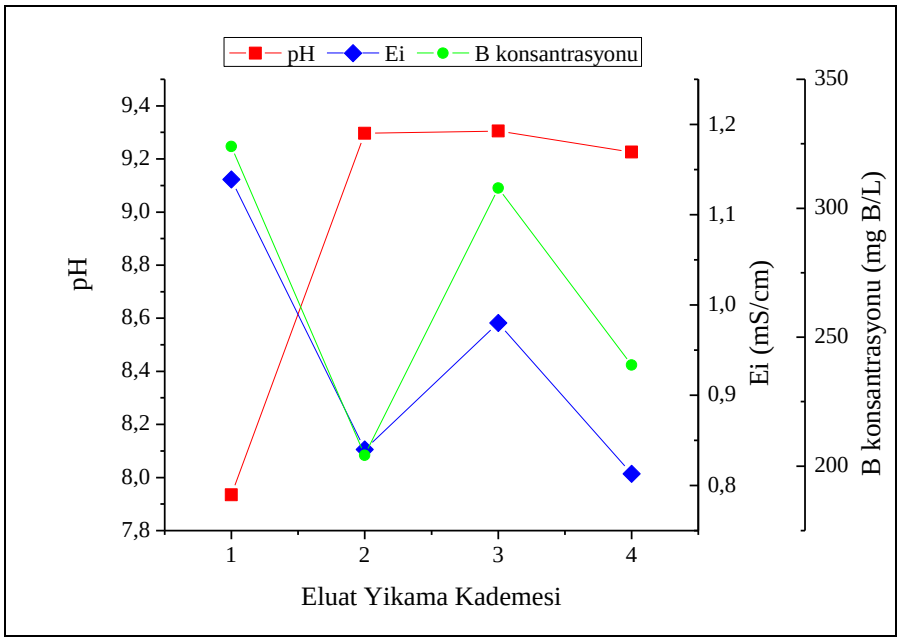
Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	mg/L								
BY[1]-1	7,93	1,14	570	323,9	2,42	T.E.[2]	169,1	T.E.[2]	17,01	0,030	1,807
BY[1]-2	9,29	0,84	420	204,2	0,47	T.E.[2]	127,7	T.E.[2]	1,338	0,017	1,875
BY[1]-3	9,30	0,98	490	307,8	0,33	T.E.[2]	174,2	T.E.[2]	1,657	0,060	0,965
BY[1]-4	9,22	0,81	400	239,2	0,33	T.E.[2]	138,5	0,001	1,876	0,068	0,922
[1]BY: Bigadiç Yıkama				[2]T.E.: Tespit Edilemedi							

Tablo 5.18: Örneklenen Bigadiç Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Bigadiç	Giren			Çıkan				
Kademe	Katı-sıvı ekstraksiyonu	Değerler		Kalan çözelti	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Kalan atık	
				Alınan süzüntü			Alınabilen atık	Filtre kâğıdında kalan kuru kil
			Birim	ml g		g		
AKY-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	367,00 365,93	ml g	300,00 300,13	15,00 15,00	52,84	16,31	
	1. Doygun eluatından alınabilen atık kil kalıntısı 1	18,35	ml g	315,00 315,13			16,27	0,04
	Toplam	384,28	g	384,28				
AKY-2	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	325,40 324,45	ml g	250,00 250,10	15,00 15,00	60,29	15,33	
	Alınan atık kil kalıntısı 2	16,27	ml g	265,00 265,10			15,27	0,06
	Toplam	340,72	g	340,72				
AKY-3	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	305,40 304,51	ml g	240,00 240,08	15,00 15,00	50,04	14,66	
	Alınan atık kil kalıntısı 3	15,27	ml g	255,00 255,08			14,58	0,08
	Toplam	319,78	g	319,78				
AKY-4	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	291,60 290,75	ml g	245,00 245,08	15,00 15,00	32,29	12,96	
	Alınan atık kil kalıntısı 4	14,58	ml g	260,00 260,08				
	Toplam	305,33	g	305,33				

[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Bigadiç atığı eluatlarının eluat yıkama kademelerine göre pH, Ei ve çözünmüş bor konsantrasyonları değerleri değişimleri Şekil 5.16 içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.16: Bigadiç Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları.

Bigadiç atıklarına eluat yıkama prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei değerleri genel anlamda düşüş eğilimindedir. Diğer yandan pH değerleri, ilk kademede yükseliş eğilimi göstermiş diğer kademelerde ise yatay seyretmiştir. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonları benzer eğilimde olup bu iki parametre değerleri arasında oldukça olumlu bir ilişki vardır.

5.2.5. Kırka Eluat Yıkama Testi Değerlendirmesi

Kırka atığına uygulanan 4 kademeli eluat yıkama prosedürü sonucunda çözeltinin asitlik derecesi, Ei değeri, toplam çözünmüş katı konsantrasyon ve çözeltiye geçen element konsantrasyonları tespit edilmiştir (Tablo 5.19). Ek olarak bu test kademelerindeki kütle denklikleri çıkarılmış ve Tablo 5.20 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.19: Kırka 4 Kademeli Eluat Yıkama Çözeltileri Elementel Analizi.

Parametre	pH	Ei	TDS	B	Na	Al	Ca	Fe	K	Li	Mg
Birim	-	mS/cm	mg/L								
KY[1]-1	9,32	5,21	2.600	1.725	132,3	148,5	T.E.[2]	T.E.[2]	143,1	1,40	1,75
KY[1]-2	9,23	2,01	1.050	639,4	43,75	T.E.[2]	115,7	T.E.[2]	13,41	0,44	0,86
KY[1]-3	9,12	0,89	448,0	384,8	34,80	0,35	9,750	0,050	50,45	34,9	9,85
KY[1]-4	8,99	0,37	189,0	86,83	6,763	0,09	26,16	0,101	5,983	0,27	2,96

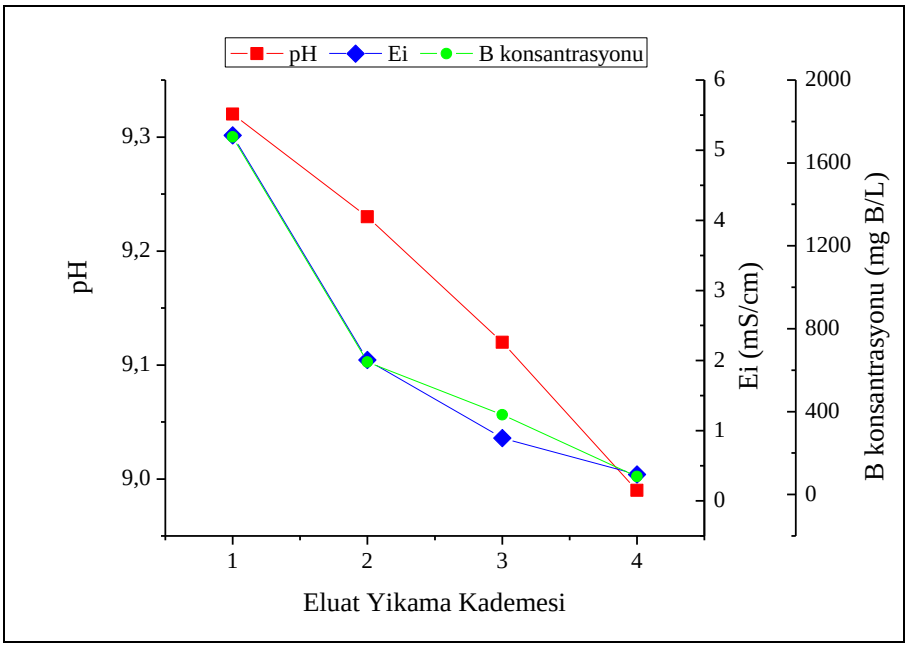
[1]KY: Kırka Yıkama [2]T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 5.20: Örneklenen Kırka Atığına Uygulanan 4 Kademeli Eluat Yıkama Prosedürü Kütle Dengesi Tablosu.

Kırka	Giren			Çıkan				
Kademe	Katı-sıvı ekstraksiyonu	Değerler		Kalan çözelti	Örneklenen[1]	Nem kaybı[2]	Kalan atık	
				Alınan süzüntü			Alınabilen atık	Filtre kâğıdında kalan kuru kil
			Birim	ml g		g		
AKY-1	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	49,20 49,05	ml g	21,00 21,04	15,00 15,03	13,45	1,99	
	1. Doygun eluatından alınabilen atık kil kalıntısı 1	2,46	ml g	36,00 36,07			1,84	0,15
	Toplam	51,51	g	51,51				
AKY-2	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	36,80 36,69	ml g	14,00 ±1.00 14,01	15,00 15,01	7,69	1,55	
	Alınan atık kil kalıntısı 2	1,84	ml g	29,00 29,02			1,48	0,07
	Toplam	38,53	g	38,53				
AKY-3	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	29,60 29,51	ml g	8,00 8,00	15,00 15,00	6,68	1,31	
	Alınan atık kil kalıntısı 3	1,48	ml g	23,00 23,00			1,13	0,18
	Toplam	30,99	g	30,99				
AKY-4	Çözücü hacmi (ultra-saf su)	22,60 22,53	ml g	4,00 4,00	15,00 15,00	3,66	1,00	
	Alınan atık kil kalıntısı 4	1,13	ml g	19,00 19,00				
	Toplam	23,66	g	23,66				

[1] Elementel analiz için alınan örnekler süzüntü çözeltisinden alınmıştır.
[2] Filtre kâğıdında ve süzülen atık bünyesinde kalan nemden kaynaklı kayıp

Kırka atığı eluatlarının eluat yıkama kademelerine göre pH, Ei ve çözünmüş bor konsantrasyonları değerleri değişimleri Şekil 5.17 içerisinde yer almaktadır.

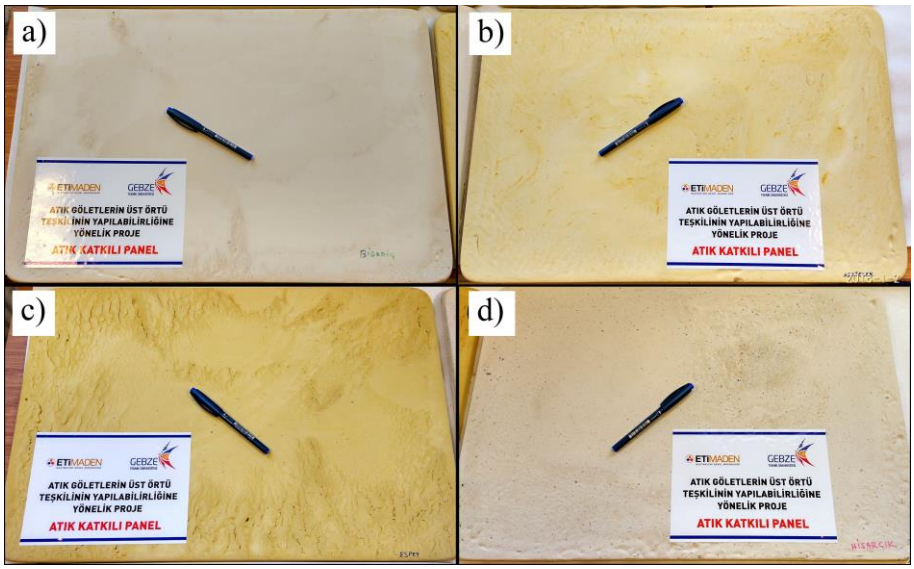


Şekil 5.17: Kırka Eluat Yıkama Kademelerine Bağlı Ei, pH ve B Salınımları.

Kırka atıklarına eluat yıkama prosedürü kademeli olarak uygulandıkça eluat Ei ve pH değerleri genel sürekli düşüş göstermiştir. Ei değerleri ile çözünmüş bor konsantrasyonları benzer eğilimde olup bu iki parametre değerleri arasında oldukça olumlu bir ilişki vardır.

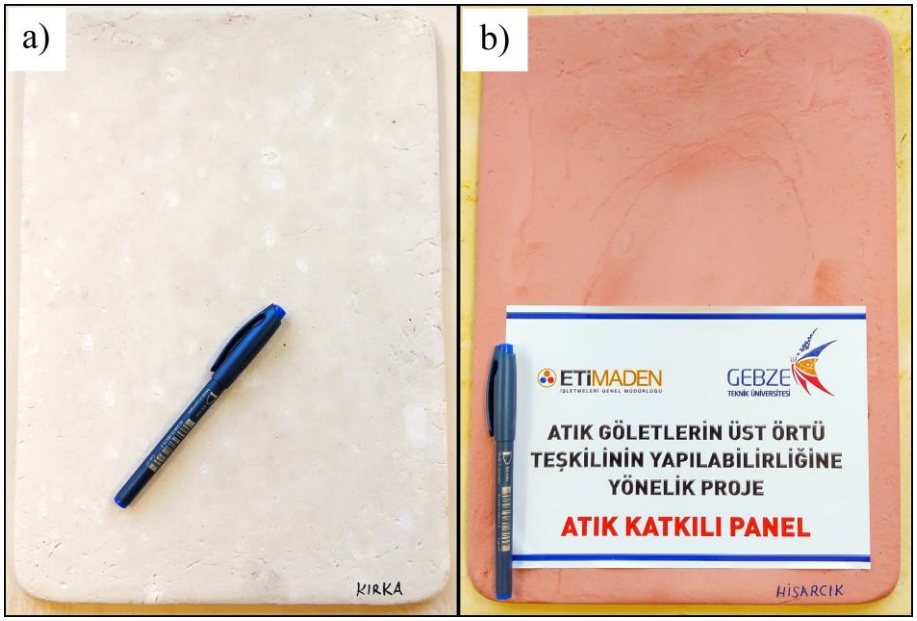
5.3. Atıklardan Panel Dökümü

Panel dökümleri söz konusu beş farklı bor madenciliği atıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş olup inşaat sektöründe potansiyel olarak kullanılabilecek ve geliştirilebilecek başarılı ürünler elde edilmiştir. Atık-alçı-su karışımı ile oluşturulan panellerin döküm işleminde bu karışımın kütlece oranları oldukça önem arz etmektedir. Alçı-atık oranı arttıkça paneller daha sağlıklı dökülebilmiştir. Atıklar bünyesinde yer alan killerin su tutma kapasitelerinin yüksek oluşu, söz konusu karışımın laboratuvar şartlarında kurumasını güçleştirmektedir. Şekil 5.18 içerisinde 40 cm x 60 cm x 1 cm (en x boy x kalınlık) boyutlarında Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık atıklarından oluşturulan paneller görülmektedir.



Şekil 5.18: a) Bigadiç, b) Kestelek, c) Espey, d) Hisarcık Atık Numunelerinden Dökülen 40 cm x 60 cm x 1 cm (en x boy x kalınlık) Boyutlu Panel Görselleri.

Kırka ve Hisarcık atıklarından oluşturulan 25 cm x 35 cm x 0,8 cm (en x boy x kalınlık) ebadındaki panel dökümleri ise Şekil 5.19 içerisinde görülmektedir.



Şekil 5.19: a) Kırka, b) Hisarcık Atık Numunelerinden Dökülen 25 cm x 35 cm x 0,8 cm (en x boy x kalınlık) Boyutlu Panel Görselleri.

Söz konusu beş farklı atıktan farklı boyutlarda başarılı panel dökümleri gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında panel dökümlerinde kullanılan bu yöntemin geliştirilmesi ile basınç mukavemeti, ısı-ses yalıtımı kapasiteleri, delinme

dirençleri, nem geçirimliliği gibi optimum fiziksel özelliklerde nihai ürünlerin oluşturulabileceği düşünülmektedir. Bor ihtiva eden paneller konvansiyonel yalıtım panellerine göre çok daha avantajlıdır. Daha iyi ısı ve ses yalıtımı özelliğinin yanı sıra, korozyon sorunu bulunmamaktadır. Radyoaktivite önleme-absorbe etme özelliği de bulunmaktadır. Ayrıca küf tutmaz ve kanserojen değildir. Bor elementinin söz konusu fiziksel ve kimyasal özellikleri ele alındığında panel şeklinde potansiyel yalıtım malzemesi olarak inşaat sektöründe kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında Türkiye'de yer alan beş farklı bor madenciliği atıklarının fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakterizasyonu belirlenmiş olup, bir katı-sıvı ekstraksiyonu yöntemi olan eluat prosedürü kademeli olarak kullanılarak, atıkların kontaminasyondan arındırılması amacıyla yıkanması ve bu atıklardan doygun çözelti oluşturulması ile bor geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu atıkların değerlendirilmesi kapsamında hafif yalıtım paneli döküm çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalar sonucunda, mineralojik taramalar ile Hisarcık atığında majör olarak kalsit minerali ve montmorillonit killeri, Espey atıklarında hidroborasit minerali, Kestelek atıklarında kalsit ve saponit, Kırka atıklarında çok yüksek konsantrasyonda tinkalkonit ve Bigadiç atıklarında kolemanit ve dolomit ağırlıklı minerallerin varlığı tespit edilmiştir. Tüm gölet atıklarında tane boyu oldukça düşük saptanmış olup bu durum söz konusu atık barajlarında porozite ve permeabilite değerlerini oldukça aşağı çekmektedir. Kimyasal analizler sonucu en yüksek bor içeriği Kırka atıklarında tespit edilmiştir. Yürütülen 4 kademeli doygun eluat prosedürü sonucu elde edilen son çözeltilerden sadece Kırka özelinde kristalleşme gerçekleşmiş olup kütlece % 75,23 oranında tinkal kristalleri şeklinde bor geri kazanımı sağlanmıştır. Ayrıca, eluat yıkama prosedürü ile Kırka atıklarından 5 kademede (1 kademe doygun eluatından gelen yıkama + 4 kademe eluat yıkama) % 99,16 verim ile bor geri kazanımı gerçekleştirilmiştir.

Eluat prosedürü ile yıkanan atıkların hâlihazırda yüksek oranda bor içerikleri genel olarak düşürülebilmiş; ancak yıkanma sürecinde negatif (-) yüklü killerin çözeltideki katyonları adsorplaması sonucu katyonların atıklardaki kil bünyesinde tutunarak varlığı devam etmiştir. Ayrıca, eluat testlerinde killerin varlığı iyon değiştirme süreçlerini de tetiklemiştir. Bu durum, kademeler boyunca pH ve Ei değerlerinin aşağı-yukarı yönlü salınmasına sebep olmaktadır. Son olarak alçı varlığında bor atıklarından yalıtım paneli döküm çalışmaları da başarı ile sonuçlandırılmıştır.

KAYNAKLAR

Abali Y., Bayca S.U., Targan S., (2006), "Evaluation of blends tincal waste, volcanic tuff, bentonite and fly ash for use as a cement admixture", Journal of Hazardous Materials, 131, 126-130.

Boncukcuoğlu R., Kocakerim M.M., Erşahan H., (1999), "Upgrading of the reactor waste obtained during borax production from tincal", Minerals Engineering, 12, 1275-1280.

Christogerou A., Kavas T., Pontikes Y., Koyas S., Tabak Y., Angelopoulos G.N., (2009), "Use of boron wastes in the production of heavy clay ceramics", Ceramics International, 35, 447-452.

Ediz N., Özdağ H., (1995), "An investigation into the possible use of kırka borax plant tailings in brick making", Madencilik Dergisi, sayı 34.

Eti Maden, (2012), Bigadiç konsantratör atıklarında katı sıvı ayırımı, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Projesi, Ankara

Eti Maden, (2013), Espey konsantratör tesisi atik göletleri kapatma planı, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Açık İşletme ve Konsantratör Birimi, Kütahya.

Eti Maden, (2014), Kestelek konsantratör tesisi atik göleti kapatma planı, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Kestelek Açık İşletme ve Konsantratör Birimi, Bursa.

Eti Maden, (2015), Hisarcık konsantratör tesisi atik göletleri kapatma planı, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık İşletme ve Konsantratör Birimi, Kütahya.

Eti Maden, (2016), Eti Bor İşletmeleri bor sektör raporu, Eti Bor İşletmeleri, Ankara.

Guray Kaya B.K., Karacaoglu E., (2006), "Utilizing of borax solid wastes in roof tile and brick bodies", Sohn International Symposium Advanced Processing of Metals And Materials 1, 535-543. August 27-31, San Diego, California, USA.

Kavas T., (2006), "Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick", Building and Environment 41, 1779-1783.

Kıpçak İ., Özdemir M., (2010), "Boron recovery from clay waste using Diaion CRB-02 resin", Environmental Technology 31, 327-335.

Kıpçak İ., Özdemir M., (2012), "Recovery of boron from the clay waste of boron industry by leaching", International Journal of Chemical Reactor Engineering.

Kula I., Olgun A., Sevinc V., Erdogan Y., (2002), "An investigation on the use of tincal ore waste, fly ash, and coal bottom ash as Portland cement replacement materials", Cement and Concrete Research 32, 227-232.

Olgun A., Erdogan Y., Ayhan Y., Zeybek B., (2005), "Development of ceramic tiles from coal fly ash and tincal ore waste", Ceramics International 31, 153-158.

Özdemir M., Kıpçak İ., (2003), "Boron recovery from borax sludge, boron industrial waste, by solid−liquid extraction", Industrial & Engineering Chemistry Research 42, 5256-5260.

Özdemir M., Kıpçak İ., (2007), "Boron recovery from borax sludge using solid–liquid extraction followed by sorption with a boron selective resin in column", Environmental Progress 26, 375-383.

Özdemir M., Kıpçak İ., (2010), "Recovery of boron from borax sludge of boron industry", Minerals Engineering volume 23, page 685-690.

Sinirkaya M., Kocakerım M.M., Boncukçuoğlu R., Küçük Ö., Öncel S., (2005), "Recovery of boron from tincal wastes", Industrial & Engineering Chemistry Research 44, 427-433.

Uslu T., Arol A.I., (2004), "Use of boron waste as an additive in red bricks", Waste Management 24, 217-220.

Yakar I., Gülen J., Özbek E., Pişkin S., (1999), Evaluation of solid wastes containing boron in cement industry, Proceedings of The International Conference On Solid Waste Technology And Management, 276-282, Philadelphia, USA, 12–15 December.

ÖZGEÇMİŞ

Betül EROĞLU, 29.11.1988 yılında İstanbul'da doğdu. Lisans öğretimini 2014 yılında Bahçeşehir Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2015-2016 güz yarıyıl döneminde Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Eroğlu B., Çelebi E.E., Öncel M.S., (2017), Bor madenciliği atıklarının karakterizasyonu ve değerlendirilmesi, Fen Bilimleri Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu-Tanıtım Günleri 2017. 17-18 Mayıs, Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli.