

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL BİR YAKMA FIRINININ ALT KÜLÜNDEN VE FİLTRE
KEKİNDEN KİMYASAL KAZANIM YÖNTEMİYLE METALİK DEĞERLERİN
ELDESİ**

İsmail AĞCASULU

**Danışman
Prof. Dr. Ata Utku AKÇİL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2014**

© 2014 [İsmail AĞCASULU]

TEZ ONAYI

İsmail AĞCASULU tarafından hazırlanan " **Endüstriyel Bir Yakma Fırınının Alt Külünden ve Filtre Kekinden Kimyasal Kazanım Yöntemiyle Metalik Değerlerin Eldesi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	Prof. Dr. Ata Utku AKÇİL Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Savaş ÖZÜN Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÖNEN Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İsmail AĞCASULU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon ve Amaç	1
1.2 Hipotez.....	7
1.3 Kapsam	8
2 KAYNAK ÖZETLERİ.....	9
2.1 Alt Köller	9
2.2 Alt Kölün Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri.....	10
2.2.1 Fiziksel özellikleri.....	10
2.2.1.1 Görsel sınıflandırma.....	11
2.2.1.2 Su ve nem içeriği.....	11
2.2.1.3 Demirli metal içeriği.....	12
2.2.1.4 Kızdırma kaybı.....	12
2.2.1.5 Gravimetrik özellikleri.....	13
2.2.1.6 Özgöl ağırlık.....	13
2.2.1.7 Birim ağırlık	13
2.2.2 Tane morfolojisi , mineralojisi ve alkalinitesi.....	14
2.2.2.1 Morfoloji	14
2.2.2.2 Mineralojisi	15
2.2.2.3 Alkali özelliği	16
2.2.3 İnorganik karakteristik özellikleri	17
2.2.3.1 Alt köllerdeki element varlığı.....	17
2.2.3.2 Ana (büyük) elementler	19
2.2.3.3 Tali (Küçük) element dağılımları	19
2.2.3.4 Oksijen bileşimli iz elementler	20
2.2.3.5 Diğer iz elementler.....	20
2.3 Filtre Kek.....	21
2.4 Endüstriyel Yakma Fırınları	21
2.4.1 Endüstriyel yakma fırınlarının önemi	22
2.4.2 Endüstriyel yakma fırını seçimi	25
2.4.3 Endüstriyel yakma fırınları işleyiş süreci	26
2.4.4 Endüstriyel yakma fırın tipleri	26
2.4.4.1 Döner fırınlar.....	27
2.4.4.2 Akışkan yataklı fırınlar.....	28
2.4.4.3 Izgaralı yakma fırınları.....	30
2.5 Literatürdeki Benzer Çalışmalar	31
3 İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma ve Yakma ve Değerlendirme A.Ş.)	42
3.1 Tesise Ait Genel Bilgileri	42

3.2	Tesisin Ana Bölümleri ve Akım Şeması	43
4	MATERYAL VE YÖNTEM	48
4.1	Malzemenin Karakteristik Özellikleri.....	48
4.2	Yöntem	52
4.2.1	Ön hazırlama işlemleri	52
4.2.2	Çözündürme ve analizler.....	57
4.3	Ön Liç Deneyleri (Kinetik testler).....	57
4.4	Ana Liç Deneyleri	60
4.4.1	Ana liç deneyleri tasarımı.....	62
4.4.1.1	Alt kül konsantre ürünü deney tasarımı	62
4.4.1.2	Alt kül artık ürünü deney tasarımı	64
4.4.1.3	Filtre kek konsantre ürünü deney tasarımı.....	66
4.4.1.4	Filtre kek artık ürünleri deney tasarımı	68
4.4.2	2 L reaktör deneyleri	70
5	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	72
5.1	Çözündürme ve Analiz Sonuçları	72
5.2	Ön Liç Deneyleri (Kinetik Test) Sonuçları	73
5.2.1	Kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçları	73
5.2.1.1	HCl ile yapılan kinetik testler	73
5.2.1.2	H ₂ SO ₄ ile yapılan kinetik testler	74
5.2.1.3	NaOH ile yapılan kinetik testler	75
5.3	Ana Liç Deneyleri Sonuçları	77
5.3.1	Alt kül konsantresi ana liç deney sonuçları.....	77
5.3.2	Alt kül artık ürünü ana liç deney sonuçları.....	83
5.3.3	Filtre kek konsantre ürünü ana liç deney sonuçları	88
5.3.4	Filtre kek artık ürünü ana liç deney sonuçları	91
5.4	2 L Reaktör Deney Sonuçları.....	95
5.4.1	Alt kül konsantre ürünü deney sonuçları	95
5.4.2	Alt kül artık ürününün deney sonuçları.....	96
5.4.3	Filtre kek konsantre ürününün deney sonuçları	97
5.4.4	Filtre kek artık ürününün deney sonuçları	98
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
	KAYNAKLAR	106
	ÖZGEÇMİŞ	115

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL BİR YAKMA FIRINININ ALT KÜLÜNDEN VE FİLTRE KEKİNDEN KİMYASAL KAZANIM YÖNTEMİYLE METALİK DEĞERLERİN ELDESİ

İsmail AĞCASULU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ata Utku AKÇİL

Endüstriyel yakma fırınları günümüzde birçok amaçla farklı süreçlerde kullanılmaktadır. Son yıllarda artan önemleriyle katı atık yakma tesisleri, bu fırınların kullanım alanını farklı bir boyuta taşıyarak, katı atıkların bertarafında ve aynı zamanda elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Yılda milyonlarca ton katı atık üretilen dünyamızda, katı atık yakma tesislerinin yaygınlaşmasıyla beraber bu fırınların yakma atıkları ile ilgili çeşitli faaliyetler de ortaya çıkmaktadır. Bu tesislerin çıkardığı alt küller ve filtre kek bu aşamada dikkat çekmekte, yapılan çalışmalarda yakılan atığın cinsine bağlı olmakla beraber önemli ölçüde metalik değere sahip olduğu görülmektedir.

Küllerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde önemli bir ikincil hammadde kaynağı olabilecekleri görülmüştür. Bu kapsamda tez çalışması boyunca önemli görülen metallerin hdirometalurjik bir süreçle geri kazanımı amaçlanmıştır. Cu, Fe, Mo, Ni, Zn ve V gibi metallerin, asidik ve alkali çözücülerle belirli konsantrasyonlarda ve farklı katı/sıvı oranlarında deneysel tasarımları oluşturularak çözeltiye alınan miktarları araştırılmıştır.

Çalışmaların sonucunda, alt külde H_2SO_4 ile yapılan deneyler sonucunda % 28 Cu, % 37 Fe, % 37 Ni, % 88 Mo ve % 82 V kazanımı elde edilmiştir. Filtre kekte ise H_2SO_4 ile yapılan deneylerde % 36 Zn elde edilirken, HCl ile % 23 Cu ve % 18 Fe kazanımları elde edilmiştir. NaOH liçi verimleri istenilen düzeylerde gerçekleşmezken, asit liçi deneyleriyle özellikle H_2SO_4 uygun ve ekonomik çözücü olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yakma fırını, alt kül, filtre keki, kimyasal kazanım, metal kazanımı

2014, 115 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Recovery of Metallic Values From Bottom Ash and Filter Cake of An Industrial Incineration Furnace by Chemical Recovery Method

İsmail AĞCASULU

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ata Utku AKÇİL

Nowadays, industrial furnaces are used for several purposes in different processes. In recent years, the growing importance of the solid waste facilities changed the usage of these incineration furnaces like electrical energy production besides the solid waste disposal. In the world, million tons of solid wastes are annually produced, various utility areas are emerged relative with the incineration wastes of these furnaces by the widespreading of the solid waste burn facilities. The bottom ashes extracted from the facilities attract attention in that stage and in the studies, it is seen that they possess quite essential metallic value depending on the type of the incinerated waste.

When the chemical composition of ashes are assessed, it has been observed that they would be an important resource of secondary raw material. Within this scope, during the thesis study, it is aimed to recover the important metals by using hydrometallurgical process. Experimental designs are prepared within different pulp concentrations and variety of acidic and alkaline reagent concentrations for the residues in the solutions, metals which are Cu, Fe, Mo, Ni, Zn and V are searched.

The findings of the study are; H_2SO_4 leaching of the bottom ash 28 % Cu, 37 % Fe, 37 % Ni, % 88 Mo and % 82 V extraction of yield was achieved. At filter cake leaching with H_2SO_4 36 % Zn and leaching with HCl 23 % Cu and % 18 Fe extraction yield are obtained. Whereas alkaline leaching yield couldnt be obtained at the expected levels, acidic reagents, especially H_2SO_4 , are investigated as proper reagent in an economical way of leaching.

Keywords: Industrial incineration furnace, bottom ash, filter cake, chemical recovery, metal recovery

2014, 115 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Ata Utku AKÇİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Literatür araştırmalarımnda yardımcı olan değerli hocam Okt. Dr. Ayşenur TUNCUK' a, laboratuvar çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen Kimyager-Biyolog Ceren ERÜST'e, cevher hazırlama aşamasındaki yardımlarından dolayı Maden Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden İbrahim ASLAN, Cesaret ŞİRALİYEV ve Yılmaz ERDİK'e teşekkür ederim.

Görev yapmakta olduğum Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümündeki çalışma arkadaşım Arş. Gör. Deniz AKBAY'a desteğinden dolayı teşekkür ederim.

OYP05275-YL-12 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin laboratuvar çalışmaları aşamasında kullanılan numuneleri temin etmemize olanak sağlayan İZAYDAŞ A.Ş' ye ve Onur ULUDAĞ'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca ve tez çalışmalarımın her aşamasında beni destekleyen sevgili aileme ve müstakbel hayat arkadaşım Hülya TEK'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İsmail AĞCASULU
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Atık Hiyerarşisi	3
Şekil 2.1. Alt küllerin SEM fotoğrafları (a,b) ve petrografik ince kesit fotoğrafları (c,d)	15
Şekil 2.2. EU27 bölgesinde atık yönetimi	24
Şekil 2.3. EU27 bölgesinde 2001-2011 yılları arasındaki atık yönetimi trendi.....	24
Şekil 2.4. Döner fırının şematik gösterimi	28
Şekil 2.5. Akışkan yataklı yakma fırınının şematik gösterimi	29
Şekil 2.6. Izgaralı yakma fırınının şematik gösterimi	31
Şekil 3.1. İZAYDAŞ' ın genel görünümü	43
Şekil 3.2. İZAYDAŞ' da tipik bir atık yakma menüsü	44
Şekil 3.3. İZAYDAŞ yakma üniteleri ve akım şeması	45
Şekil 4.1. Alt kül numunesinin içeriğinin belirlenebilmesi için uygulanan XRD sonuçları.....	50
Şekil 4.2. Filtre kek numunesinin içeriğinin belirlenebilmesi için uygulanan XRD sonuçları	51
Şekil 4.3. Boyut küçültme işlemlerinde kullanılan merdaneli kırıcı.....	52
Şekil 4.4. Alt külün elek analizi sonucu kümülatif boyut dağılımı grafiği	54
Şekil 4.5. Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı	55
Şekil 4.6. Alt kül numunelerine ait tane boyut dağılım grafiği	56
Şekil 4.7. Filtre kek numunelerine ait tane boyut dağılım grafiği	56
Şekil 4.8. Agilent 240FS AA marka AAS cihazı	57
Şekil 4.9. Kinetik test deney düzeneği ve örnek tüpleri	59
Şekil 4.10. Ana liç deneyleri 4'lü çalışma.....	61
Şekil 4.11. Çözeltilerin filtrasyonu ve sıvı örnek alımı	61
Şekil 4.12. Kgw Isotherm marka 2 lt reaktör	70
Şekil 5.1. HCl ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği	74
Şekil 5.2. H ₂ SO ₄ ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği	75
Şekil 5.3. NaOH ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği	76
Şekil 5.4. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	78
Şekil 5.5. H ₂ SO ₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	80
Şekil 5.6. NaOH liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	81
Şekil 5.7. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	84
Şekil 5.8. H ₂ SO ₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	86
Şekil 5.9. NaOH liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	87
Şekil 5.10. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	89
Şekil 5.11. H ₂ SO ₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	90
Şekil 5.12. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	92
Şekil 5.13. H ₂ SO ₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi	94
Şekil 5.14. Alt kül konsantre ürününün kazanım verimine sıcaklık etkisi	95
Şekil 5.15. Alt kül artık ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi	97
Şekil 5.16. Filtre kek konsantre ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi ...	98
Şekil 5.17. Filtre kek artık ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi	99
Şekil 6.1. Yapılan çalışmalar ve önerilen süreçlerin akım şeması.....	104
Şekil 6.2. Yapılan çalışmalar ve önerilen süreçlerin akım şeması (Devamı).....	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Metal konsantrasyonların tesis ve doğadaki karşılaştırılması.....	4
Çizelge 1.2. Tesislerin küllerinin karakterizasyonu	5
Çizelge 1.3. Tez çalışması kapsamındaki başlıca aşamalar	8
Çizelge 2.1. Alt küllerin genel içerikleri.....	9
Çizelge 2.2. Alt Küllerin Mineralojik Çeşitlilikleri	16
Çizelge 2.3. Alt küllerin, yerkabuğunun ve toprak örnekleri kompozisyonlarının karşılaştırılması	18
Çizelge 2.4. Japonya'daki katı atık yakma tesisleri atıklarındaki metal miktarları	32
Çizelge 2.5. Lastik atığı külü	33
Çizelge 2.6. Seçimli kazanım için uygulanan reaktifler	33
Çizelge 2.7. Üç farklı fırın tipinin alt külünün kimyasal kompozisyonu	34
Çizelge 2.8. Liç testleri sonucu elde edilen metal içerikleri.....	34
Çizelge 2.9. Üç farklı çözeltiyle yapılan liç işlemi sonucu ortaya çıkan metal içerikleri.....	35
Çizelge 2.10. Petiou tesisi alt küllerindeki metal içerikleri.....	36
Çizelge 2.11. Diğer çalışmalarla ilgili karşılaştırmalar.....	37
Çizelge 2.12. Atıkların yanmadan önceki metal içerikleri	38
Çizelge 2.13. Kimyasal yöntemlerle alt külünden metal kazanımı ile ilgili literatürde yapılan bazı önemli çalışmalar.....	40
Çizelge 4.1. Alt küllerdeki ve filtre kekindeki metal içeriklerin ppm ve % miktarları	48
Çizelge 4.2. Alt küllerin elek analizinde kullanılan elek serisi.....	53
Çizelge 4.3. Elek analizleri sonuçları	53
Çizelge 4.4. Kinetik testlerde kullanılan parametreler	58
Çizelge 4.5. Ana liç deneyleri çalışma parametreleri.....	60
Çizelge 4.6. Alt kül konsantre ürünü HCl liçi deney tasarımı.....	62
Çizelge 4.7. Alt kül konsantre ürünü H ₂ SO ₄ liçi deney tasarımı.....	63
Çizelge 4.8. Alt kül konsantre ürünü NaOH liçi deney tasarımı.....	63
Çizelge 4.9. Alt kül artık ürünü HCl liçi deney tasarımı.....	64
Çizelge 4.10. Alt kül artık ürünü H ₂ SO ₄ liçi deney tasarımı	65
Çizelge 4.11. Alt kül artık ürünü NaOH liçi deney tasarımı	65
Çizelge 4.12. Filtre kek konsantre ürünü HCl liçi deney tasarımı.....	66
Çizelge 4.13. Filtre kek konsantre ürünü H ₂ SO ₄ liçi deney tasarımı.....	67
Çizelge 4.14. Filtre kek konsantre ürünü NaOH liçi deney tasarımı.....	67
Çizelge 4.15. Filtre kek artık ürünleri HCl liçi deney tasarımı.....	68
Çizelge 4.16. Filtre kek artık ürünü H ₂ SO ₄ liçi deney tasarımı.....	69
Çizelge 4.17. Filtre kek artık ürünü NaOH liçi deney tasarımı.....	69
Çizelge 4.18. Alt kül ürünleri için 2 L reaktör deney tasarımı.....	71
Çizelge 4.19. Filtre kek ürünleri için 2 L reaktör deney tasarımı	71
Çizelge 5.1. Çözündürme ve analiz sonuçları	72
Çizelge 5.2. HCl ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçlar	74
Çizelge 5.3. H ₂ SO ₄ ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçlar	75

Çizelge 5.4.	NaOH ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçlar	76
Çizelge 5.5.	Alt kül konsantre ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	77
Çizelge 5.6.	Alt kül konsantre ürünü H ₂ SO ₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	79
Çizelge 5.7.	Alt kül konsantre ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	81
Çizelge 5.8.	Alt kül artık ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	83
Çizelge 5.9.	Alt kül artık ürünü H ₂ SO ₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	85
Çizelge 5.10.	Alt kül artık ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	86
Çizelge 5.11.	Filtre kek konsantre ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	88
Çizelge 5.12.	Filtre kek konsantre ürünü H ₂ SO ₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	89
Çizelge 5.13.	Filtre kek konsantre ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	91
Çizelge 5.14.	Filtre kek artık ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	92
Çizelge 5.15.	Filtre kek artık ürünü H ₂ SO ₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	93
Çizelge 5.16.	Filtre kek artık ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	94
Çizelge 5.17.	Alt kül konsantre ürünü 2 L reaktör deneyi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları	95
Çizelge 5.18.	Alt kül artık ürününün 2 L reaktör deneyleri metal konsantrasyonları ve kazanım verimi	96
Çizelge 5.19.	Filtre kek konsantre ürününün 2 L reaktör deneyleri metal konsantrasyonları ve kazanım verimi	97
Çizelge 5.20.	Filtre kek artık ürününün 2 L reaktör deneyleri metal konsantrasyonları ve kazanım verimi	98
Çizelge 6.1.	Konsantre ürünlerde kalan metallerin yüzde miktarları	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi
d/dk	Dakikada Döner Devir Sayısı, Karıştırma Hızı
dk	(Dakika) Zaman Birimi
g/L	Konsantrasyon Birimi
K	Liç Sıcaklığı
K/S	Katı/Sıvı Oranı
L	Litre
mg	Konsantrasyon Birimi
M	Molarite- Asit, Baz Konsantrasyon Birimi
ORP	Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
Ppm	Milyonda Bir
sa	(Saat) Zaman Birimi
S.E.	Spesifik Etki
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
T	Toplam
TCLP	Toksisite Liç Prosedürü
XRD	X-Işını Kırınımı

1 GİRİŞ

1.1 Motivasyon ve Amaç

Küresel nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak birçok metalin üretim miktarlarında ciddi artışlar olmaktadır. Bu artışlar özellikle Cu, Zn ve Pb gibi metallerde görülmektedir. Son yıllarda Ga, Ge ve Pd gibi nadir elementlerin de ileri teknoloji içeren endüstri kollarında rağbet görmesiyle beraber birincil kaynaklardan metal üretimi artmaya devam etmektedir (Jung ve Osako, 2009).

Ana kaynakların sınırsız olmadığı dünyamızda ana kaynakları elinde bulunduran ülkelerin üretim ve dağıtım politikaları çerçevesinde bu kaynaklara erişim olanakları ve maliyetleri de dalgalı bir süreç sergilemektedir. İstikrarlı bir endüstriyel gelişime sahip olmak isteyen ülkeler ise bu kararsız ve dalgalı ortamlardan mümkün olduğunca az etkilenmek için metal kaynaklarını çeşitlendirmeli ve kendi üretim politikalarını geliştirmelidirler (Guinée, 1999).

Sınırlı kaynaklara sahip olan ülkeler için ikincil üretim kaynaklarına yönelmek çözüm süreci için önemlidir. İkincil üretim kaynaklarının en önemlilerinden biri de şehir madenleri olarak adlandırılan atıklardır (Jung ve Osako, 2009).

Kaynakların etkin kullanılmasının yaygınlaşmasıyla Avrupa Birliğinde Avrupa Komisyonu tarafından arz talep dengesinin kritik olduğu değerli ve nadir toprak elementleri ile ilgili çalışma grubu oluşturularak, ekonomiklik, tedarik riski ve çevresel etkiler açısından değerlendirme yapılarak 15 adet (Be, Co, Ga, Ge, In, Mg, Nb, Ta, W, PGM (Pt, Pd, Rh, Ru, Os, Ir)) değerli metal ve nadir toprak elementi belirlenmiştir. İstikrarlı bir hammadde tedariği ve kaynak çeşitliliğinin artırılması için atıkların yeni hammadde kaynakları olarak kullanabilmesinin önem kazandığı ortaya çıkmıştır (Morf, 2012).

Bir maddenin atık olarak tanımlanması için bu maddenin son kullanım süresi geçmiş, sahibi tarafından kullanılmayan, standart dışı, kimyasal veya fiziksel yapısı değişmiş, artık amacına yönelik kullanımı mümkün olmayan, içerisine başka madde karışmış, üretimden kaynaklanan artık veya yasalar ile kullanımı yasaklanmış olması gerekmektedir (Ölmez, 2010).

Atıklar teknolojik ve sosyal gelişmelere bağlı olarak insani gelişme ile de ilişkilidir. Endüstriyel gelişme ve kullanılan malzemelerde meydana gelen değişmelere bağlı olarak zaman içinde atıkların ortaya çıkışı değişkenlik göstermiştir. Örneğin plastik ve nükleer teknolojinin doğuşuyla yeni atık türleri ortaya çıkmıştır. Bazı atık türleri ise ekonomik değerine bağlı olarak geri dönüşüm sürecine tabii tutulmaktadır. Atık yönetimi çerçevesinde atıklar özelliklerine göre aşağıdaki gibi çeşitlere ayrılmışlardır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002);

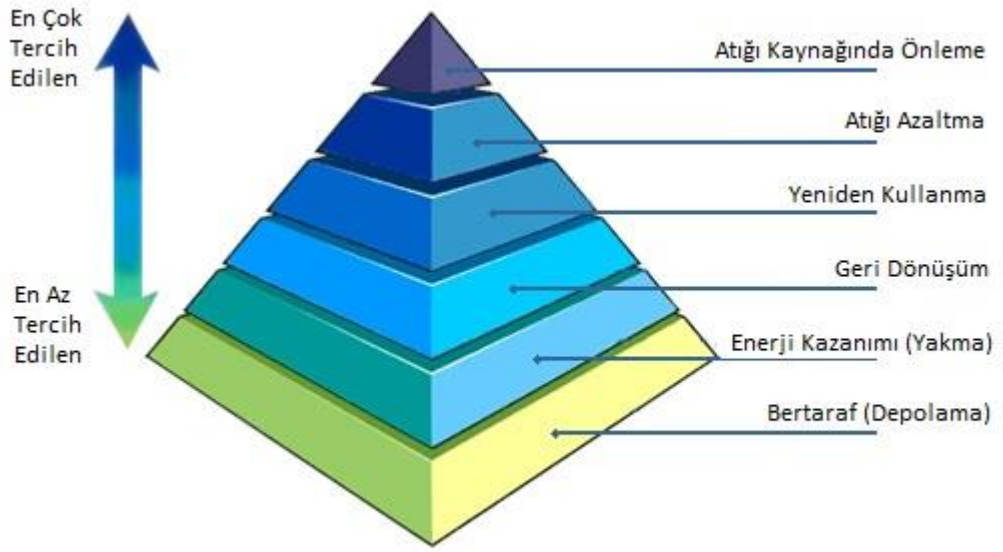
- Evsel, ticari ve inşaat atıkları,
- İnsan sağlığını tehdit eden tehlikeli endüstriyel atıklar,
- Tıbbi atıklar,
- Nükleer ve patlama riski taşıyan atıklar.

Sürekli gelişen ve tüketen dünyamızdaki artan atık miktarını çevresel ve ekonomik faktörleri ele alarak kontrol etme isteğimiz atık yönetimi kavramını ortaya çıkarmıştır. Atık yönetimi belirli bir atık hiyerarşisi çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu hiyerarşiye göre atıkların bertarafı istenilen ölçütlere göre basamaklara ayrılmıştır. Bu basamaklar temel olarak üç ana unsur etrafında şekillenmiştir. Bunlar; atık miktarını azaltma, geri dönüşüm ve yeniden kullanmadır. Atık yönetim sistemi yıllardır uygulanan yöntemlerden ve yeni yeni gelişmeye başlamış süreçlerle ve çözüm önerileri birlikte ele alınmaktadır. Atık yönetiminin aşamaları;

- Atığı kaynağında önleme,
- Atık azaltma,
- Yeniden kullanma,

- Geri dönüşüm,
- Atıktan enerji kazanımı (Yakma),
- Bertaraf (Depolama).

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi atık yönetimini hiyerarşik düzende incelediğimizde mevcut durumda var olan şekli ile daha sürdürülebilir, ekonomik ve çevresel etkiler açısından arzu edilenlerle kıyaslamayı, piramit şeklinde ortaya koyarız.



Şekil 1.1. Atık hiyerarşisi (IGD, 2013)

Piramitin en altında en fazla kullanılan ama en az tercih edilmesi gereken depolama işlemi yer alırken üstlere çıktıkça katma değer yaratan süreçlerle karşılaşırız. Enerji üretimi, geri dönüşüm ve yeniden kullanma basamakları en çok üzerinde durmamız gereken süreçlerdir (IGD, 2013).

Atıklardan enerji ve hammadde geri dönüşümünü sağlayan en etkili yöntem atıkların yakılmasıdır. Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken, atık içerisinde bulunan ve işlem

sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2000).

Yanma sonucu atık olarak çıkan malzemelerin ağırlıkça oranları tüm bu proseslerde büyük oranlarda benzerlikler göstermektedir. Atık malzemenin ana kısmını % 40'lık oranla kül ve cüruf yapısı oluşturmaktadır. Bu küller alt külü ve uçucu kül olarak nitelendirilir ve katı atığın yaklaşık % 10-15'lik kısmı alt külü ve % 2-3'lük kısmı ise uçucu küllerden oluşmaktadır (Chang ve Wey, 2006).

Süreç sonucu oluşan alt kül beraberinde de çeşitli sorunları ortaya getirmektedir. Bu sorunların başlıca olanı bu alt küllerin depolanması ile ilgilidir. Depo alanlarının kısıtlı olması ve işletmenin karmaşık bir düzene sahip olması sürecin zorluklarından. Asıl kaygı uyandıran sorun ise bu alt küllerin, yakılan ürünün bileşimine bağlı olarak, değişen miktarlarda tehlikeli ve toksik maddeler ile büyük oranda ağır metal içeriğidir. Düzgün depolama şartları sağlanmadığında bu maddelerin çevreye ve insan sağlığına zararlı etkilerde bulunması kaçınılmaz olmaktadır (Chimenos vd., 1999; Sabbas vd., 2003; Rendek vd., 2006).

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan araştırmalarda katı atık yakma tesislerinin alt küllerinin bazı metaller için, doğadaki cevherlerinden daha fazla konsantrasyona sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 1.1'de bir katı atık yakma tesisinin alt küllerinde bulunan bazı metaller ile bu metallerin doğadaki bulunma oranları karşılaştırılmıştır (Kuo vd., 2007).

Çizelge 1.1. Metal konsantrasyonların tesis ve doğadaki karşılaştırılması (Kuo vd., 2007)

Metal	Tesiste, %	Doğada, %
Cu	1,29	0,15-0,2
Zn	2,21	0,17-4
Pb	0,58	0,5-4

Yapılan çalışmalardaki tesise ait alt küller incelendiğinde Cu, Zn ve Pb'nin alt kllerdeki konsantrasyonu ağırlıkça sırasıyla % 1,29, % 2,21 ve % 0,58 olarak belirtilirken (Kuo vd., 2007) bu metallerin doğada buldukları tenörler ise sırasıyla yaklaşık olarak % 0,15-0,20, % 0,17-4, % 0,5-4 olarak belirtilmektedir (Zeltner ve Lichtensteiger, 2002).

Dünyanın birçok yerindeki çeşitli tesislerin külleri karakterize edilmiş ve izelge 1.2'deki sonuçlar ortaya konmuştur. Alt küller çoğunlukla Cr, Cu, Ni ve Pb gibi potansiyel toksik elementlerden oluşmaktadır. Uçucu küllerde ise As, Cd, Hg, Pb, Sb ve Zn gibi belli metallerin zenginleştiği görülmektedir.

Çizelge 1.2. Tesislerin küllerinin karakterizasyonu (Chandler vd., 1997)

Element	Alt Külü, ppm	Uçucu Külü, ppm
Al	22.000–73.000	49.000–90.000
Ca	370–123.000	74.000–130.000
Fe	4.100–150.000	12.000–44.000
K	750–16.000	22.000–62.000
Mg	400–26.000	11.000–19.000
Na	2.800–42000	15.000–57.000
Si	91.000–308.000	95.000–210.000
Cl	800–4200	29.000–210.000
S	1.000–5.000	11.000–45.000
As	0,1–190	37–320
Ba	400–3.000	330–3.100
Cd	0,3–70	50–450
Cr	23–3.200	140–1.100
Cu	190–8.200	600–3.200
Hg	0,02–8	0,7–30
Mn	80–2.400	800–1.900
Mo	2–280	15–150
Ni	7–4.200	60–260
Pb	100–13.700	5.300–26.000
Sb	10–430	260–1.100
V	20–120	29–150
Zn	610–7.800	9.000–70.000

Yakma sonucu hangi metalin külün hangi kısmında ayrıldığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, klorür formuna sahip Cd ve Pb gibi elementler uçucu kül

kısımında toplandı, oksit formuna sahip olan Al ve Si gibi elementlerin ise çoğunlukla alt küllünde kaldığı görülmüştür (Fedje, 2010).

Bu tesislerin atık olarak nitelendirdikleri alt külleri günümüzde hiçbir işleme tabi tutulmadan inşaat sektöründe beton katkısı olarak veya karayolu yapımında agrega olarak kullanılabilir (Wiles, 1996). Ancak alt küllerin içerikleri incelendiğinde aslında oldukça önemli bir geri dönüşüm ve geri kazanım kaynağı olabilecekleri görülmüştür. Yıllık üretim miktarları da dikkate alındığında bu küllerin ikincil metal kazanım kaynağı olarak kullanılabilirliği görülmektedir (Simon, 1996).

Avrupa'daki katı atık yakma tesislerinin alt külleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, bu küllerden yılda 2 milyon ton demir kazanılabileceği ve bu miktarın da yıllık demir üretiminin % 1'ine karşılık geldiği görülmüştür (Muchova, 2011).

İkincil kaynakların geri kazanımı konusunda geleneksel olan pirometalürjik veya hidrometalürjik yöntemler kullanılabilir. Pirometalürjik yöntemlerin ekonomik ve çevresel etkileri açısından büyük dezavantajlarının olması hidrometalürjik uygulamaları önemli hale getirmiştir. Alt küllerin kimyasal yapıları çok çeşitli olduğundan içerisinde birçok safsızlığı barındırırlar. Bu safsızlıkların içinde seçimli kazanım gerçekleştirmek kimyasal yöntemlerle mümkün olmaktadır. Az miktarda bulunan değerli metallerin kazanımı da kimyasal yöntemler sayesinde uygulanabilir hale gelmektedir (Jha, 2000).

Fiziksel yöntemlerle alt küllerden metal kazanımı uygulamalarının manyetik alan oluşturarak demirli metallerin kazanımıyla sınırlı kalması milyonlarca ton atık alt küllünün atıl kalmasına neden olmaktadır. Fiziksel ayırma ve zenginleştirme yöntemleriyle kazanmanın mümkün olmadığı metal içeriklerin çeşitliliği ve miktarları göz önünde bulundurulduğunda farklı yöntemlerin uygulanması zorunlu hale gelmiştir. Uygulanan geleneksel yöntemlerle elde edilen verim düşüklüğü ve çoğu metal için ekonomik süreçlerin oluşturulamaması bu değerlerin kazanılmasını önlemiştir. Çoğu zaman alt küllerin ne denli zengin ikincil kaynaklar olduğunun bilinmemesinden dolayı bu konu üzerine yapılan çalışmalar yeterli değildir.

Bu tez kapsamında, alt küllerin ve filtre kekin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenerek içeriğindeki metalik değerler ortaya konulmuştur. Bu metallerin doğada ve cevherlerinde bulunan miktarlarına göre geri kazanılabilir olup olmadıkları ve etkili kazanma verimleri belirlenmiştir. Alt küllerden metalik değerleri kazanmak amaçlanırken kimyasal kazanım (liç) yöntemleri incelenmiştir. Liç deneylerinde asit/baz derişimleri, katı/sıvı oranı, sıcaklık, karıştırma süresi gibi parametreler incelenmiştir.

Bu yüksek lisans teziyle, fiziksel ve geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen veya düşük verimde elde edilebilen alt küllerdeki metalik değerlerin, alternatif kazanım yöntemlerini geliştirerek en uygun kimyasal liç koşullarının belirlenmesi (çözücü, katı/ sıvı oranı, sıcaklık, karıştırma liçi süresi vs.) ve laboratuvar çapta bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Hipotez

Tez çalışmalarında, İZAYDAŞ A.Ş.' (Kocaeli) den alınan alt kül ve filtre kek numuneleri kullanılmıştır. İZAYDAŞ A.Ş.' de tesisin yakma planına göre gerçekleşen adımlardan biri olan döner fırın çıkışından alınacak olan alt küllerin kimyasal bileşim olarak yakılan malzeme ile ilişkisi olduğu bilinmektedir. Tesis tehlikeli atık ve endüstriyel atık sınıfına giren tipte atıkları kabul etmektedir. Proses süresince bu atık kompozisyonu emisyon ve kalorifik değerlerine göre en uygun reçete ile yakılmaktadır. Yakılan ürünler endüstriden kaynaklanan yanabilir nitelikte plastik atıklar, kullanılmış yağlar, ilaç ve kozmetik atıkları, petrokimya atıkları, PVC, solvent, boya atıkları, yapıştırıcı, arıtma çamuru gibi malzemeler olduğundan bu küllerin bileşiminde Al, Fe, Cu, Cd, Ni, Pb, Ti, V ve Zn gibi metallerin bulunacağı bilinmektedir.

Ön testler etkin liç deneysel koşulların uygulanabilmesi için, kimyasal liç testleri ise asit ve alkali liç deneyleri olmak üzere katı/ sıvı oranı, sıcaklık, karıştırma liçi süresi gibi parametrelerin çeşitli çözücülerle uygulanması ile gerçekleştirilmiştir.

1.3 Kapsam

Çalışmaların yürütüldüğü aşamalar literatür çalışmalarını da kapsayan dört ana aşamadan oluşmaktadır. Literatürde daha önce yapılmış olan benzer çalışmalar irdelenerek ve bu çalışma için yeni şartlar kurgulanmıştır. Laboratuvar çalışmaları ise numunelerin temini, karakterizasyonu ve hazırlanması, fiziksel ve kimyasal ön işlemler, kimyasal liç işlemlerini kapsamaktadır. Çalışmaların kapsamı ve akım şeması Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Tez çalışması kapsamındaki başlıca aşamalar

Faz No	Amaç	Kapsam
1	<ul style="list-style-type: none">Literatür çalışmalarıÇalışılacak olan numunelerin teminiNumunelerin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya konması	<ul style="list-style-type: none">Literatür taraması yapılarak benzer çalışmalar incelenmiş Dünya ölçeğinde faaliyet gösteren tesislerin külleriyle karşılaştırmalar yapılmasıİZAYDAŞ A.Ş.' den örneklerinin alınmasıAAS ve XRD analizleri ile detaylı kimyasal ve mineralojik yapıların belirlenmesi ve metal içeriklerin ortaya konması
2	<ul style="list-style-type: none">Ön hazırlama işlemleriÖn zenginleştirme işlemleri	<ul style="list-style-type: none">Numunelerin kimyasal işlemler için uygun boyutlara getirilmesi (Merdaneli Kırıcı ile kırma ve eleme)Numunelerin manyetik özelliğinden yararlanarak ilk aşamada fiziksel yöntemlerle kazanılabilen manyetik değerlerin ayrılması
3	<ul style="list-style-type: none">Kinetik testlerin yapılmasıKimyasal liç testleriNihai liç testleri	<ul style="list-style-type: none">Ana test parametrelerinin belirlenebilmesi için kinetik testlerin yapılmasıAna testlerde asit ve baz liçi deneyleriyle katı/sıvı oranı, karıştırma süresi gibi parametrelerin denenmesiOptimum liç test koşullarının belirlenmesi
4	<ul style="list-style-type: none">Verilerin derlenmesiSonuçların değerlendirilmesiAkım şemasının geliştirilmesi	<ul style="list-style-type: none">Liç deneyleri sonucu elde edilen verilerin düzenlenmesiElde edilen sonuçların yorumlanması ve karşılaştırmalarının yapılmasıKarşılaştırmalı sonuçların değerlendirilmesiyle alt küllerden metalik değerlerin eldesi için uygun akım şemasının ortaya konması

2 KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Alt Küller

Alt külü, endüstriyel amaçla kullanılan yakma fırınlarının ürettiği katı artıklardan miktarca en fazla olanıdır. Alt külünün artıktaki miktarı yakma ünitesinin dizaynına, prosesin şartlarına ve beslenen atığın karakterizasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Yakılan atığın yaklaşık olarak % 10-35 'lık kısmını alt külü oluşturmaktadır (Bawkon, 1991; Sabbas vd., 2003; Kuo vd, 2007).

Alt külü, demirli ve demirli olmayan metaller, seramik, cam ve yanmayan organiklerden oluşan heterojen bir karışım olarak yaş veya nemli olarak çıkmaktadır. Yanmamış iri parçalardan arındırıldığında gözenekli grimsi iri kum taneli görünüm sergilemektedir (Wiles ve Shepherd, 1999; Gwang-Suk, 2006).

Yakma işlemine tabi tutulan malzemenin yaklaşık % 20-30'unu oluşturan alt külü diğer ürünlerden biri olan uçucu küllere oranla daha az zararlı toksik madde içermektedir (Yao vd., 2010).

Alt küllerin bileşimi yakılan atıkların cinsine ve çeşitliliğine göre değişmektedir. Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi genel olarak 1 ton alt külde % 80-85 mineral yapı, % 10-15 metal içerik, % 3-5 demir dışı metaller ve % 3'den daha küçük miktarda yanmamış malzeme bulunur (Waste Management World, 2011).

Çizelge 2.1. Alt küllerin genel içerikleri (Waste Management World, 2011)

İçerik	Miktar, %
Mineral Fraksiyon	80-85
Metal	10-15
Demir Dışı Metal	3-5
Yanmamış Malzeme	<3

Alt küller günümüzde hiçbir işleme tabi tutulmaksızın veya çok basit fiziksel işlemlerden geçirilerek dolgu malzemesi, beton agregası veya karayolu yapımında

kullanılmaktadır (Wiles, 1996). Ancak alt küller elde edildikleri malzemenin içeriğine bağlı olarak birçok metalik değeri de bünyesinde barındırırlar. Bu metalik değerler birçok tesiste ekonomik olarak değerlendirilebilir miktarlara ulaşabilmekte (Kuo vd., 2007).

2.2 Alt Külün Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

2.2.1 Fiziksel özellikleri

Alt küller, çoğunlukla grimsi görünümde gözenekli, kumlu ve çakıl biçimindedir. Boyutları ince çakıl boyutundan ince kuma kadar çok az oranda da siltli kil boyutunda dağılım gösterir. Eleme yapıldığında % 50-90 oranında 4,75 mm'nin altına kum boyutuna ve % 10 oranında da 0,075 mm'nin altına geçebilmektedir. İri boyutlu alt küller ise 19 mm ile 38,1 mm arasındadır. Alt küller düzgün bir boyut dağılımına sahiptirler (Benson ve Bradshaw, 2011).

Alt küllerin genel yapısının bilinmesi onların doğru alanlarda değerlendirilmesi ve kendine benzer özellikler gösteren yer kabuğu veya agrega özellikleri gösteren malzemelerle kıyaslanması açısından önemlidir. Genel yapılarını belirleyen en önemli unsurlar; tane boyut özellikleri, görsel olarak sınıflandırılabilmeleri, su içerikleri, demirli metal içeriklerinin tahmini, yanma sıcaklığı ve kızdırma kaybı gibi parametrelerin bilinmesi alt küllerin çevresel ve fiziksel kalitelerini ortaya koymaktadır (Eighmy vd., 1992).

Tane boyutları alt küllerin değerlendirilmesi veya bertaraf edilmesi için uygulanması gereken süreçlerde önemli rol oynar. Modern atık yakma tesislerinde öncelikli amaç atıkların geri dönüşüm veya geri kazanım açısından değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesi olduğundan bazı işlemlerin zorunlu olarak uygulanması gerekmektedir. Bu işlemler yıkama, eleme ve manyetik ayırma gibi işlemlerdir. Bu işlemler sonucunda belirli bir boyut ve özellikte olan değerlendirilmesi daha kolay olan malzeme ayrılır. Bu ayrılan malzeme yakma beslemesinde malzemenin bileşimine bağlı olarak değişmekle birlikte cüruf ve metal parçalarından oluşmaktadır. Avrupa'da

çoğunlukla 40 mm olarak belirlenen boyutunun üzerindeki malzemeye reddedilen kısım adı verilmiştir ve içerisindeki metal unsurlar geri dönüşüm ve geri kazanımla kullanılırken cürufur kırıklar bertaraf edilmektedir (Chandler vd., 1997).

Avrupa ve ABD’de yapılan çalışmalarda reddedilen kısım içinde yeterli sayılabilecek ekonomik değerde metal içerikler saptanmıştır. Danimarka da 7 farklı tesisten alınan alt küllerin reject fraction kısmında ortalama % 6-9 arasında 45 mm üstünde demirli veya demirli olmayan metal bulunmuştur (Ludvigson ve Hjelmar, 1992).

ABD’de 6 tesisten alınan alt küllerin reddedilen kısmında ayırma boyutu 19 mm ile 50 mm arasına düşürülerek % 3 ila % 66 oranları arasında ve ortalama olarak da % 32 oranında metal içerik saptanmıştır (Eighmy vd., 1992).

2.2.1.1 Görsel sınıflandırma

Alt küllerinin görsel olarak sınıflandırılması içeriğindeki metal malzemenin, cürufur taş, seramik, cam ve organik olan materyallerin kompozisyonlarının yüzdesel olarak varlıklarını içerir. ABD, İsveç ve Danimarka’da yapılan çalışmalarda ayırma boyutlarına bağlı olarak değişmekle birlikte % 3 ila % 46 arasında metal ve % 27 ila % 61,8 arasında cürufur malzeme varlığı tespit edilmiştir. Bu iki materyal tüm alt külün % 50’lik kısmını oluşturmaktadır. Cam oluşumlar ise % 10,8 ile % 44,9 arasında oranlara sahip iken taş seramik ve organik unsurlar ise en küçük paya sahip olarak % 0,1 ila % 7 arasında değişmektedir (Stoelhorst, 1991; Hartlen ve Lundgren, 1991; LIRPB, 1992a).

2.2.1.2 Su ve nem içeriği

Alt küllerin jeoteknik olarak su ve nem içerikleri; onların değerlendirilmesinde bertaraf edilmesinde, taşınması veya depolanması sırasında önemlidir. Alt külün su içeriği yakma sonrasında soğutma işleminin hangi teknikle yapıldığına göre değişmektedir. Püskürtme yöntemiyle soğutma yapılan tesislerde daha az su içeriğine rastlanırken yıkama tankları ile soğutma yapan tesislerde çok daha fazla su

içeriğine sahip alt kül elde edilir. Alt küllerin su içeriği % 9,4 den % 58,4'lere kadar çıkabilmektedir (Hartlan ve Rogbeck, 1989).

2.2.1.3 Demirli metal içeriği

Alt küllerin içindeki demirli metaller taşıdıkları ekonomik potansiyel ve geri kazanılabilir özellikleriyle oldukça öneme sahiptirler. Atık besleme bileşimine bağlı olarak değişmekle birlikte alt küllerin demirli içerikleri % 0,4 ile % 43,5 arasında değişirken ortalama değerler olarak bakıldığında ise % 1,3 ila % 25,8'lere kadar varan oranlara ulaşabilmektedir. Boyut dağılımları incelendiğinde demirli metallerin çoğunlukla iri fraksiyonlarda olduğu görülmüştür. Yaklaşık olarak % 80'inin 2 mm'nin üzerinde boyuta sahip olduğu görülmüştür (Eighmy vd., 1992).

2.2.1.4 Kızdırma kaybı

Kızdırma kaybı materyalin 550°C'de 2 saat boyunca yakıldığında elde edilen ağırlık kaybının yüzde olarak ifadesidir. Kızdırma kaybı yakma sonucu açığa çıkması beklenen alt külün miktarının bilinebilmesi için önemlidir. Kızdırma kaybının % 60 kadarı organik karbon, kalan kısmı ise karbonatlar ve suyun hidrasyonudur (Stampfli, 1992).

Kızdırma kaybı değerleri atık beslemesinin bileşimine, tesis tipine ve sürecin işleyişinin bir fonksiyonu olarak farklı değerler alır. Kızdırma kayıpları Kanada da yapılan bir çalışmada % 3,5 ile % 29,5 arasında (Sawell vd., 1990), Danimarka'da % 1,9 ila % 6,3 arasında (Ludvigsen ve Hjelmar, 1992) ve ABD'de % 3,7 ile % 6,4 arasında (Chesner vd., 1988) değişen oranlarda gözlenmiştir. % 3 ve daha düşük gerçekleşen değerler yüksek derecede bir yanmaya işaret etmektedir (Brunner vd., 1987).

Yakma ünitesi tiplerine göre kayda değer ölçüde değişen miktarlarda kızdırma kayıpları elde edilmiştir. İki aşamalı yakma sistemlerinde kızdırma kaybı % 20-30 arasında değişirken kütle yakmalı tesislerde % 5 civarında olmaktadır. İki aşamalı

tesislerde, birinci aşamada yarı pirolitik yakma odasında enerjisi yüksek baca gazı üretilmiş olur ve daha sonra yüksek oksidasyonun yaşandığı ikinci yakma odasına alınırlar. Bunun sonucunda alt külde yüksek oranda yanmamış materyal kalır (Sawell ve Constable, 1993). Modern kitlesel yakma tesislerinde ise bu oran % 2'lerin altına kadar düşebilmektedir (WASTE (Waste Analysis, Sampling, Testing and Evaluation) Program, 1993).

2.2.1.5 Gravimetrik özellikleri

Alt külün gravimetrik özellikleri inşaat yapı malzemesi, asfalt agregası veya dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi açısından önemlidir.

2.2.1.6 Özgül ağırlık

Özgül ağırlık belirli bir hacimdeki örneğin aynı hacimdeki belirli bir basınç ve sıcaklıkta olan suya oranına denir. Birimsiz olarak kullanılır ve alt külün yapı malzemesi olarak kullanılacağı durumlarda önemli bir parametredir. Taneli materyallerde özgül ağırlığı tanımlarken iki farklı boyutta tanımlama yapılır. Genellikle 4,75 mm'nin altında çapa sahip olanlar ince, 4,75 mm' den büyük olanlar ise iri fraksiyon olarak adlandırılırlar. İnce fraksiyonlarındaki özgül ağırlıkları 1,5-2 iken iri fraksiyonlarında ise 1,8-2,4 arasında değişmektedir (Wiles, 1996).

2.2.1.7 Birim ağırlık

Alt küllerin birim ağırlıkları ABD ve Kanada'daki tesislerden alınan örnekler doğrultusunda incelendiğinde 955 kg/m^3 ila 1420 kg/m^3 arasında değerler elde edilmiştir. Bu değerler alt küllerin poroziteli yapıya sahip olduklarını ve hafif agrega olarak sınıflandırılacaklarını göstermektedir (Eighmy vd., 1992).

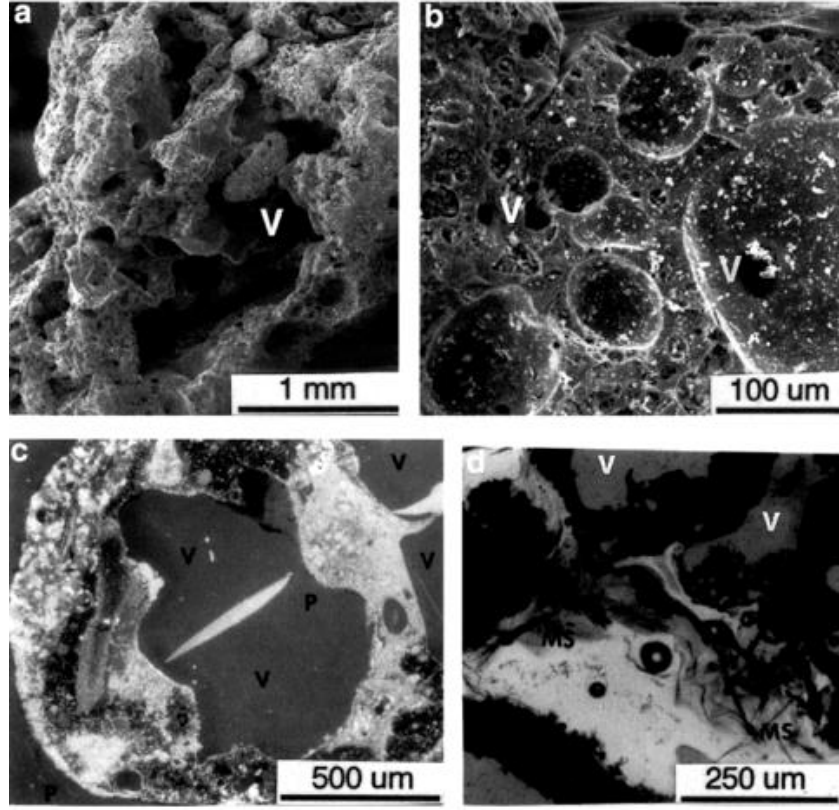
2.2.2 Tane morfolojisi , mineralojisi ve alkalitesi

Alt küllerin fiziksel ve kimyasal bileŖimlerinin belirlenmesinde morfolojileri, mineral yapısı ve alkali özellikleri oldukça önemlidir. Alt küllerin rafine edilmemiŖ, doğal açısal yapılarından dolayı, taneler morfolojik özellikleri fiziksel yapılarını doğrudan etkiler. Mineralojik yapıları ise alt küllerin kimyasal davranıŖlarını ve liç tepkilerinin ortaya koyulması açısından önemlidir.

2.2.2.1 Morfoloji

Alt küllere ait SEM fotoğrafları ve petrografik kesitleri Ŗekil 2.1'de incelendiğinde küllerin açısal tane Ŗekillerine sahip olan cüruf görünümünde olduğu görülür. Alt küllerin gözenekli ve keseli yapıları açıkça seçilebilmektedir. Petrografik kesitlerden de anlaŖılacaęı üzere alt küllerin içindeki boŖluklar dıŖ yüzeyleriyle bağlanmaktadır. Bu keseli boŖluklu yapı kimyasal reaksiyonlar ve liç tepkimeleri için geniŖ bir yüzey alanı sunmaktadır.

Alt küllerin yüzey alanları 3-46 m²/g arasında deęiŖmekle birlikte taneli yapılar içinde çok yüksek bir yüzey alanına sahiptir(Gardner, 1991).



Şekil 2.1. Alt küllerin SEM fotoğrafları (a,b) ve petrografik ince kesit fotoğrafları (c,d)(Chandler, 1997)

2.2.2.2 Mineralojisi

Alt küllerin mineralojik bileşimleri liç davranışlarında önemli rol oynamaktadır. Sahip oldukları mineralojik çeşitliliğin fazla olmasından dolayı kimyasal olarak karmaşık davranış sergilerler. Alt küllerin mineralojik çeşitlilikleri üzerine Chandler vd., 1997'in derlediği 4 araştırmada elde edilen bulgular Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Stampfli (1992)'nin yaptığı araştırmada XRPD (X-Ray Powder Diffraction) kullanmış ve SiO_2 , CaCO_3 , Fe_2O_4 , Fe_2O_3 , Fe , FeO , $\text{Ca}_2 \text{Al}(\text{OH})_7 \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, ve CaSO_4 gibi minerallerin alt küldeki varlıklarını ortaya koymuştur.

Vehlow vd. (1992)'un Almanya'da 3 farklı tesisten almış olduğu alt küllerle ilgili geniş çapta karakterizasyon çalışması yapmış XRPD ve petrografik incelemelerle alt

küllerdeki cam, manyetit kuvars mellit ve feldspat içeriği ile minör miktardaki diğer yapıları ortaya koymuştur.

Çizelge 2.2 Alt Küllerin Mineralojik Çeşitlilikleri (Chandler, vd. 1997)

Alt Küllerdeki Mineral Fazları (Azalan Sırada)			
Stampfli (1992)	Vehlow vd. (1992)	Kirby ve Rimstidt (1993)	Eighmy vd. (1994)
SiO ₂	Fe ₃ O ₄	SiO ₂	Ca ₂ Al ₂ SiO ₇
CaCO ₃	SiO ₂	CaSO ₄ .2H ₂ O	MgCa ₂ Si ₂ O ₇
Fe ₃ O ₄	(Ca,Na) ₂ (Al,Mg)(Si,Al) ₂ O ₇	3(Al ₂ O ₃).2(SiO ₂)	Fe ₃ O ₄
Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	TiO ₂	FeAl ₂ O ₄
Fe	KAlSi ₃ O ₈	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
FeO	NaAlSi ₃ O ₈	FeO	Ca ₃ (PO ₄) ₂
Ca ₂ Al(OH) ₇ .6.5H ₂ O	FeCr ₂ O ₄	CaSO ₄	Fe ₂ O ₃
O	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	KaCl	CaSO ₄
Na ₂ Si ₂ O ₅	Fe ₂ SiO ₄	NaCl	CaO
CaSO ₄	Cr ₂ O ₃		Al(OH) ₃
(Ca,Na)(AlSi ₂)Si ₆	Fe ₂ O ₃		NaCl
NaAlSi ₃ O ₈	CaMgSiO ₄		ZnCl ₂
	Al ₂ O ₃		NaAlSi ₃ O ₈
	Ca(OH) ₂		Al ₂ SiO ₅
	CaSO ₄		TiO ₂

Kirby ve Rimstidt (1993) ile Eighmy vd. (1992)'nin XRPD, petrografik ve SEM kullanarak yaptıkları çalışmalar da öncekilerle benzer özellikler göstermiştir ve çizelgede belirtilmiştir.

2.2.2.3 Alkali özelliği

Tampon kapasiteleri alt küllerin liç karakteristiklerine etkiyen önemli parametrelerden biridir. Atıkların asit nötralizasyonu kapasiteleri; 1 gr artığın pH değerini 4.3'e getirebilmek için gerekli olan nitrik asitin milieşdeğerini ifade etmektedir.

Genel olarak alt küllerin pH dereceleri 10,5 ile 12,2 arasında değişim göstermektedir. pH oranının bu düzeylerde olması CaO'in hidrolizi sonucunda

kalsiyum hidroksit üretiminin gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Alt külün asit nötrale etme kapasitesi yaklaşık olarak 1,2 ila 4,1 milieşdeğer/gramdır. Bu da makul birer tampon çözelti özelliği gösterdiklerinin kanıtıdır.

2.2.3 İnorganik karakteristik özellikleri

Alt küllerin element çeşitliliği kimyasal davranışlarını etkileyen en önemli unsurdur. Kimyasal yapısı aynı zamanda alt küllerin mineralojik ve fiziksel özelliklerinde de belirleyici rol oynamaktadır.

2.2.3.1 Alt küllerdeki element varlığı

Alt küllerin element yapısına etkiyen faktörler; beslemedeki atıkların kimyasal yapıları, elementlerin uçuculukları ve buharlaşabilirlikleri, yakma sisteminin özellikleri tipi ve çalışma prensipleri olarak sıralanabilirler (Hartlen ve Elander, 1986).

Alt küllerde analitik metodlarla 50'den fazla element varlığı belirlenebilmiştir. Bu elementlerden bazıları büyük miktarlarda (>10000 mg/kg), bazıları küçük miktarlarda (>1000 ile <10000 mg/kg) ve çoğunlukla da iz miktarlarda (<1000 mg/kg) bulunmaktadır.

Alt küllerin ağırlık olarak % 80-90'ı O, Si, Fe, Ca, Al, Na, K ve C' den oluşurken küçük elementler Mg, Ti, Cl, Mn, Ba, Zn, Cu, Pb ve Cr olarak ve iz elementler ise; Sn, Sb, V, Mo, As, Se, Sr, Ni, Co, Ce, Ag, Hg, B, Br, F ve I şeklinde bulunmaktadır (IAWG, 1994).

Elementel varlık ve miktarları açısından karşılaştırma ve kıyas yaptığımızda Çizelge 2.3'deki verilere ulaşabilmekteyiz. Çizelgede alt küllerdeki elementler yer kabuğundaki miktarlar, topraktaki miktarlar ve ortalama topraktaki değerler ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 2.3'de açıkça görülmektedir ki büyük element düzeyinde yer kabuğu ve topraktaki değerler alt küllerdeki değerlerle oldukça benzerlik

göstermektedirler. Ayrıca iz miktardaki elementlerde de nispeten alt küllerde daha zengin gözükmemektedir.

Çizelge 2.3. Alt küllerin, yerkabuğunun ve toprak örneklerinin kompozisyonlarının karşılaştırılması (Lindsay, 1979; Chandler vd. 1997).

Element	Yerkabuğu İçeriği (ppm)	Toprak değerleri (ppm)	Ortalama toprak (ppm)	Alt küller (ppm)
Ag	0,007	0,001-5	0,005	0,29-36,9
Al	81.000	10.000-100.000	71.00	21.900-72.800
As	5	1-50	5	0,12-189
Au	-	-	-	<0,20
B	10	2-100	10	38-510
Ba	430	100-3.000	430	400-3.000
Be	2,8	0,1-40	6	-
Br	2,5	1-10	5	1,4-150,2
C	950	-	20,000	10.000-60.000
Ca	36.000	7.000-500.000	13,700	370-123.000
Cd	0,2	0,01-0,70	0,06	0,3-70,5
Cl	500	20-900	100	800-4,190
Co	40	1-40	8	6-350
Cr	200	1-1,000	100	23-3,170
Cs	3,2	0,3-25	6	1,0-2,0
Cu	70	2-100	30	190-8.240
F	625	10-4,000	200	200-1.100
Fe	51.000	7.000-550.000	38.000	4.120-150.000
Ga	15	5-70	14	10
Ge	7	1-50	1	-
Hg	0,1	0,01-0,3	0,03	0,02-7,75
I	0,3	0,1-40	5	2-10
K	26.000	400-30.000	8,300	750-16.000
La	18	1-5,000	30	2-20
Li	65	5-200	20	-
Mg	21.000	600-6.000	5.000	400-26.000
Mn	900	20-3,000	600	83-2.400
Mo	2,3	0,2-5	2	2,5-276
N	-	200-4.000	1.400	110-900
Na	28.000	750-7.500	6.300	2870-42.000
Ni	100	5-500	40	7-4.280
O	465.000	-	490.000	400.000-500.000
P	1.200	200-5.000	600	1.400-6.400

Pb	16	2-200	10	98-13.700
Rb	280	50-500	10	40-50
S	600	30-10.000	700	1.000-5.000
Sc	5	5-50	7	3-6
Sb	-	-	-	10-432
Se	0,09	0,1-2	0,3	0,05-10,0
Si	276.000	230.000-350.000	320.000	91.000-308.000
Sn	40	2-200	10	2-380
Sr	150	50-1,000	200	85-1.000
Ti	6.000	1.000-10.000	4000	2.600-9.500
V	150	20-500	100	20-122
Y	-	25-250	50	10
Zn	80	10-300	50	613-7.770
Zr	220	60-2.000	300	200

2.2.3.2 Ana (büyük) elementler

Çizelge 2.3'ü miktarları bakımından ele alarak incelediğimizde en yaygın elementin oksijen olduğunu görürüz. 300.000-500.000 mg/kg arasında bulunan oksijen; silisyumun, demirin, kalsiyumun alüminyum ve karbonun oksitli bileşenleri şeklindedir. Silisyum 91.000-308.000 mg/kg aralığında ve yer kabuğundaki değerlere yakın miktarlarda bulunmaktadır. Demir üçüncü bol bulunan element olup 4.120-150.000 mg/kg arasında değişmektedir. Bir sonraki en çok bulunan element kalsiyumdur ve 370-123.000 mg/kg arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır. Kalsiyum değerleri de yer kabuğunda bulunma değerlerine benzerdir. Bulunma miktarlarına göre sıraladığımızda alüminyum 21900-72800 gr/kg, sodyum 2870-42000 mg/kg, potasyum 750-16000 mg/kg arasında değişmekte ve bu değerlerin hepsi de tüm majör elementler gibi yer kabuğu ve topraktaki bulunma değerlerine çok benzer rakamlardan oluşmaktadır.

2.2.3.3 Tali (Küçük) element dağılımları

Alt küllerdeki minör elementlerden miktarca en fazla olanı magnezyumdur, 400-26.000 mg/kg arasında bulunmaktadır. İkinci sırada titanyum gelir ve 3.000-9.000

mg/kg oranlarında bulunarak litofilik topraktaki kadar değer taşır. Klorin 4.000 mg/kg civarlarında, manganez 1.000 gr/kg civarında, baryum 380-2.652 mg/kg aralığında tesislere göre değişim göstermektedir.

Diğer önemli minör elementler ise Zn, Cu, Pb ve Cr'dur. Yaygın minör elementlerden olan çinkonun alt küllerde görülme miktarı 613-7770 mg/kg'dır. Bakır 290-8240 mg/kg, kurşun 98-13700 mg/kg ve krom 23-1370 mg/kg düzeylerinde bulunmaktadır. Bu elementlerin hepsi yerkabuğu veya topraktaki bulunma düzeyleri ile benzer özellikler göstermektedirler. Bunun başlıca sebebi işlenmiş birçok üründe bu dört metal oldukça yaygın kullanım alanına sahip olmasıdır.

2.2.3.4 Oksijen bileşimli iz elementler

İz elementlerden oksijenle bileşik yapanlar liç tepkimelerinde ortak davranışlarından dolayı beraber bulunurlar. Bu elementler Sn, Sb, V, Mo, As ve Se'dur. Kalay oksianyone olmayan bir elementtir ve 2-380 mg/kg arasında bulunur. Antimuan en fazla bulunan iz elementtir 10-432 mg/kg arasındadır ve toprak rnekleleriyle yakın miktardadır. Vanadyum 20-122 mg/kg arasındadır fakat miktarı toprak rneklelerinden daha az olduğundan kazanımı biraz daha güçtür. Molibden 2,5-276 mg/kg, arsenik 0,12-189 mg/kg, selenyum 0,05-10 mg/kg oranlarında bulunurlar ve topraktaki değerlerine yakın sınır değerdedirler.

2.2.3.5 Diğer iz elementler

Sr, Ni, Co, Cd, Ag, Hg alt küllerde bulunan diğer iz elementlerdir. Stronsiyum 85-1000mg/kg, nikel 7-4280 mg/kg, kobalt 6-350 mg/kg ile toprak değerleriyle benzer miktarlarda, kadmiyum 0,3-75,5 mg/kg, gümüş 0,29-36,9 mg/kg, civa 0,02-7,75 mg/kg ile topraktaki değerlerinden daha fazla miktarlarda bulunmaktadır.

2.3 Filtre Kek

Filtre kek, yakma tesisinin ana atık ürünlerinden biridir. Alt külün aksine filtre kekin oluşum süreci biraz daha karmaşıktır. Esas olarak filtre kek, tesisin gaz emisyonlarını yasal ve çevresel limitler içerisinde tutabilmek için işleyen bir prosesin ürünüdür. PCDD (polychlorinated dibenzo-p-dioxin) ve PCDF (polychlorinated dibenzofuran) emisyonlarının tesis bacasından salınmadan tutulması sonucu oluşur (Wang vd., 2009).

Elektrostatik filtreden ayrılan gaz venturi yıkayıcıya gelerek %10 kireç ve suyla ters akımla yıkanırken burada ağır metallere birlikte gelen halojenler tutulur. Daha sonra gazlar nötralizasyonun, oksidasyonun ve adsorbsiyonun gerçekleştiği kireç spreyi yıkayıcı ünitesine gider. Bu ünite, asıl amacı olan SO₂ 'nin ayrılmasını sağlamanın yanı sıra baca gazında kalan halojenlerin ve ağır metallerin de tutulmasını sağlar. Bütün bu baca gazı temizleme ünitelerinden gelen atık su, fiziksel ve kimyasal atık su arıtma tesisinde işleminden geçirilirler. Burada işlenen atık sudan elde edilen çamur filtre presten geçirilerek susuzlandırılır ve filtre kek elde edilmiş olur. Filtre kek de alt kül ve diğer atıklar gibi depolama alanında bertaraf edilirler (Veli vd.,2008).

Hava kirliliği kontrol ünitesinde tutulan küllerden olan uçucu küllerden yaklaşık altı kat daha fazla furan türevi gaz içeren filtre kek, yakılan her bir ton atık içerisinde yaklaşık olarak 15-40 kg olarak bulunurlar (Quina vd., 2008).

2.4 Endüstriyel Yakma Fırınları

Endüstriyel yakma fırınları, malzeme üretim sürecinin veya termal bir enerji üretim ve kazanım sürecinin vazgeçilmez ünitelerinden biridir. Endüstriyel yakma fırınları bir çok tesiste farklı amaçlarla kullanılmaktadır (EPA, 2005). Bu tesislerden başlıcaları;

- Katı ve sıvı yakıtlı enerji üretim tesisleri,
- Metalürji tesisleri,
- Katı atık yakma tesisleri,
- Katı atıktan enerji üretim tesisleri,
- Agregata ve hammadde üretim tesisleridir.

Endüstriyel yakma fırınları, her biri farklı olan bu tesislerin bazılarında yardımcı eleman olarak görev yaparken bazılarının da ise sürecin temel yapısını oluşturur ve süreç bu fırınların etrafında şekillendirilir. Bu fırınların kullanım alanlarından örnekler vermek gerekirse çimento fırınları, kavurma fırınları, kok fırınları, elektrikli ark fırınları, agregata fırınları, izabe fırınları, atık yakma fırınları gibi çeşitleriyle adlandırabiliriz (EPA, 2005).

2.4.1 Endüstriyel yakma fırınlarının önemi

Günümüzde atık yakma fırınlarını ve tesislerini diğer endüstriyel yakma fırınlarından daha farklı bir işlevi ve özelliği nedeniyle ayrı tutabiliriz. Her yıl milyonlarca ton katı atık üretilmekte ve bu katı atıkların yönetimi ve bertarafı ile ilgili kaygı verici durumlar oluşmaktadır. Atıkların yakılması ise bu konuda ortak kabul görmüş bir yöntem olmasının yanı sıra atıkların kütleli olarak % 70 ve hacimsel olarak da % 90 oranında azaltılmasını ve çeşitli süreçler sayesinde aynı zamanda da elektrik enerji üretilmesini sağlamaktadır (Lam vd., 2010).

Atık yakma fikri, 19.yy sonlarında artan şehirleşmeyle birlikte atıkların fazlalaşması ve atık bertarafı ile ilgili sorunların baş göstermesiyle halk sağlığını tehdit eden kolera salgını gibi sorunlara çözüm olarak ilk defa Avrupa'da uygulanmıştır. 1876 yılında İngiltere Nottingham'da ilk atık yakma tesisi kurulmuş ve "destructor" adıyla faaliyetine başlamıştır. Daha sonra gelişen teknolojilerle birlikte İngiltere'nin Manchester kentinde ve kıta Avrupa'sında da ilk olarak 1894 yılında Almanya'nın Hamburg şehrinde kurulan tesislerle birlikte sayıları artmaya başlamıştır (UBA, 2008; Küçüker, 2012).

Günümüzde katı atık bertarafında etkin kullanılan yakma işlemi sadece atıkları yakarak hacim ve kütle olarak azaltmanın yanında enerji üretmeyi ve materyal geri kazanımını da amaçlamaktadır.

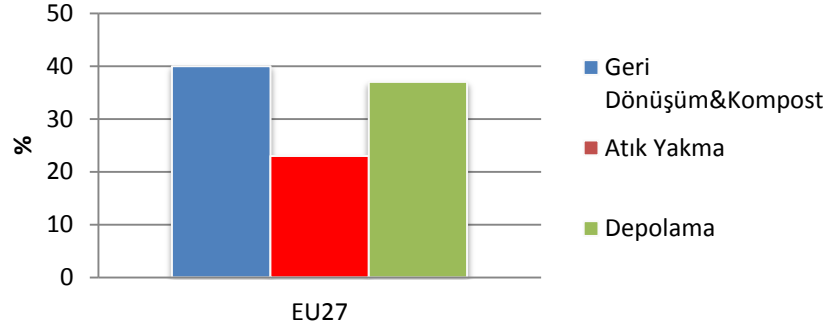
İnsinerator adı verilen çöp yakma kazanlarında öncelikli amaç tehlikeli atık, endüstriyel atık veya kentsel katı atıkların bertaraf edilmesi ve tasfiyesidir. Bu aşamada az miktarda malzeme kazanımı da elde edilebilir ancak hedef olan malzemenin depolanma koşullarına uygun hale getirilmesidir. Yakma düzgün gerçekleştirildiği takdirde atık içindeki toksik organik bileşikler parçalanmakta ve atıklar hacimsel olarak azalmaktadır. Ancak atık içerisindeki metal içerikler bu yakma olayından etkin olarak etkilenmezler ve etkili bir bertaraf gerçekleşmez.

Endüstriyel yakma fırınlarında ise katı atıkların bertarafının yanı sıra, endüstriyel, tehlikeli ve katı atıkların sahip olduğu potansiyel enerji ve materyallerin kazanımı amaçlanmaktadır. Çöp yakma kazanları bertaraf için atıkları yakarken endüstriyel yakma fırınları hem enerji kazanımı hem de materyal kazanımını bir arada gerçekleştirirler. Endüstriyel yakma fırınlarında yakma kazanı alevin kontrollü olarak verildiği ve yanmanın buhar, ısınmış sıvı veya gaz fazıyla enerji dönüşümü ve kazanımı sağlayan kapalı sistem çalışan ünitelerdir (EPA, 2005).

Atıktan enerji üreten bu sistemler günümüzde modern tesislerde uygulanmaktadır. Avrupa'nın 18 ülkesinde toplam 455 adet atıktan enerji üretim santrali vardır ve yıllık yaklaşık 60 milyon ton atık işleyerek atıkların bertarafını ve enerji üretimi sağlamaktadır (CEWEP, 2013).

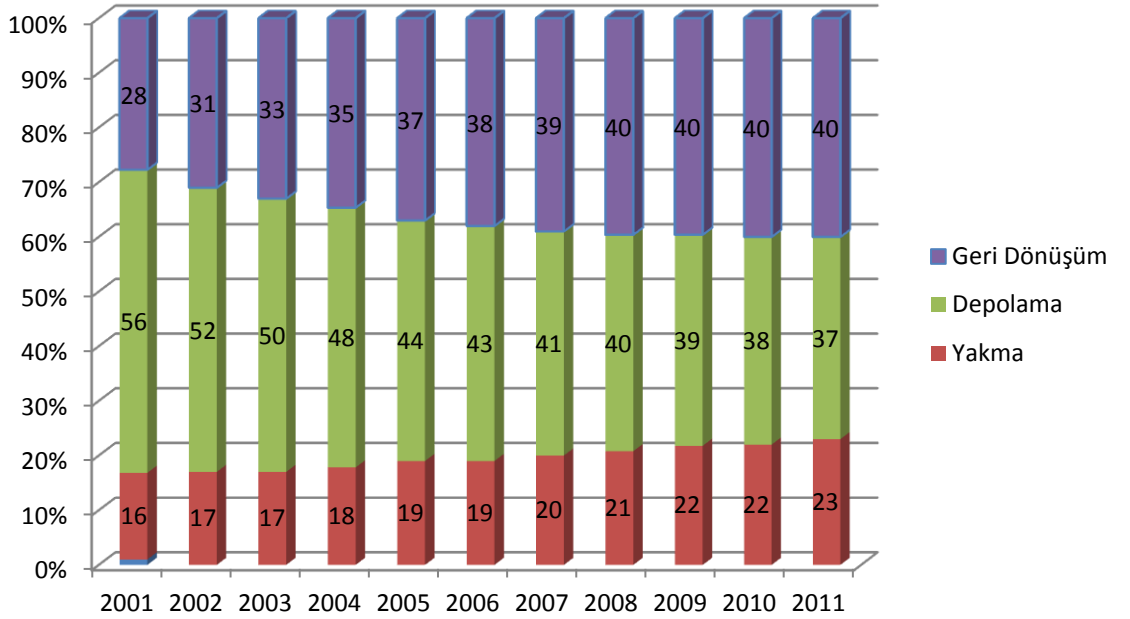
2001-2011 yılları arasındaki 10 yıllık süreçte Avrupa'da EU27 bölgesinde atıktan enerji üretim santrallerinde işlenen atık miktarı sürekli olarak artarak ortalama %23 seviyelerine gelmiştir. Şekil 2.2'den de görüleceği gibi geri dönüşüm ve kompostlama oranları % 40'lara artarken vahşi depolama oranı %37 seviyelerine kadar azalmıştır (CEWEP, 2011).

EU27 Atık Yönetimi



Şekil 2.2. EU27 bölgesinde atık yönetimi (Eurostat, 2011)

Atık yönetimi eğilimini ele aldığımızda Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Avrupa’da EU27 bölgesinde 2001 ile 2011 yılları arası dikkate alındığında vahşi depolama % 19 azalırken, geri dönüşüm % 12 ve atık yakma ise % 7 oranında artmıştır (CEWEP, 2011).



Şekil 2.3. EU27 bölgesinde 2001-2011 yılları arasındaki atık yönetimi trendi (CEWEP, 2011)

Avrupa’daki 6 ülkede; Avusturya, Belçika, Almanya, Danimarka, Hollanda ve İsveç’te katı atıkları depolama oranları % 3’ün altındadır. Almanya’da çıkarılan yasalarla 2005

tarihinden beri hiçbir işleme tabi tutulmayan atıkların depolanması yasaklanmıştır (Transwaste, 2011).

Atık yakma tesisleri kaynaklarımızı etkin ve tasarruflu kullanmanın yanı sıra alternatif bir enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı ve CO₂ salınımını azaltmak için de önemlidir. Enerji verimliliklerinin artırılmasıyla bu tesislerin ürettiği elektrik ve ısı enerjisi 2010 yılında 100 milyon MWh' a kadar ulaşmıştır. 13 milyon insanın tükettiği elektrik ve ısı enerjisi bu üretimlerden karşılanmıştır. Sürdürülebilir enerji kaynaklarından olan atık yakma tesislerinin atıkların depolanmasından ziyade bu tesislerde işlenmesine daha fazla imkan sunulması ve altyapı eksikliklerinin de tamamlanmasıyla birlikte 2020 yılında 196 milyon MWh' lık bir enerji üretimine sahip olacağı öngörülmektedir (CEWEP, 2011).

2.4.2 Endüstriyel yakma fırını seçimi

Endüstriyel yakma fırınlarını seçerken üzerinde durulması gerekenler fırında ne tür atıkların yakılacağı, tesisin işletme kapasitesi, işletme programı, yakılacak atık miktarı, fırın artıklarının ne yapılacağı ile ilgili değişkenlerdir. Tesislerin kapasiteleri atık yakma miktarlarına göre büyük tesis veya küçük tesis olarak adlandırılırlar. Küçük kapasiteli tesisler genelde bir veya iki vardiya şeklinde çalışırlar. Ancak tesislerin sürekli çalışması hem kapasitelerini etkin kullanmak açısından hem de;

- İlk ateşlemedeki yakıt miktarını,
- Refrakter malzemenin termal düzenini,
- Emisyon çıkışlarını azaltmak için önemlidir.

En çok yakıt tüketiminin ve çevre kirleticilerin salınımının başlama ve durdurma sırasında yaşandığından kesikli çalışan sistemler çok tercih edilmezler (Buekens, 2003).

2.4.3 Endüstriyel yakma fırınları işleyiş süreci

Yakma tesisleri atıkların kabulünden nihai ürün yani artıklar, gaz emisyonu ve enerji gibi çıktıları oluşturuncaya kadar birçok aşama ve süreç içinde faaliyet gösterir. Bu aşamalar tesis tiplerine göre değişmekle birlikte genelde aşağıda sıralandığı gibidir.

Yakma tesisinin temel işleyiş süreci ve üniteleri;

1) Atık kabulü

- Atıkların ön işlemleri (ayrılması, parçalanması)
- Atıklardan kalorifik reçete oluşturulması
- Atıkların fırına beslenmesi

2) Yakma Sistemi

- Temiz hava ile atıkların yakılması
- Curufların uzaklaştırılması cüruf yıkama

3) Isı Kazanımı (Boyer)

- İkinci yakma odasında atık gazların yakılması
- Enerji üretimi

4) Baca Gazı Kontrol Sistemi

- Baca gazının arıtılması
- İleri gaz temizleme
- Arıtılmış baca gazının havaya deşarjı

5) Katı atık artıklarının bertarafı

- Alt külün fırın çıkışından alınıp depolanarak bertarafı

2.4.4 Endüstriyel yakma fırın tipleri

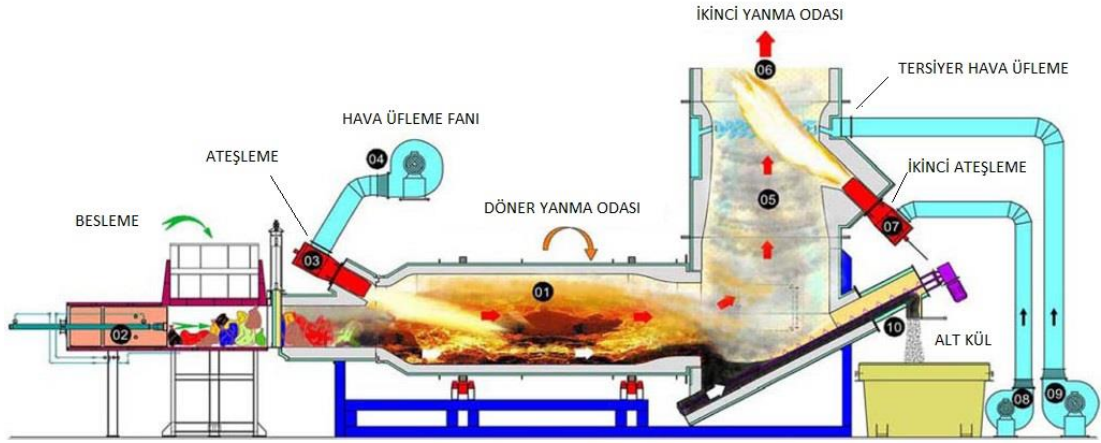
Birçok endüstriyel yakma fırını tipi mevcuttur. Bunlar temel olarak ihtiyaçlara göre tasarlanmışlardır. İhtiyaçları belirleyen en önemli değişkenler hangi tipte atığın yakılacağı, atığın bileşimi, çıkışında istenen ürünün niteliği, kapasitesi, çalışma koşulları, gaz emisyonu gibi değişkenlerdir (Emep/EEA, 2009).

Endüstriyel yakma fırınları temelde 3 tip olarak bulunmaktadır. Bunlar;

- Döner fırınlar,
- Akışkan yataklı fırınlar,
- Izgaralı fırınlar.

2.4.4.1 Döner fırınlar

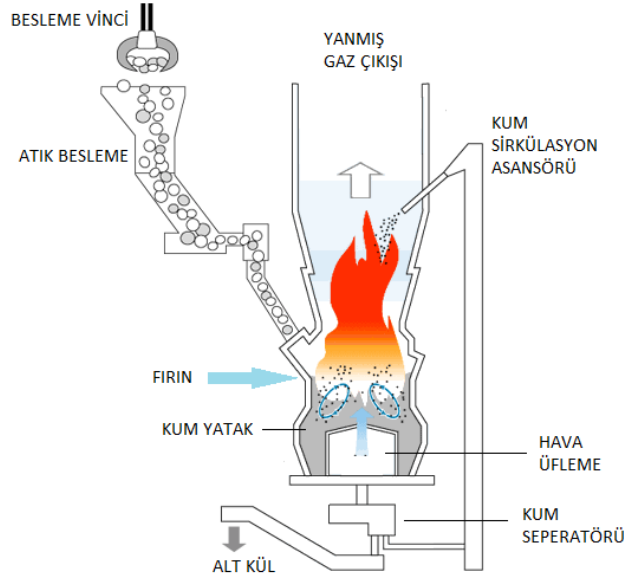
Genellikle tehlikeli atıkları yakmak için kullanılan bu fırınlar düşük kapasiteye sahiptirler. Yakma prosesi yardımcı bir alev kaynağı ile başlatılır (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013). Döner fırınlar birincil ve ikincil yakma odası olarak iki odadan oluşurlar. Birincil yanma odası silindirik şekilde refraktör malzemelerden oluşur ve yatay olarak yaklaşık % 2 eğimle dik konumda bulunan ikinci yakma odasına doğru uzanır (İZAYDAŞ, 2013). Proses kontrolü döner fırının dönme hızına ve doluluk oranına göre belirlenir. Döner fırınlar yaklaşık % 5 doluluk oranıyla çalışırlar ve bu oran atık cinsine ve işletme şartlarına göre belirlenir. Beslenen hava akışkan yataklı veya ızgara fırınları gibi atıktan geçmek yerine atıkla birlikte doğru akımla fırından geçer (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013). Atıkların döner fırın içerisinde tam olarak yanması sağlanmalıdır. Bu süre atık özelliklerine bağlı olarak 1 saatten fazla olmaktadır. Tehlikeli atıklarda bu süre daha da uzun tutulabilmektedir. İkinci yanma odasında ise çıkan baca gazının yanmasının sağlanması için 2 sn civarında yanma gerçekleşmelidir. Yakma dereceleri beslenen atıkların kalorifik değerlerine göre birinci yanma odasında 850 °C ye, ikinci yanma odasında ise 1200 °C ye kadar çıkabilmektedir. Şekil 2.4' de döner fırın örneği görülmektedir.



Şekil 2.4. Döner fırının şematik gösterimi (Jeag, 2013)

2.4.4.2 Akışkan yataklı fırınlar

Akışkan yataklı fırınlar sabit üniteler olarak kullanılırlar. Bu tip fırınların ortasında genellikle huni veya silindirik şekilde düzenlenmiş bir reaktör bulunur. Atıkların akışkan yatağında yakılabilmesi için standart parçalayıcı ekipman ile yaklaşık 100 mm tane çapına kadar parçalanması gereklidir. İnce taneli inert malzemelerden oluşan akışkan yatak yüklenen atıklarla birlikte aşağıdan verilen yakma havası tarafından uçurularak homojenize edilir ve hareket halinde kalması sağlanarak akışkan haline getirilir (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013). Şekil 2.5’de akışkan yataklı bir yakma fırınına ait şematik gösterim görülmektedir.



Şekil 2.5. Akışkan yataklı yakma fırınının şematik gösterimi (Airliquide, 2013)

Hava beslemesine göre iki tipte akışkan yataklı fırınlar vardır. Temelde fırının alt kısmına ızgaraların üzerine seri vaziyette 0,75 m kalınlığında akışkan yatak vazifesini gören kum tabaka vardır. Birinci tip hava beslemelilerde, ısınmış gazların geri dönüşümüyle ön ısınmaya tabi olan hava beslenirken diğer tiplerde dışarıdan gelen soğuk hava beslenir. Atıkların beslemesiyle havanın beslemesi aynı anda yapılır. Yakma sıcaklığı 750 °C den 925 °C ye kadar ulaşabilir ve yanan küllerin ince boyutlu olanları fırının üst noktalarına kadar taşınmaktadır (EPA, 1994). Yakma sonucu oluşan küller, yakma hücrelerine geri aktarılır. Akışkan yatak malzemesinin geri dönüşümüyle, sıcaklık ve yakılacak malzemelerin homojenizasyonu sağlanır. Islak atıklardaki su, akışkan yatak malzemesi vasıtasıyla ısıtılıp buharlaştırılır. Yakılan atıklar, yanma noktasına kadar ısıtılır, sonra herhangi bir enerji ilâvesi gerektirmeden yanar (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013).

Akışkan yataklı fırınların avantajı tek aşamalı bir süreç olması ve hareketli parçaya sahip olmamasından dolayı işletme kolaylığının yanı sıra katı, sıvı, gaz ve pulp atıkların kolayca yakılabilmesidir. Dezavantajı ise tasarım özelliklerinden dolayı yatak çapı ve yüksekliği sınırlıdır ve baca gazlarına fazla miktarda toz partikül karışmaktadır (HMIP, 1992).

2.4.4.3 Izgaralı yakma fırınları

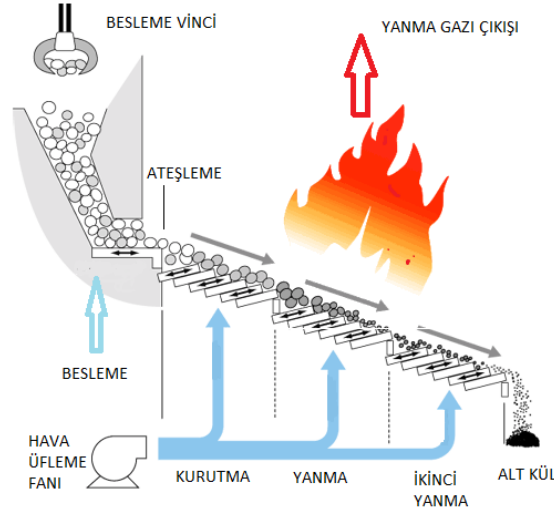
Izgaralı fırınlarda yakma işlemi hareketli bir ızgara üzerinde gerçekleştirilir. Bir vinç yardımıyla boğaz şeklindeki besleme ünitesinden beslenen atıklar yatay doğrultuda aşağıya doğru eğimle konumlandırılmış olan ızgaraya hareket verilmesi suretiyle ilerletilerek yakılır.

Yakma havası atığın belirlenen kalorifik değerine göre ızgara ayarlanarak verilir. Atık yükleme ve cüruf uzaklaştırma, ızgarada aynı doğrultuda yapılır. Izgaranın hareketi atığın karışmasını, hava almasını ve böylece daha iyi yanmasını sağlar. Doğru akışlı yatay ızgarada, ızgara atıkların gideceği istikamete doğru hareket eder. Ters akışlı ızgaralarda ise ızgara, atık hareketine ters şekilde hareket eder. Bu durumda atıklar ızgara eğiminden dolayı yer çekimiyle hareket ederler. Silindirik ızgaralarda, ızgara döner çubuklardan ibaret olup; bunların her birinin dönme hızı proses ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Yakma hücreesindeki yüksek ısıdan dolayı, atık fırının girişinde derhal kurutulur ve kendiliğinden yanar. Yakma prosesi, herhangi bir enerji ilâvesi gerektirmeden, yaklaşık 1000 °C'de gerçekleşir. Yakma ısısı daha sonra bir buhar kazanı vasıtasıyla değerlendirilir (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013).

Izgara fırınlarının kapasiteleri esnektir, çok düşük veya büyük kapasitelerde kullanılabilirler. Tek bir ızgara fırınının saatlik kapasitesi 35 tona ulaşabilmekte ve 1 yıl boyunca 8000 saat süreyle tek bir programlı durma ve bir aylık bakım onarım faaliyetiyle çalışabilirler (Bunce, 2010).

Izgara fırınlarında, birincil hava ızgaranın altından ve yanından, ikincil hava ise baca gazlarında türbülans yaratmak amacıyla son yakma bölümüne verilmektedir. Ateşlemenin yerleri, yakma fırını tasarım ve konstrüksiyonuna göre değişebilir. Tesis, yanma hücreesine bağlı bir son yanma bölümüne sahip olmalıdır. Burada en az % 6 oksijen ihtiva eden baca gazı ve en az 2 saniye kalma süresi durumunda sıcaklık evsel atık için en az 850 °C'de, tehlikeli ve tıbbi atık için ise en az 1200 °C'de

tutulmalıdır. Sıcaklık sürekli kaydedilerek kontrol edilmelidir. Atıklar, tam yanma sağlanıncaya kadar yakma hücresinde kalmalıdır. Bu süre, ızgara hareket hızıyla ayarlanabilir ve kullanılan teknolojiye ile diğer işletme koşullarına göre değişiklik gösterir. Bu nedenle fırında kalma süresi işletmecinin tecrübesi ile netlik kazanır (R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 2013). Şekil 2.6’ da ızgaralı yakma fırını görülmektedir (Tokyo Kankyo, 2013).



Şekil 2.6. Iızgaralı yakma fırınının şematik gösterimi (Tokyo Kankyo, 2013).

2.5 Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Yapılan çalışma ve araştırmalarda endüstriyel ölçekli atık yakma tesislerinin alt küllerinin içerikleri kimyasal olarak karakterize edilmiş ve metal içerikleri belirlenmiştir. Hangi tip atıklardan hangi metallerin alt külden toplandığı ve atık yakma sistemlerinin, alt külün bileşimine nasıl bir etkisi olduğu gibi konular incelenmiştir. Mevcut metaller belirlendikten sonra bu metallerin geri kazanım yöntemleri ve verimleri araştırılmış, potansiyel kazanım durumları ortaya konmuştur.

Jung vd. (2004)'un yaptığı çalışmada kayda değer miktarda değerli materyalin atık olarak nitelendirilip ekonomik açıdan kayıp olduğunu ortaya koymuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda örneklerin birkaç tane tesisle sınırlandırıldığını görmüş ve

atıktaki kompozisyonun yakma fırınının cinsine, yakma kapasitesine ve besleme malzemesinin türüne bağlı olduğunu 26 adet tesisten örnek alarak açıklamıştır. Çalışma sonunda, yakma fırınlarından elde edilen atıklardan kazanılabilecek metal içerikleri hesaplanmıştır. Çizelge 2.4’de atıklardaki çeşitli metallerin miktarları verilmiştir. Çizelge 2.4’den görüldüğü gibi Al, Cu, Pb ve Zn içerikleri oldukça önemli boyutlara ulaşmaktadır.

Çizelge 2.4. Japonya’daki katı atık yakma tesisleri atıklarındaki metal miktarları (Jung vd., 2004)

Metal	Metal Miktarı (Ton/yıl)
Al	233626
As	9
Bi	139
Cd	112
Cr	468
Cu	8118
Fe	151392
Pb	4218
Sb	748
Se	10
Sn	365
Al	16862

Kinoshita vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada; kullanılmış otomobil lastiklerinin yakılmış olduğu bir tesisin atık küllerinden metal kazanımını incelemişlerdir. Japonya’da otomobil lastiklerinin termal yöntemlerle bertaraf oranı % 56’ya kadar ulaşmıştır. Otomobil lastiklerinin içeriğinde % 50 oranında lastik, % 26 oranında siyah karbon, % 10 metal kodlar, % 6 çinko oksit ve stearik asit ve % 5 oranında çelik tel gibi unsurlar vardır. Ayrıca bu unsurların içinde demir, bakır, çinko ve kobalt gibi bileşikler de bulunmaktadır (Kotani vd., 1993).

Tüm lastik atıklarının yıllık 7000 ton civarında çinko oksit içerdiği tahmin edilmektedir. Pirometalurjik yöntemlere kıyasla avantajlarından dolayı

hidrometalurjik yöntemler bu çalışmada kullanılmak istenmiştir. Bilyalı değirmende öğütülen küller 0,5 mm altına geçecek şekilde elenerek metal içeriklerden ayrılmıştır. 105°C’de birkaç saat kurutulmuş ve metal içeriğinin belirlenmesi için 1 gram kül, 20 ml kral suyu ile 24 saat boyunca çözdürülmüş ve küllerdeki metal içeriği ICP-AES ve XRD kullanılarak tespit edilmiştir (Kinoshita vd., 2005). Çizelge 2. 5 ’deki lastik atıklarına ait küllerdeki değerli metal içerikleri gösteren konsantrasyonlar incelendiğinde Fe ve Zn’nin ön plana çıktığı görülmektedir.

Çizelge 2.5. Lastik atığı külü (Kinoshita vd., 2005)

%	Zn	Fe	Al	Mg	Co	Cu	Ti	Mn
Alt Kül	2,1	6,8	0,05	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05

Bu kül tipi ve metal içerikleri belirlendikten sonra atık liç işlemine tabi tutulmuştur. 24 saat ve 1/20 katı oranıyla 23°C’de çeşitli asit ve alkali çözeltilerle (HCl, HNO₃, H₂SO₄, oksalik asit, sitrik asit, NH₃ ve NaOH) yapılan liç çalışmalarının sonucunda 1 M H₂SO₄ ile tüm metallerde % 60 ile % 92 arasında değişen oranlarda verimler elde edilmiştir. 1 M HCl kullanıldığında ise % 59 ile % 80 arası verim değerlerine ulaşılmıştır. Liç çözeltilerinden seçimli ayırım yapabilmek için çeşitli reaktifler (LIX54, LIX84, D2EPHA, Alamine336, TOA ve Aliquat336) kullanılmıştır. Özellikle çinkonun demirden ayrılması için Aliquat 336, bakırın seçimli ayrılması için LIX84 gibi reaktifler kullanılmıştır. Çizelge 2.6’da reaktifler ve kazanım verimleri görülmektedir (Kinoshita vd., 2005).

Çizelge 2.6. Seçimli kazanım için uygulanan reaktifler (Kinoshita vd., 2005)

Reaktif	Zn(%)	Fe(%)	Al(%)	Mg(%)	Co(%)	Cu (%)	Ti(%)	Mn(%)
LIX54	0	0	0	0	0	0	0	0
LIX84	0	0	0	0	0	64	0	0
D2EPHA	12	74	45	0	0	16	100	0
Alamine3	78	0	0	0	0	0	21	0
TOA	80	0	4	0	0	0	91	0
Aliquat33	96	7	0	0	0	0	0	0

Chang ve Wey (2006) yaptıkları çalışmada 2250 ton/gün alt külü üretilen Tayvan’da, üç farklı tipte yakma fırını ürünlerinden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sonuçlara göre ızgara yakmalı, akışkan yataklı ve hem ızgaralı hem de döner fırınla çalışan tesislerin alt küllerindeki kimyasal bileşimleri Çizelge 2.7’de görülmektedir. Akışkan yataklı fırın MSWI-A, ızgara fırını MSWI-B ve döner fırın ise MSWI-C ile kodlanmıştır.

Çizelge 2.7. Üç farklı fırın tipinin alt külünün kimyasal bileşimi (Chang ve Wey, 2006)

Kimyasal Bileşim, %						
Kül Tipi	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO
MSWI-A	17,33	22,90	0,18	11,40	3,69	1,05
MSWI-B	18,72	2,25	1,14	9,05	4,47	1,20
MSWI-C	18,2	29,50	2,67	17,08	6,08	1,40

Asetik asitle yapılan liç testleri 1/20 katı oranıyla 30 d/d karıştırma hızıyla 18 saat boyunca sürdürülmüş ve filtre edilerek metal içeriği AAS ile belirlenmiştir. Çizelge 2.8’ de liç sonrası elde edilen metal içerikleri verilmiştir.

Çizelge 2.8. Liç testleri sonucu elde edilen metal içerikleri (Chang ve Wey, 2006)

Metal İçerikleri, mg/L				
	Cu	Pb	Cr	Cd
MSWI-A	0,048	0,374	1,747	0,050
MSWI-B	3,237	0,441	0,825	0,054
MSWI-C	0,27	0,364	0,087	0,047

Vandecasteele vd. (2006) yaptığı çalışmada Belçika’daki bir tesisin alt küllerinin geri kazanım açısından incelemesi yapılmıştır. İncelemede 1 ton % 50 oranında evsel tip % 50 oranında ise endüstriyel atık içeren atıktan 255 kg alt külü elde edilmiştir. Bu alt küllerinden de toplam alt külün % 8,5’i oranında demirli metal ve % 1’i oranında da demirli olmayan metal kazanılabileceği görülmüştür. Kazanılabilecek demirli metal oranı 1 tonluk yakma malzemesinin % 2,2 sine karşılık gelmektedir.

Feng vd. (2007) yaptığı çalışmada küllere 3 farklı liç işlemi uygulamış ve bu çözeltilere verdiği tepkiler gözlemlemiştir. Bu çözeltiler deiyonize su, ve pH

dereceleri 4,9 ve 2,9 olan asetik asit reaktifler olarak belirlenmiştir. Liç parametreleri 1/40 katı sıvı oranı, 30 d/d karıştırma hızı, 20 saat karıştırma süresi olarak belirlenmiştir. Liç işlemi sonunda ICP-AES ve ICP-MS cihazları ile belirlenen metal içerikleri Çizelge 2.9'da görülmektedir. Çözeltilerin pH'ı azaldıkça metal miktarlarının arttığı görülmektedir. Bu artış Zn, Pb, Se ve Cu gibi metallerde kayda değer oranlarda gerçekleşirken Cr, Fe, As, Sr, Mo, Cs, ve Ba metallerinde çok büyük farklar yaratmamaktadır. pH'ı 2,9 olan asetik reaktifle yapılan liç işleminde 19,06 mg/l Pb, 1,71 mg/l Zn ve 2,19 mg/l Sr elde edilmiştir.

Çizelge 2.9. Üç farklı çözeltiyle yapılan liç işlemi sonucu ortaya çıkan metal içerikleri (Feng vd., 2007)

Çözeltiler, mg/L			
Metaller	Deiyonize su	pH 4,9	pH 2,9
Al	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	0,11	0,11	0,13
Fe	0,04	0,04	0,04
Mn	<0,01	<0,01	<0,01
Co	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	0,06	0,09	0,10
Zn	0,49	0,89	1,71
As	0.10	0.11	0.12
Se	0.12	0.22	0.24
Sr	1.54	1.94	2.19
Mo	0.06	0.08	0.07
Cd	<0.01	<0.01	<0.01
Cs	0.10	0.13	0.14
Ba	0.33	0.37	0.41
Hg	<0.01	<0.01	<0.01
Pb	9.14	16.52	19.06

Kuo vd. (2007) yaptığı çalışmada Taiwan'da bulunan bir atık yakma tesisinin verileri incelenmiştir. 1800 t/gün yakma kapasitesine sahip santral 4 yakma ünitesine ile 2004 yılı verilerine göre 345224 ton atık yakmış ve 12913 ton uçucu kül ile 45344 ton alt külü meydana getirmiştir. Bu süreç boyunca 529 milyon Mj/yıl elektrik enerjisi üretmiştir. Peitou yakma santralinden alınan alt küller karakterize edilmiş ve diğerlerine oranla daha fazla bulunmalarından dolayı 7 metal (Cr, Cu, Fe, Cd, Al, Zn

ve Pb) analiz edilmiştir. İki ayrı zaman diliminde numune alma işlemi yapılmıştır. İlki 2003 yılının temmuz ayında ikincisi ise ekim ayında gerçekleştirilmiştir. Her saat başı yapılan işlemler proses devam ederken manyetik seperatörden sonra titreşimli konveyörden 1-1,5 kg alma şeklinde olup 8 saat art arda gerçekleştirilmiştir. Toplanan küller öğütülüp 10 mm altına geçecek şekilde elenerek büyük parçalı metallere ayrışması sağlanmıştır. Konileme dörtleme yöntemiyle de malzeme 2 kg'a indirilerek laboratuvar analizlerine gönderilmiştir. Elde edilen numuneler ICP-AES cihazıyla analiz edilerek alt küllerdeki Cr, Cu, Fe, Cd, Al, Zn ve Pb elementleri içeriği belirlenmiştir. Çizelge 2.10'da analiz edilen küllerin metal içerikleri görülmektedir.

Çizelge 2.10. Petiou tesisi alt küllerindeki metal içerikleri (Kuo vd., 2007)

Metal İçeriği, %							
Metaller	Cr	Cu	Fe	Cd	Al	Zn	Pb
İlk Dönem							
Alt Külü	0,13	19,56	39,49	0,00	44,05	14,24	3,26
İkinci Dönem							
Alt Külü	0,27	5,07	41,94	3,70	34,47	10,84	2,81
Ortalama							
Alt Külü	0,20	12,32	40,72	1,85	39,26	12,54	3,04

Tesisinin alt külündeki Al, Fe, Cu ve Zn konsantrasyonları daha önce yapılmış olan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre diğer tesislere oranla oldukça fazla gözükürken Cr ve Cd konsantrasyonları oldukça düşüktür. Çizelge 2.11'de önceki çalışmalarla ilgili karşılaştırmalar görülmektedir.

Çizelge 2.11. Diğer çalışmalarla ilgili karşılaştırmalar (Kuo vd., 2007)

Metal	Alt Külü, mg/kg		
Cr	0,20	0,35	0,02-3
Cu	12,32	3,21	0,3-8
Fe	40,71	78,5	-
Cd	0,003	0,023	0,001-0,07
Al	39,26	102,00	-
Zn	12,52	5,41	1-7
Pb	3,03	2,78	0,1-14
Çalışma Adı	Petiou	Akashi	IAWG

Chiou vd. (2009)' a göre bir katı atık yakma tesisinden alınan alt küllerin kimyasal kompozisyonu incelenmiştir. Kül karakterizasyonu ICP-AES cihazı ile analiz edilmiştir. Alt küller 105°C'de kurutulduktan sonra 0.297 mm altına elenerek dayanıklı cüruf elde etmek amacıyla plazma fırınında 1500°C'de yakılarak hava ile soğutulup TLCP'ye uygun olarak liç işlemine tabi tutulmuştur. Liç sonrası elde edilen veriler incelendiğinde kayda değer miktarda metal içerikleri belirlenmiştir. Bu içerikler 1905 mg/kg Cu, 880 mg/kg Cr ve 336 mg/kg Zn olarak belirlenmiştir.

Li vd. (2009)'nin yapmış oldukları çalışmada çelik üretim tesisinin boyler cürufları kullanılmıştır. Curuflar kömür ve kireç ile pelletize edilerek 1000 °C'de 120 dakika boyunca sinterlenmiş ve liç işlemlerine hazır hale getirilmiştir. 4M H₂SO₄ ile 1/5 katı sıvı oranı ile 80°C'de 24 saat boyunca yapılan çözündürme işlemleri sonucu Al verimi % 86,50 ve aynı şartlar altında Fe verimi ise % 94,60 olarak belirlenmiştir. Sinterleme yapılmadan direk olarak liç yapılan numunelerde Al verimi yalnızca % 10,2 olarak tespit edilmiştir.

Long vd. (2013)'un yapmış oldukları çalışmada atık elektrik ve elektronik materyallerin pilot çapta bir tesiste yakıldıktan sonraki metal akışını ve çeşitli kimyasallarla çözündürülmesi sonucu konsantrasyonlarını incelemiştir. Yanma sonucu ortaya çıkan alt külden ve uçucu külden 4'er kg alınarak harmanlanmış ve 154 µm'nin altına öğütülmüştür. 0,250 gramlık numuneler hazırlanarak

HNO₃/HClO₄/HF ile çözüldürülmüş, 50 ml saf su ile seyreltilmiş ve 0,22µm membran filtreden geçirilmiştir. Daha sonra Tessier (1979)'in ardışık ekstraksiyon prosedürüne göre işlendikten sonra 0,22 µm membran filtreden geçirilerek içerisindeki metalik değerlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi için AAS ile analiz edilmiştir. Çizelge 2.12'de atıkların içindeki metalik değerlerin miktarı görülmektedir.

Çizelge 2.12. Atıkların yanmadan önceki metal içerikleri (Long vd., 2010)

Metal içeriği, mg/kg				
Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
3549	4575	5331	255	61

Analizler sonunda elde edilen verilere göre metallerin atıklardaki ve alt küldeki konsantrasyonları karşılaştırıldığında bakır ve kadmiyumun alt külde de yaklaşık aynı oranlarda olduğunu, çinko ve kurşunun 2,4 kat, nikelin ise yaklaşık 2 kat fazla olduğunu görmüştür.

Valighazvini vd. (2013)' nin yüksek fırın cürufundan titanyum kazanma çalışmalarında, kullanılan cüruf yaklaşık olarak % 2,7 titanyum içermektedir. 3 farklı tane boyut dağılımında sülfürik asitle liç deneyleri yapılmıştır. Tane boyutları <0,850 mm, 0,850-1.135 mm ve 2,35-3,36 mm olarak belirlenmiştir. Değişken parametreler olarak da asit derişimi, sıcaklık, ultrasonik zaman ve karıştırma hızları denenmiştir. 2 M Sülfürik asitle, 2 saat karıştırma süresi ve 600 d/d karıştırma hızı, 1/30 katı sıvı oranıyla, 20 dakikalık ultrasonik dalgada 65°C'de 0,85 mm boyutunda yapılan liç deneyinde % 98 titanyum kazanma verimi elde edilmiştir. Ultrasonik dalga kullanılmadan yapılan deneylerde titanyum kazanma verimi % 85'e kadar düşmüştür. Filtrasyondan sonra bir kez saf su ile yıkanarak ele edilen % 98'lik verim, yıkanmadan yapıldığında % 57 olarak belirlenmiştir.

Yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde, yakma fırınlarının atık ürünleri olan alt küllerin önemli ölçüde ikincil metal kaynağı olarak kullanılabileceği görülmüştür. Küllerin geri kazanım çalışmalarıyla önemli ölçüde yeniden kullanılabileceği ve ekonomik açıdan sağlayabileceği katkı görülmüştür. Atıl durumda bulunan

kaynakların değerlendirilmesi, katı atık yakma tesislerinin öneminin anlaşılması ve bu tesislerin sayısının artırılmasına yönelik oldukça önemli sonuçlar alınmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Çizelge 2.13'deki tablo oluşturulmuştur. Deney parametreleri ve deney tasarımı tablodaki veriler ışığında belirlenmiş ve uygulama aşamasında kaynak olarak ele alınmıştır.

Çizelge 2.13. Kimyasal yöntemlerle alt külünden metal kazanımı ile ilgili literatürde yapılan bazı önemli çalışmalar

	Liç Reaktifi	Deneysel Koşullar				Kazanım Verimi (%)	Kaynak
		Asit/Baz Derişimi (M)	Sıcaklık (°C)	Liç Süresi (saat)	Katı/Sıvı Oranı		
Cu	HNO ₃	1	25	24	1/20	60	Kinoshita vd., 2005
	Amonyum Sitrat	0,2		1	1/5	99,37	Van Gerven vd., 2007
	HCl	1	25	1/4	1/20	62	Kai vd., 2011
	HNO ₃	1	20	24	1/10	93,14	Barberio vd., 2010
	HCl	3		24	1/5	87	Fedje vd., 2010
	HNO ₃	3		24	1/5	81	
	NH ₄ NO ₃	3		24	1/5	68	
	EDTA	1		24	1/5	75	
Fe	H ₂ SO ₄	1	25	24	1/20	47	Kinoshita vd., 2005
	HCl	1	25	1/4	1/20	82	Kai vd., 2011
	H ₂ SO ₄	4	80	24	1/5	94,6	Li vd., 2009
Al	HCl	3		24	1/5	30	Fedje vd., 2010
	HNO ₃	3		24	1/5	28	Fedje vd., 2010
	HCl	1	25	1/4	1/20	80	Kai vd., 2011
	H ₂ SO ₄	4	80	24	1/5	86,5	Li vd., 2009
Ni	HCl	1	50	2	1/50	99,9	Parhi vd., 2013
	NaOH	3	80	1/2	1/25	70	Kubonova vd., 2013
	H ₂ SO ₄	2	80	1	1/50	70	
	H ₂ SO ₄	8	100	4	1/5	80	Meawad vd., 2010
	H ₂ SO ₄	% 8 v/v	25	1/2	1/10	96	Gharabaghi vd., 2013

V	NaOH	8	100	3	1/5	90	Meawad vd., 2010
	H ₂ SO ₄	% 5,4 v/v	90	8		74,49	Zhu vd., 2010
	H ₂ SO ₄	% 0,45 v/v	30	1	2 ml/g	76,88	
	H ₂ SO ₄	3	70	2,5	1/15	95	Aarabi-Karasgani vd., 2010
	H ₂ SO ₄	% 30 v/v	95	24	1 ml/g	51	Zhang vd., 2011
	H ₂ SiF ₆	% 20 v/v	95	8	1 ml/g	80	
Zn	HCl	1	25	1/4	1/20	98	Kai vd., 2011
	HCl	1	25	24	1/20	86	Kinoshita vd., 2005
	H ₂ SO ₄	1	25	24	1/20	88	
	HNO ₃	1	25	24	1/20	90	

3 İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma ve Yakma ve Değerlendirme A.Ş.)

3.1 Tesise Ait Genel Bilgileri

Çalışmalarda kullanılan alt küller tesisin diğer bir atık ürünü olan filtre pres keki ile birlikte İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma ve Yakma ve Değerlendirme A.Ş.)'dan resmi yazışma ve izinlerle alınmıştır. İZAYDAŞ, İzmit Entegre Çevre Projesi kapsamındaki projeleri işletmek üzere İzmit Büyükşehir Belediyesi tarafından 1996 yılında kurulmuştur. Tesis Çevre ve Orman Bakanlığının Yönetmeliklerine göre faaliyetlerini yürütmekte ve ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007, ISO 9001 ve 17025 belgelerine sahiptir. İZAYDAŞ, Türkiye'deki ilk atık bertaraf tesisi olarak bir taraftan atıkların bertarafını sağlarken diğer taraftan elektrik enerjisi üreterek ülke ekonomisine fayda sağlamaktadır. İZAYDAŞ'ın hizmet vermiş olduğu alanlar,

- Tehlikeli Atık Yakma ve Enerji Üretimi,
- Tehlikeli Atık Düzenli Depolama,
- Evsel ve Evsel Nitelikli Endüstriyel Atık
- Düzenli Depolama,
- Tıbbi Atık Sterilizasyonu,
- Deniz Atıkları Yönetimi,
- Hafriyat Atıkları Depolama,
- Biyogaz ve Entegre Enerji Üretimi,
- Laboratuvar Hizmetleri,
- Atık Taşıma Hizmetleri,
- Rüzgârdan Elektrik Üretim

35.000 ton/yıl yakma kapasiteli tesisin çalışma prensibi, endüstriden kaynaklanan yanabilir nitelikteki plastik atıklar, kullanılmış yağlar, PVC, solvent, boya atıkları, yapıştırıcı ve yapışkanlar, arıtma çamurları vb. tehlikeli atıklar ile klinik atıkların yakılarak bertaraf edilmesine dayanırken tesise, patlayıcı maddeler, radyoaktif

atıklar, mezbaha atıkları, kadavra, dışkı ile atık pil ve aküler kabul edilmemektedir (İZAYDAŞ A.Ş., 2010). Şekil 3.1’de İZAYDAŞ A.Ş. ‘nin genel görünümüne ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3.1. İZAYDAŞ A.Ş.’nin genel görünümü (İZAYDAŞ A.Ş., 2010)

Tesisin tasarım değişkenleri,

- Yakma kapasitesi : 5.400 kg/saat
 - Katı Atıklar : 3.800 kg/saat
 - Sıvı Atıklar : 1.600 kg/saat
- Isıl değer : 85 Gj/saat
- Elektrik üretimi : 5,2 MW/saat

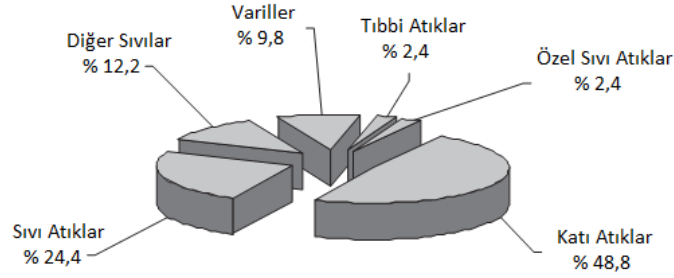
3.2 Tesisin Ana Bölümleri ve Akım Şeması

Tesis sahip olduğu 35.000 ton/yıl olan kapasitesinin atık azlığından dolayı genellikle % 80’ini kullanabilmektedir (Veli, 2007). 2013 yılı verilerine göre tesiste 32.533 ton atık yakılmıştır ve yaklaşık 15 milyon Kw/s elektrik enerjisi üretilmiştir. Tesise gelen

atıkların kabulüyle başlayan ve bertarafına kadar devam eden süreçler tesisin 6 ana bölümünde gerçekleştirilmektedir. Bu ana bölümler,

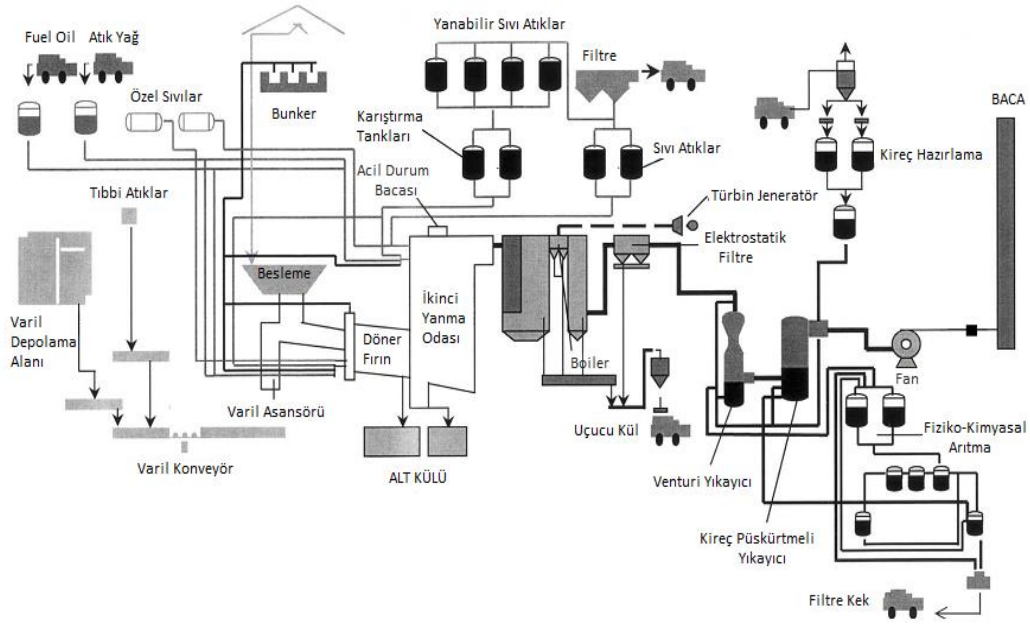
- Ara depolama alanları,
- Yakma,
- Buhar ve enerji üretim sistemi,
- Atık gaz arıtımı ve emisyon ölçüm sistemi,
- Atık su arıtım sistemi,
- Kül ve cüruf toplama sistemi olarak ayrılmıştır.

Atık kabulü ve yönetimi çerçevesinde, tesise gelen atıklardan alınan numuneler analiz edilerek tesise kabulünün uygunluğunun anlaşılmasından sonra bu atıklar fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre ara depolama alanlarında depolanırlar. Yakma sürecinin özellikleri doğrultusunda atıklardan uygun bir yakma menüsü oluşturulur. Bu menü oluşturulurken dikkat edilen özellikler, atıkların kalorifik değeri, yakma derecesi ve atıkların halojen içerikleridir (Veli, 2007). Tipik bir yakma menüsü Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. İZAYDAŞ' da tipik bir atık yakma menüsü (Veli, 2007).

Yasal yönetmelikteki gaz emisyonlarının sağlanabilmesi için yakma menüleri hazırlanırken halojenlerin maksimum konsantrasyonları ayarlanır. Bu ayarlamalarda % 4 klorin, % 5 iyodin, bromin ve florin, % 1 fosfor ve % 1 ağır metal içeriği istenmektedir (Veli, 2007). En uygun yakma derecesinin ayarlanmasında ise atıklar fuel oil ile zenginleştirilerek yakılır. Tesisin yakma üniteleri ve akım şeması Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. İZAYDAŞ A.Ş. yakma üniteleri ve akım şeması (Bakoğlu vd., 2003)

İZAYDAŞ A.Ş. yakma tesisinde yakma işlemi Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşama döner fırın ve ikinci aşama ise dikey yakma odasından oluşmaktadır (Durmuşoğlu, 2007). Döner fırına beslenen fuel oil ile zenginleştirilmiş olan atıklar, yakma derecesi 425-450 °C'ye ulaştığında döner fırının otomatik olarak dönmeye başlamasıyla yanmaya başlar. Döner fırının dönüş sayısı atığın miktarına ve bileşimine göre ayarlanabilmektedir. Normalde 5-8 d/saat dönerken 30 d/saate kadar döner fırının dönmesi sağlanabilmektedir. Dönüş hızının ayarlanmasındaki temel amaç döner fırın içindeki atığın karışması ve daha çok hava ile temas ederek her aşamada yanmasının sağlanmasıdır. İkinci bir fanla döner fırına hava besleyerek ortamdaki oksijenin % 8 olması sağlanır. 12 m uzunluk ve 4,2 m çapa sahip olan döner fırında atıkların 2 ila 2,5 saat boyunca 950-1050 °C'de yanması sağlanır. Döner fırının yatay düzleme olan % 2'lik eğimi ile atıkların fırın çıkışına doğru ilerlemesi sağlanır. Birinci yakma sonucu ortaya çıkan cüruf birinci yakma odası ile ikinci yakma odasının kesiştiği alandan yıkama odasına alınarak 10 dakika kadar suyla yıkanarak soğutulur. Buradan çıkan cüruflar alt kül adını alarak vagonlu konveyöre dökülerek toplanır ve depolama sahasına götürülür. Birinci yakma odası olan döner fırında yanma sonucu çıkan gazların tamamen bertaraf

edilebilmesi için bir kez daha yakılmak üzere ikinci yakma odasına alınırlar. İkinci yakma odası, 12 m yüksekliğinde ve 4,1 m çapa sahip olan bağımsız alev ünitesi ve fanlarla beslenen dikey bir ünedir. Döner fırından gelen gazların, alt kül yıkamasından gelen buhar ve sıvı atıkların 1150-1250 °C'de 2,5 saniye süresince yakılarak bertaraf edilmesi bu üniteye meydana gelmektedir (Durmuşoğlu, 2007).

İkinci yakma odasından gelen 1050-1250 °C sıcaklığa sahip olan atık gaz soğutma amacıyla 2500 m² ısıtma yüzeyine sahip olan atık ısı kazanına girmekte ve 180-200 °C de çıkmaktadır. Atık ısı kazanında 350 °C'de sıcaklık ve 40 bar basınçta maksimum 27,1 ton/saat buhar üretilmektedir. Üretilen buhar türbin jeneratör ünitesine gönderilerek maksimum 5,2 Mw/saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen elektriğin ihtiyaç olan kısmı kullanılmakta ve geri kalanı ulusal şebekeye satılmaktadır (İZAYDAŞ A.Ş., 2010).

Atık ısı kazanı çıkışında sıcaklığı 180-200 °C'ye düşen ve içerisinde büyük toz partikülleri bırakan atık gaz % 99 tutma verimine sahip elektrostatik filtreden geçirilir. Elektrostatik filtreden çıkan gaz venturi yıkayıcısında yıkılarak bünyesindeki halojen bileşikler ve ağır metaller tutulur. Gerekli görüldüğü hallerde yıkama suyuna % 10 oranında kireç takviyesi yapılır. Elektrostatik filtrede tutulan tozlar uçucu kül olarak adlandırılırlar ve geçirimsiz torbalara konularak depolanırlar (Veli, 2007).

Daha sonra damlacık tutuculardan geçirilen atık gaz, nötralizasyon, oksidasyon ve absorpsiyon bölümlerinden oluşan kireç püskürtmeli yıkayıcıda kireç sütü çözeltisi ile yıkılarak SO₂ ve arta kalan halojenler ile ağır metallerden arındırılırlar. Buradan çıkan gaz, dioksin-dibenzo furan ünitesinden geçirilmektedir. Fiziksel ve kimyasal olarak temizlenen 50-58 °C'de olan gaz fan yardımı ile 65 m yüksekliğinde ve 1,2 m çapa sahip olan bacadan fan yardımıyla atmosfere verilmektedir.

Hava kirliliğini kontrol ünitelerinden gelen atık su, fiziksel ve kimyasal atık su arıtım ünitesine gönderilir. Burada % 1'lik trimerkaptotriazin-Na (TMT-15), % 45'lik FeCl₃, % 0,1 polielektrolit ve % 10'luk kireç çözeltisi ile arıtılarak tankta toplanırlar. Daha

sonra bu tank filtre pres ünitesine gönderilerek susuzlandırma işlemi yapılarak filtre kek elde edilir ve depolama alanına gönderilir (Veli, 2007).

4 MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Malzemenin Karakteristik Özellikleri

Atık yakma tesisinde yakma işleminin gerçekleştiği döner fırın çıkışında bulunan kül ve cüruf toplama ünitesinden 2 parça halinde yaklaşık 100 kg alt kül ve filtre pres keki çıkışından da yine aynı şekilde yaklaşık 100 kg örnek numune alınmıştır. Islak halde alınan numuneler Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal ve Biyolojik Kazanım Laboratuvarına getirilmiştir. Oda sıcaklığında kurutulan alt küllerden yanmamış halde bulunan civata, tel, plastik gibi materyaller el yordamıyla ayıklanmıştır.

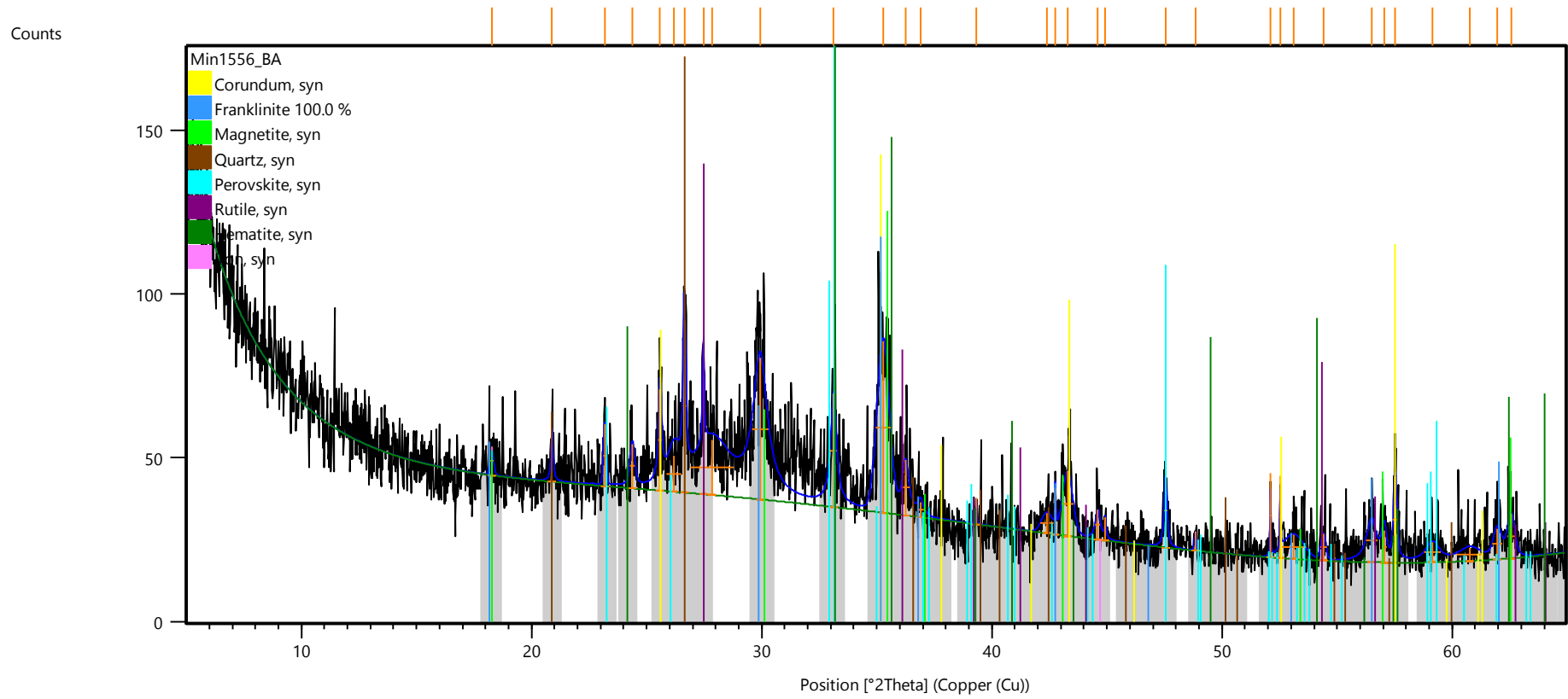
Kurumuş olan küllere konileme dörtleme numune azaltma yöntemi uygulanarak numunenin fiziksel, kimyasal ve minerolojik karakterizasyonlarını belirlemek için temsili örnekler alınmıştır. Temsili örneklere ilk olarak kimyasal analiz yapılmıştır. Kimyasal analizler ALS Minerals Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti.'nde AAS ve ICP-AES cihazları ile yapılmıştır. Bu analizlere göre alt küllerde ve filtre pres kekinde ana, tali ve iz miktarda birçok metal tespit edilmiştir. Alt külün ve filtre pres kekinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de görülmektedir. Kimyasal analizi incelediğimizde Fe, Cu, Mo, Ni, Zn ve V içeriklerinin kimyasal kazanım işlemleriyle kazanılabileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Alt küllerdeki ve filtre kekindeki metal içeriklerin ppm ve % miktarları

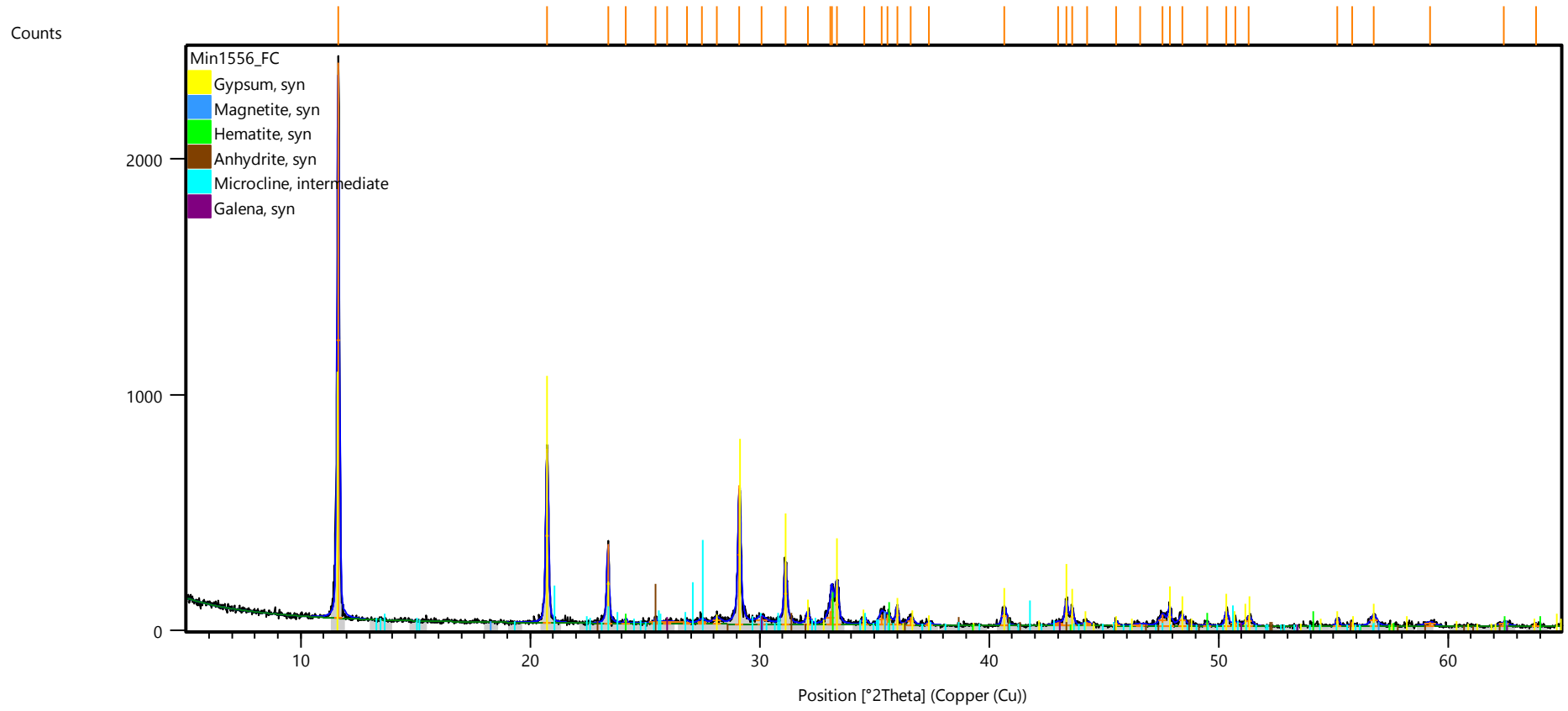
Element	Alt Küldeki İçeriği		Filtre Kekindeki içeriği	
	ppm	%	ppm	%
Ag	2		27,8	
Al		2,99		1,30
As	275		85	
B	630		320	
Bi	8		288	
Ca		4,75		14,51
Cd	<1		27,9	
Co	200		98	
Cr	1.482		885	
Cu	1.198		1.218	

Fe		11,81		4,6
Ga	<1		1	
Hg	<1		20	
K		0,18		0,14
La	10		1	
Mg		0,56		0,61
Mn	1.205		865	
Mo	1.524		437	
Na		2,57		0,42
Ni	4.130		468	
P	2.760		4.550	
Pb	824		10.000	1.595
S		0,46		8,76
Sb	32		68	
Sc	<1		1	
Sr	227		134	
Th	<1		1	
Ti		1,79		0,93
Tl	<1		1	
U	<1		1	
V	2.900		325	
W	650		310	
Zn	1.843		10.000	
Zn				1,470

Numuneler üzerinde XRD analizleri de yapılmıştır. Analizler ALS Minerals Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti.' nde yapılmıştır. Panalytical Empyrean model XRD cihazında yapılan analizler Şekil 4.1'de alt küller için, Şekil 4.2' da ise filtre keki için verilmiştir. XRD analiz sonuçlarında alt kül için korundum, manyetit, franklinit, kuvars, perovksite, rutile ve hematit gibi mineraller öne çıkmıştır. Filtre kekin XRD analiz sonuçları incelendiğinde ise jips, manyetit, hematit ve galen mineralleri dikkat çekmektedir.



Şekil 4.1. Alt kül numunesinin içeriğinin belirlenebilmesi için uygulanan XRD sonuçları



Şekil 4.2. Filtre kek numunesinin içeriğinin belirlenebilmesi için uygulanan XRD sonuçları

4.2 Yöntem

4.2.1 Ön hazırlama işlemleri

Deneysel çalışmalar materyallerin kimyasal çözünürlük farkından yararlanılmasını konu alan liç yöntemi ile yapılacağından alt küllerin liç öncesi hazırlanması gerekmektedir.

Alt küllerin liç işlemi için iri boyutta olmasından dolayı kırma ve ufalama aşamalarının uygulanması gerekmiştir. SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında yapılan çalışmalarda alt küllerin ve filtre kekinin topaklanmış yapısından dolayı merdaneli kırıcı ile kırılmasının uygun olduğu görülmüştür. Şekil 4.3’de görülen merdaneli kırıcı ile alt küllerin tamamının 500 µm boyutunun altına geçmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Boyut küçültme işlemlerinde kullanılan merdaneli kırıcı

500 µm’nin altına indirilen alt kül numunelerinden alınan temsili örneklere elek analizi yapılarak boyut dağılımları belirlenmiştir. Eleme işlemi Fritsch marka eleklerle titreşimli elek makinasında ve daha sonra da elle eleme yöntemiyle kontrollü şekilde yapılmıştır. Kullanılan elek serisi Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

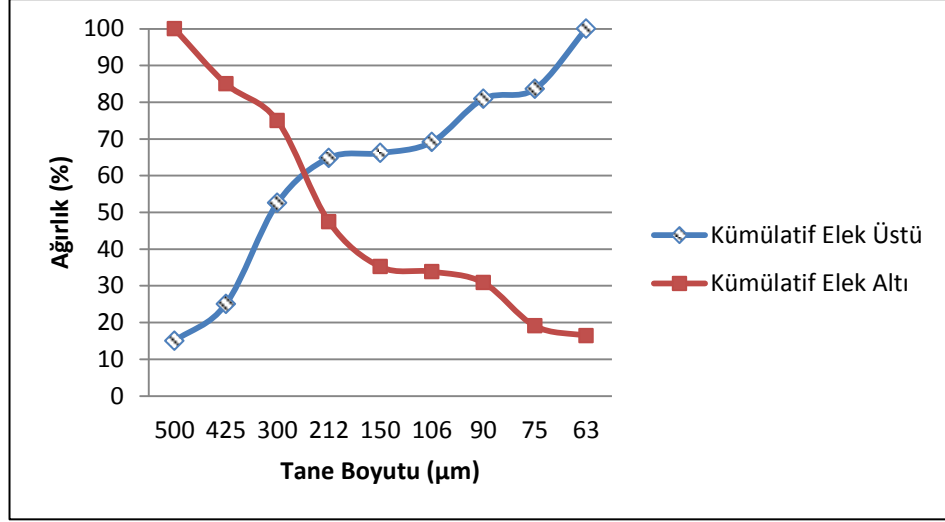
Çizelge 4.2. Alt küllerin elek analizinde kullanılan elek serisi

Kod	Elek Açıklığı (mm)
1	0,500
2	0,425
3	0,300
4	0,212
5	0,150
6	0,106
7	0,090
8	0,075
9	0,063

Verilen elek serisine göre yapılan elek analizleri sonucu Çizelge 4.3' de boyut dağılım grafiği de Şekil 4.4 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Elek analizleri sonuçları

Tane Boyutu (mm)		Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
-0,500	+0,425	14,99	14,99	100,00
-0,425	+0,300	10,07	25,06	85,02
-0,300	+0,212	27,50	52,56	74,95
-0,212	+0,150	12,25	64,81	47,45
-0,150	+0,106	1,33	66,14	35,20
-0,106	+0,090	3,01	69,15	33,87
-0,090	+0,075	11,78	80,93	30,86
-0,075	+0,063	2,68	83,60	19,08
-0,063		16,40	100,00	16,40



Şekil 4.4. Alt külün elek analizi sonucu kümülatif boyut dağılımı grafiği

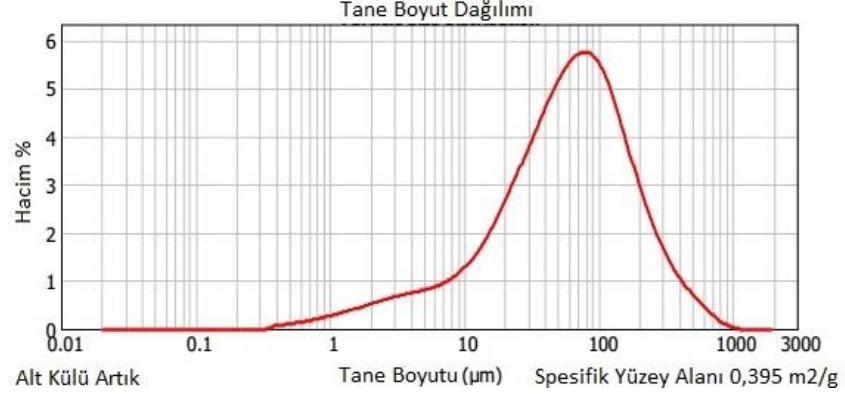
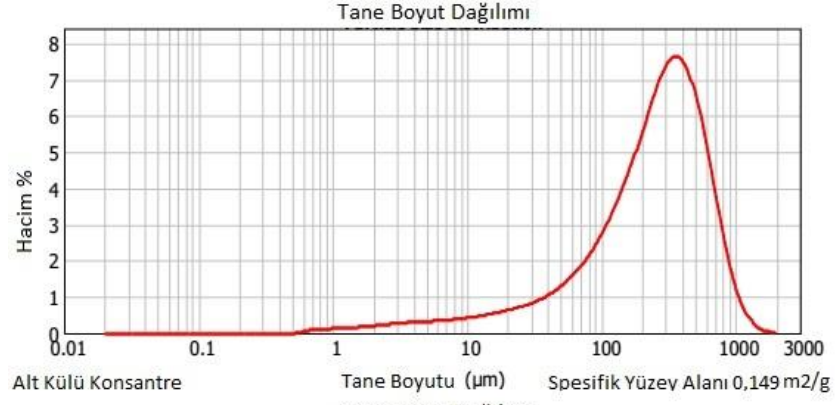
Alt kül numunelerinin XRD analiz sonuçları incelendiğinde manyetik özellik gösteren mineraller dikkat çekmiştir. Kimyasal kazanım yönteminde minerallerin çözünebilirliğinden yararlanıldığından dolayı manyetik özelliği bulunan mineraller manyetik ayırıcıyla ayrılmışlardır. SDÜ Cevher Hazırlama Laboratuvarında bulunan Carpco Inc. MIH.13.111-5 marka yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıdan numunenin tamamı geçirilerek ön zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Kuru manyetik ayırıcının çalışma parametreleri belirlenirken manyetik alan şiddeti XRD analizlerine göre manyetit varlığına göre seçilmiştir. Dworzanowski (2012) 'nin yaptığı çalışmada, manyetit içeriklerin 1000, 1500 ve 2000 gauss ile çalışan manyetik ayırıcıdaki kazanma verimleri aynı olmakla beraber 1000 gauss üzerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. 1000 gauss manyetik alan şiddetiyle ayırma işlemi yapılmıştır. Şekil 4.5'de kullanılan kuru manyetik ayırıcı görülmektedir.



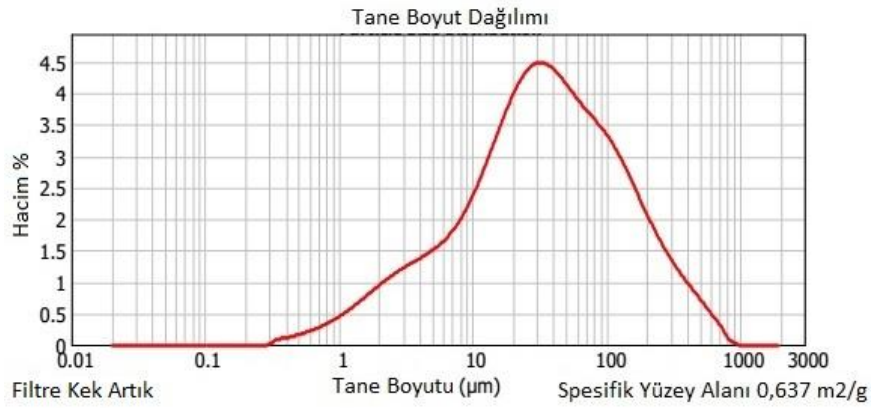
Şekil 4.5. Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı(Carpco Inc. MIH Marka)

Manyetik ayırıcı ile ön zenginleştirilmesi yapılan alt kül ve filtre kekinin manyetik özellik gösteren kısımları artık olarak nitelendirilmiştir. Manyetik özelliklerinden dolayı manyetik alan şiddeti kullanılarak zenginleştirme işlemi yapılabileceğinden dolayı bu kısımlar artık olarak kabul edilmiştir. Alt kül numunesinin yaklaşık olarak % 18'lik kısmı ve filtre kek numunesinin ise % 27'lik kısmının artık olarak alındığı gözlenmiştir.

Konsantre ve artık olarak ayrılan alt küller ve filtre kek numunelerinin tane boyut analizleri de yapılmıştır. Malvern marka Mastersizer 2000 model cihazda yapılan analizlerle numunelerin tane boyut dağılımları ve spesifik yüzey alanları belirlenmiştir. Dağılım grafikleri alt kül için Şekil 4.6 'da filtre kek içinse Şekil 4.7 'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, alt kül konsantre ürünün spesifik yüzey alanı $0,149 \text{ m}^2/\text{g}$, alt kül artık ürününün $0,395 \text{ m}^2/\text{g}$, filtre kek konsantre ürününün $0,543 \text{ m}^2/\text{g}$ ve filtre kek artık ürününün ise $0,637 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Alt kül numunelerine ait tane boyut dağılım grafiği



Şekil 4.7. Filtre kek numunelerine ait tane boyut dağılım grafiği

4.2.2 Çözündürme ve analizler

Ön liç ve ana liç testleri öncesinde alt küldeki ve filtre kekindeki metalik değerlerin belirlenebilmesi için analizler yapılmıştır. Alt kül ve filtre kekin ana numuneleri ile birlikte artık ve konsantre numuneleri üzerinde çözündürme ve sonrasında kimyasal analizi yapılmıştır. Çözündürme aşamasında, hacimce 3:1 oranında HCl:HN₃ olacak şekilde 6 ml HCl ile 2 ml HN₃ karıştırılarak kral suyu (aqua regia) çözeltisi hazırlanmıştır. 0,1'er gram tartılarak alınan numuneler tüp içerisine konularak hazırlanan çözelti ilave edilmiştir. Berghof marka mikrodalga ve basınç etkisiyle çözündürme işlemi gerçekleştiren cihazda numunenin kademeli olarak 190°C ulaşan sıcaklıkta 1 saat süreyle çözünmesi sağlanmıştır. Alınan çözeltinin filtre kağıdıyla süzülerek 50 ml hacime tamamlanmasıyla çözündürme işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen sıvı çözeltiler seyreltilerek Agilent marka 240 FS AA model AAS cihazı ve ICP-OES cihazı ile analizleri yapılmıştır. Analizlerde, alt külün artık ve konsantreleri için Cu, Fe, Mo, Ni ve V elementleri ölçülürken, filtre kekin artık ve konsantreleri için Cu, Fe, ve Zn ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.8'de analizlerin yapıldığı AAS cihazı görülmektedir.



Şekil 4.8. Agilent 240FS AA marka AAS cihazı

4.3 Ön Liç Deneyleri (Kinetik testler)

Yapılan literatür çalışmaları ışığında, detaylı kimyasal ve fiziksel analizlerin teorik olarak değerlendirilmesiyle ana liç deneyleri öncesinde, en uygun liç deney

parametrelerini belirleyebilmek için ön liç testleri yapılmıştır. Yapılan bu liç deneylerine kinetik test adı verilmiştir. Kinetik testlerde, derlenen deney parametrelerinin optimum kombinasyonda uygulanması ve gerekli ölçümlerle analizlerin yapılması ile de ana liç deney koşullarının daha etkili ve uygulanabilir olması amaçlanmıştır.

Kinetik testlerde; asit ve baz reaktifler, konsantrasyon oranı, K/S oranı, karıştırma hızı, sıcaklık, karıştırma süresi ve çalışma hacmi gibi parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerden K/S oranı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve sıcaklık sabit tutulmuş değişik konsantrasyonlarda asit ve baz çözümler uygulanmıştır. Asit çözümler olarak HCl ve H₂SO₄ ve baz çözümler olarak da NaOH seçilmiştir. Çizelge 4.4'de kinetik testlerde uygulanan parametreler görülmektedir.

Çizelge 4.4. Kinetik testlerde kullanılan parametreler

Parametreler	Açıklamalar
Numune Tipi	Alt Kül Konsantre Filtre Kek Konsantre Alt Kül Artık Filtre Kek Artık
Asit Derişimi	1M HCl 3M H ₂ SO ₄ 6M NaOH
Katı/Sıvı Oranı (K/S) (Sabit)	1/5
Karıştırma Hızı (Sabit)	170 d/dk
Liç Süresi (Sabit)	24 saat
Sıcaklık (Sabit)	25°C

Hazırlanan deney düzeneğinde Heidolph marka RZR 2021 model dijital overhead teflon uçlu karıştırıcı ile 600 ml'lik Isolab beherlerde 250 ml hacimde çalışılmıştır. Anlık pH ve ORP (oksidasyon redüksiyon potansiyeli) ölçümleri Thermo Scientific marka Orion Dual Star Benchtop model cihazla yapılmıştır. Her bir numune tipinden 50 gr alınarak yapılan kinetik testler 3 farklı asit/baz reaktifle uygulandığı için 12 adet test yapılmıştır. 24 saat süre boyunca sabit 170 d/dk ile 25°C'de karıştırma yapılırken testin 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18 ve 24'üncü saatlerinde pH ve ORP ölçümleri alınıp kaydedilmiştir. Aynı zamanda her bir ölçüm periyodunda 4 ml örnek

alınarak analiz için arşivlenmiş yerine de 4 ml saf su eklenerek testler tamamlanmıştır. Şekil 4.9'da kinetik test deney düzeneği ve alınan örnekler görülmektedir.



Şekil 4.9. Kinetik test deney düzeneği ve örnek tüpleri

4.4 Ana Liç Deneyleri

Kinetik liç deneyleri sonucunda yapılan AAS analizleri ve ORP verilerinin değerlendirilmesiyle ana liç deneylerinin parametreleri belirlenmiştir. Asidik ve alkali liç deneyleri olmak üzere iki farklı deney tipi tasarlanmıştır. Asidik liç deneylerinde H_2SO_4 ve HCl, alkali liç deneylerinde ise NaOH kullanılmıştır. Deneylerde sıcaklık ve karıştırma hızı sabit tutulurken çözelti derişimleri, katı/sıvı oranları ve liç süreleri değişkenler olarak tasarlanmıştır. Asit derişimleri H_2SO_4 için 1M/2M/3M/4M, HCl için 1M/2M/3M ve NaOH için ise 3M/6M/9M olarak, katı/sıvı oranları 1/5, 1/10, 1/25, 1/50, karıştırma hızı 170d/dk, liç süreleri ise 2 ila 4 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma hacmi 250 ml seçilmiş olup 600 ml'lik Isolab beherlerde çalışılmıştır. Çizelge 4.5'de ana liç deneyleri çalışma parametreleri görülmektedir.

Çizelge 4.5. Ana liç deneyleri çalışma parametreleri

Parametreler	Açıklama
Numune Tipi	Alt Kül Konsantre Filtre Kek Konsantre Alt Kül Artık Filtre Kek Artık
Asit Derişimi	1M/2M/3M HCl 1M/2M/3M/4M H_2SO_4 3M/6M/9M NaOH
Katı/Sıvı Oranı (K/S)	1/5-1/10-1/25-1/50
Karıştırma Hızı	170 d/dk
Liç Süresi	2-4 saat
Sıcaklık	25°C

Heidolph marka RZR 2021 model dijital overhead teflon uçlu karıştırıcı ünitesiyle 4'lü setler halinde gerçekleştirilen deneylerde alt külün konsantre ve artığının HCl ile liç işlemi 4 saat diğer tüm deneyler ise 2 saatte tamamlanmıştır. 25 °C de yapılan deneyler sonunda çözeltiler filtre kağıdıyla süzölmüş, sıvı kısımları 50 ml'lik kapalı numune kutularına alınarak soğutucuda muhafaza edilmişlerdir. Şekil 4.10 'da liç deney düzeneği ve Şekil 4.11'de de çözeltilerin filtre kağıdından süzölmesi ve 50 ml'lik vialli kutularda saklanması görülmektedir.



Şekil 4.10. Ana liç deneyleri 4'lü çalışma



Şekil 4.11. Çözeltilerin filtrasyonu ve sıvı örnek alımı

Liç işlemi sonrası soğutucuda muhafaza edilen örneklerin kimyasal analizleri Agilent marka 240 FS AA model AAS cihazı ile yapılmıştır ve alt küller için Cu, Fe, Mo, Ni ve V, filtre kek içinse Cu, Fe, Zn okumaları yapılmıştır.

4.4.1 Ana liç deneyleri tasarımı

4.4.1.1 Alt kül konsantre ürünü deney tasarımı

Alt kül konsantre ürünleri için deney tasarımı yapılırken sıcaklık 25°C ve karıştırma hızı 170 d/dk'da sabit tutulurken reaktif derişimleri ve katı/sıvı oranları değiştirilmiştir. Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de deney parametreleri görölmektedir.

Çizelge 4.6. Alt kül konsantre ürünü HCl liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre (saat)
BAKHA 1	1M HCl	1/5	4
BAKHA 2	1M HCl	1/10	4
BAKHA 3	1M HCl	1/25	4
BAKHA 4	1M HCl	1/50	4
BAKHA 5	2M HCl	1/5	4
BAKHA 6	2M HCl	1/10	4
BAKHA 7	2M HCl	1/25	4
BAKHA 8	2M HCl	1/50	4
BAKHA 9	3M HCl	1/5	4
BAKHA 10	3M HCl	1/10	4
BAKHA 11	3M HCl	1/25	4
BAKHA 12	3M HCl	1/50	4

BAKHA: Alt Kül(bottom ash) Konsantre Hidroklorik Asit

Çizelge 4.7. Alt kül konsantre ürünü H₂SO₄ liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
BAKSA 1	1M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAKSA 2	1M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAKSA 3	1M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAKSA 4	1M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAKSA 5	2M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAKSA 6	2M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAKSA 7	2M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAKSA 8	2M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAKSA 9	3M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAKSA 10	3M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAKSA 11	3M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAKSA 12	3M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAKSA 13	4M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAKSA 14	4M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAKSA 15	4M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAKSA 16	4M H ₂ SO ₄	1/50	2

BAKSA: Alt Kül(bottom ash) Konsantre Sülfürik Asit

Çizelge 4.8. Alt kül konsantre ürünü NaOH liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
BAKSH 1	3M NaOH	1/5	2
BAKSH 2	3M NaOH	1/10	2
BAKSH 3	3M NaOH	1/25	2
BAKSH 4	3M NaOH	1/50	2
BAKSH 5	6M NaOH	1/5	2
BAKSH 6	6M NaOH	1/10	2
BAKSH 7	6M NaOH	1/25	2
BAKSH 8	6M NaOH	1/50	2
BAKSH 9	9M NaOH	1/5	2
BAKSH 10	9M NaOH	1/10	2
BAKSH 11	9M NaOH	1/25	2
BAKSH 12	9M NaOH	1/50	2

BAKSH: Alt kül(bottom ash) Konsantre Sodyum Hidroksit

4.4.1.2 Alt kül artık ürünü deney tasarımı

Alt kül artık ürünleri için deney tasarımı yapılırken konsantre ürünlerde olduğu gibi ; sıcaklık 25°C ve karıştırma hızı 170 d/dk' da sabit tutulurken reaktif derişimleri ve katı/sıvı oranları değiştirilmiştir. Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de deney parametreleri görölmektedir.

Çizelge 4.9 Alt kül artık ürünü HCl liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
BAAHA 1	1M HCl	1/5	4
BAAHA 2	1M HCl	1/10	4
BAAHA 3	1M HCl	1/25	4
BAAHA 4	1M HCl	1/50	4
BAAHA 5	2M HCl	1/5	4
BAAHA 6	2M HCl	1/10	4
BAAHA 7	2M HCl	1/25	4
BAAHA 8	2M HCl	1/50	4
BAAHA 9	3M HCl	1/5	4
BAAHA 10	3M HCl	1/10	4
BAAHA 11	3M HCl	1/25	4
BAAHA 12	3M HCl	1/50	4

BAAHA: Alt Kül(bottom ash) Artık Hidroklorik Asit

Çizelge 4.10. Alt kül artık ürünü H₂SO₄ liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
BAASA 1	1M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAASA 2	1M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAASA 3	1M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAASA 4	1M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAASA 5	2M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAASA 6	2M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAASA 7	2M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAASA 8	2M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAASA 9	3M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAASA 10	3M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAASA 11	3M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAASA 12	3M H ₂ SO ₄	1/50	2
BAASA 13	4M H ₂ SO ₄	1/5	2
BAASA 14	4M H ₂ SO ₄	1/10	2
BAASA 15	4M H ₂ SO ₄	1/25	2
BAASA 16	4M H ₂ SO ₄	1/50	2

BAASA: Alt kül (bottom ash) artık Sülfürik Asit

Çizelge 4.11. Alt kül artık ürünü NaOH liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
BAASH 1	3M NaOH	1/5	2
BAASH 2	3M NaOH	1/10	2
BAASH 3	3M NaOH	1/25	2
BAASH 4	3M NaOH	1/50	2
BAASH 5	6M NaOH	1/5	2
BAASH 6	6M NaOH	1/10	2
BAASH 7	6M NaOH	1/25	2
BAASH 8	6M NaOH	1/50	2
BAASH 9	9M NaOH	1/5	2
BAASH 10	9M NaOH	1/10	2
BAASH 11	9M NaOH	1/25	2
BAASH 12	9M NaOH	1/50	2

BAASH: Alt Kül (bottom ash) Artık Sodyum Hidroksit

4.4.1.3 Filtre kek konsantre ürünü deney tasarımı

Filtre kek konsantre ürünleri için deney tasarımı yapılırken sıcaklık 25°C ve karıştırma hızı 170 d/dk' da sabit tutulurken reaktif derişimleri ve katı/sıvı oranları değiştirilmiştir. Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de deney parametreleri görölmektedir.

Çizelge 4.12. Filtre kek konsantre ürünü HCl liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
FCKHA 1	1M HCl	1/5	2
FCKHA 2	1M HCl	1/10	2
FCKHA 3	1M HCl	1/25	2
FCKHA 4	1M HCl	1/50	2
FCKHA 5	2M HCl	1/5	2
FCKHA 6	2M HCl	1/10	2
FCKHA 7	2M HCl	1/25	2
FCKHA 8	2M HCl	1/50	2
FCKHA 9	3M HCl	1/5	2
FCKHA 10	3M HCl	1/10	2
FCKHA 11	3M HCl	1/25	2
FCKHA 12	3M HCl	1/50	2

FCKHA: Filtre Kek(filter cake) Konsantre Hidroklorik Asit

Çizelge 4.13. Filtre kek konsantre ürünü H₂SO₄ liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
FCKSA 1	1M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCKSA 2	1M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCKSA 3	1M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCKSA 4	1M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCKSA 5	2M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCKSA 6	2M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCKSA 7	2M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCKSA 8	2M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCKSA 9	3M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCKSA 10	3M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCKSA 11	3M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCKSA 12	3M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCKSA 13	4M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCKSA 14	4M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCKSA 15	4M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCKSA 16	4M H ₂ SO ₄	1/50	2

FCKSA: Filtre Kek (filter cake) Konsantre Sülfürik Asit

Çizelge 4.14.Filtre kek konsantre ürünü NaOH liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre (saat)
FCKSH 1	3M NaOH	1/5	2
FCKSH 2	3M NaOH	1/10	2
FCKSH 3	3M NaOH	1/25	2
FCKSH 4	3M NaOH	1/50	2
FCKSH 5	6M NaOH	1/5	2
FCKSH 6	6M NaOH	1/10	2
FCKSH 7	6M NaOH	1/25	2
FCKSH 8	6M NaOH	1/50	2
FCKSH 9	9M NaOH	1/5	2
FCKSH 10	9M NaOH	1/10	2
FCKSH 11	9M NaOH	1/25	2
FCKSH 12	9M NaOH	1/50	2

FCKSH: Filtre Kek (FilterCake) Konsantre Sodyum Hidroksit

4.4.1.4 Filtre kek artık ürünleri deney tasarımı

Filtre kek artık ürünleri için deney tasarımı yapılırken sıcaklık 25°C ve karıştırma hızı 170 d/dk' da sabit tutulurken reaktif derişimleri ve katı/sıvı oranları değiştirilmiştir. Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de deney parametreleri görölmektedir.

Çizelge 4.15. Filtre kek artık ürünleri HCl liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
FCAHA 1	1M HCl	1/5	2
FCAHA 2	1M HCl	1/10	2
FCAHA 3	1M HCl	1/25	2
FCAHA 4	1M HCl	1/50	2
FCAHA 5	2M HCl	1/5	2
FCAHA 6	2M HCl	1/10	2
FCAHA 7	2M HCl	1/25	2
FCAHA 8	2M HCl	1/50	2
FCAHA 9	3M HCl	1/5	2
FCAHA 10	3M HCl	1/10	2
FCAHA 11	3M HCl	1/25	2
FCAHA 12	3M HCl	1/50	2

FCAHA: Filtre Kek (filter cake) Artık Hidroklorik Asit

Çizelge 4.16. Filtre kek artık ürünü H₂SO₄ liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
FCASA 1	1M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCASA 2	1M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCASA 3	1M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCASA 4	1M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCASA 5	2M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCASA 6	2M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCASA 7	2M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCASA 8	2M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCASA 9	3M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCASA 10	3M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCASA 11	3M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCASA 12	3M H ₂ SO ₄	1/50	2
FCASA 13	4M H ₂ SO ₄	1/5	2
FCASA 14	4M H ₂ SO ₄	1/10	2
FCASA 15	4M H ₂ SO ₄	1/25	2
FCASA 16	4M H ₂ SO ₄	1/50	2

FCASA: Filtre Kek (filter cake) Artık Sülfürik Asit

Çizelge 4.17. Filtre kek artık ürünü NaOH liçi deney tasarımı

Deney Kodu	Reaktif	K/S Oranı	Süre(saat)
FCASH 1	3M NaOH	1/5	2
FCASH 2	3M NaOH	1/10	2
FCASH 3	3M NaOH	1/25	2
FCASH 4	3M NaOH	1/50	2
FCASH 5	6M NaOH	1/5	2
FCASH 6	6M NaOH	1/10	2
FCASH 7	6M NaOH	1/25	2
FCASH 8	6M NaOH	1/50	2
FCASH 9	9M NaOH	1/5	2
FCASH 10	9M NaOH	1/10	2
FCASH 11	9M NaOH	1/25	2
FCASH 12	9M NaOH	1/50	2

FCASH: Filtre Kek (filter cake) Artık Sodyum Hidroksit

4.4.2 2 L reaktör deneyleri

Ana liç deneylerinde 250 ml çalışma hacminde elde edilen verilerden optimum kazanım değerlerini sunan parametreler geliştirilerek 2 L hacime sahip reaktörde 1500 ml çalışma hacminde tekrarlanmıştır. Sıcaklığın kontrollü değişken olarak eklendiği; 25°C ve 80°C sıcaklıkta, 1/5 katı/sıvı oranında yapılan deneylerde, çalışma hacminin artması ve sıcaklık faktörünün etkileri araştırılmıştır. KGW Isotherm marka 2 L'lik ceketli tipte su devirdaimi ile birlikte çalışan reaktörde, IKA Euorostar marka dijital teflon uçlu karıştırıcı ile 250 d/dk karıştırma hızı ile gerçekleştirilen deneyler 2 ila 4 saatlik sürelerde tamamlanmıştır. Şekil 4.12'de deneylerin gerçekleştirildiği reaktör görülmektedir.



Şekil 4.12. Kgw Isotherm marka 2 lt reaktör

Optimum kazanım verimleri alınan deneylerden düzenlenen parametreler ile yapılan deney tasarımı alt kül konsantre ve artık ürünü için Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Alt kül ürünleri için 2 L reaktör deney tasarımı

		Reaktif	Sıcaklık (°C)	Zaman (sa)
Alt Kül Konsantre Ürünü	BAKP 21	2M HCl	25	4
	BAKP 22	3M H ₂ SO ₄	25	2
	BAKP 81	2M HCl	80	4
	BAKP 82	3M H ₂ SO ₄	80	2
Alt Kül Artık Ürünü	BAAP 23	3M HCl	25	4
	BAAP 24	3M H ₂ SO ₄	25	2
	BAAP 83	3M HCl	80	4
	BAAP 84	3M H ₂ SO ₄	80	2

Filtre kek ürünleri için oluşturulan deney tasarımları Çizelge 4.19’da görülmektedir.

Çizelge 4.19. Filtre kek ürünleri için 2 L reaktör deney tasarımı

		Reaktif	Sıcaklık (°C)	Zaman (sa)
Filtre Kek Konsantre Ürünü	FCKP 25	3M HCl	25	2
	FCKP 26	3M H ₂ SO ₄	25	2
	FCKP 85	3M HCl	80	2
	FCKP 86	3M H ₂ SO ₄	80	2
Filtre Kek Artık Ürünü	FCAP 27	2M HCl	25	2
	FCAP 28	2M H ₂ SO ₄	25	2
	FCAP 87	2M HCl	80	2
	FCAP 88	2M H ₂ SO ₄	80	2

5 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1 Çözündürme ve Analiz Sonuçları

Liç işlemleri öncesinde alt küllerin ve filtre kekin kimyasal karakterizasyonunu belirlemek için yapılan ICP-OES ve AAS analizi sonucu ortaya çıkan değerler Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Çözündürme ve analiz sonuçları

	Analiz Sonuçları, ppm					
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Zn
Alt Kül Besleme	1.198	118.000	1.524	4.130	2.900	-
Alt Kül Konsantre	772	79.630	1.309	2.50	1.283	-
Alt Kül Artık	1.589	140.800	1.827	5.648	3.360	-
Filtre Kek Besleme	1.218	46.000	-	-	-	14.700
Filtre Kek Konsantre	1.214	40.670	-	-	-	12.120
Filtre Kek Artık	1.055	47.060	-	-	-	10.400

Besleme ürünlerine yapılan kimyasal analizin dışında manyetik ayırmadan geçirildikten sonra konsantre ve artık ürünler için de AAS ile kimyasal analiz yapılmıştır. Bu sonuçlara göre; alt kül besleme ürününde Cu 1198 ppm, Fe 118000 ppm, Mo 1524 ppm, Ni 4130 ppm, alt kül konsantresinde Cu 772 ppm, Fe 79630 ppm, Mo 1309 ppm, Ni 2750 ppm, alt kül artığında Cu 1589 ppm, Fe 140800 ppm, Mo 1827 ppm, Ni 5648 ppm olarak tespit edilmiştir. Filtre kek beslemesinde, Cu 1218 ppm, Fe 46000 ppm, Zn 14700 ppm, filtre kek konsantresinde Cu 1214 ppm, Fe 40670 ppm, Zn 12120 ppm, filtre kek artığında Cu 1055 ppm, Fe 47060 ppm, Zn 10400 ppm belirlenmiştir.

5.2 Ön Liç Deneyleri (Kinetik Test) Sonuçları

5.2.1 Kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçları

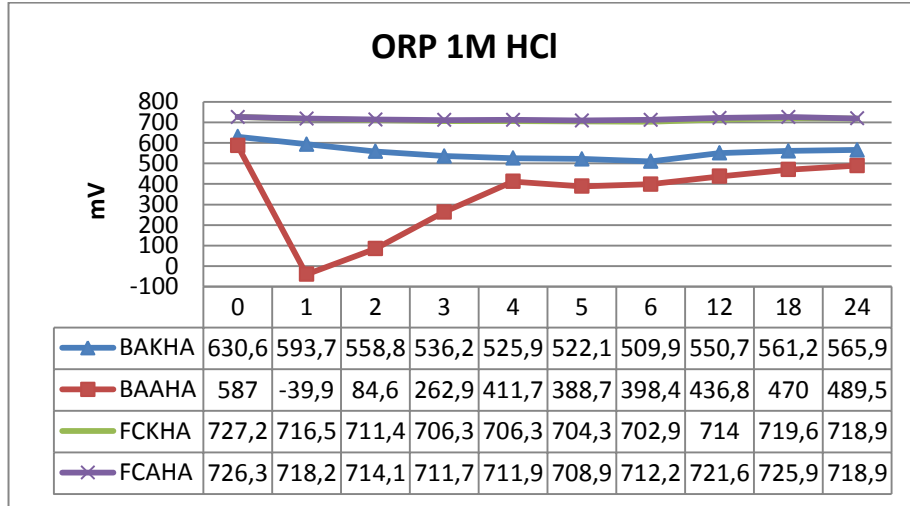
Ana liç parametrelerini belirlemek için teorik çalışmalardan derlenen sonuçlarla oluşturulan parametrelerle ön liç deneyleri (kinetik testler) yapılmıştır. Bu testler sonucu elde edilen veriler tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Numune kodlamaları; **BAKHA** (Alt kül (bottom ash) konsantre Hidroklorik asit), **BAKSA** (Alt kül (bottom ash) konsantre Sülfürik asit), **BAKSH** (Alt kül (bottom ash) konsantre Sodyum Hidroksit), **BAAHA** (Alt kül (bottom ash) artık Hidroklorik asit), **BAASA** (Alt kül (bottom ash) artık Sülfürik asit), **BAASH** (Alt kül (bottom ash) artık Sodyum hidroksit), **FCKHA** (Filtre kek (filter cake) konsantre Hidroklorik asit), **FCKSA** (Filtre kek (filter cake) konsantre Sülfürik asit), **FCKSH** (Filtre kek (filter cake) konsantre Sodyum hidroksit), **FCAHA** (Filtre kek (filter cake) artık Hidroklorik asit), **FCASA** (Filtre kek (filter cake) artık Sülfürik asit), **FCASH** (Filtre kek (filter cake) artık Sodyum hidroksit) şeklinde belirtilmiştir.

5.2.1.1 HCl ile yapılan kinetik testler

Asidik reaktif olarak seçilen HCl ile 1M derişimde 1/5 katı oranında 170 d/dk karıştırma hızı ile 25°C de gerçekleştirilen testlerde elde edilen ORP ve pH ölçümü sonuçları Çizelge 5.2' de grafiği ise Şekil 5.1' de verilmiştir. Sonuçlara göre alt külün konsantre ve artıklarında 4. saatin sonunda ORP değerleri bir önceki okumaya göre yaklaşık aynı değerleri vermektedir. Filtre kek konsantre ve artıkları içinse aynı sonuçlar 2. saatin sonunda elde edilmektedir.

Çizelge 5.2. HCl ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçlar

Süre (Saat)	1M HCl 1/5 K/S 170 d/d 25°C							
	BAKHA		BAAHA		FCKHA		FCAHA	
	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP
0	1,072	630,6	0,938	587	1,023	727,2	1,251	726,3
1	0,912	593,7	2,35	-39,9	0,775	716,5	0,94	718,2
2	1,24	558,8	2,658	84,6	0,8	711,4	1,429	714,1
3	1,71	536,2	2,31	262,9	0,735	706,3	1,035	711,7
4	1,925	525,9	2,621	411,7	0,797	706,3	1,017	711,9
5	2,022	522,1	2,764	388,7	0,885	704,3	1,074	708,9
6	2,221	509,9	2,85	398,4	1,011	702,9	1,072	712,2
12	2,425	550,7	2,834	436,8	0,854	714	1,008	721,6
18	2,313	561,2	2,66	470	0,931	719,6	1,043	725,9
24	1,92	565,9	2,88	489,5	1,09	718,9	1,054	718,9



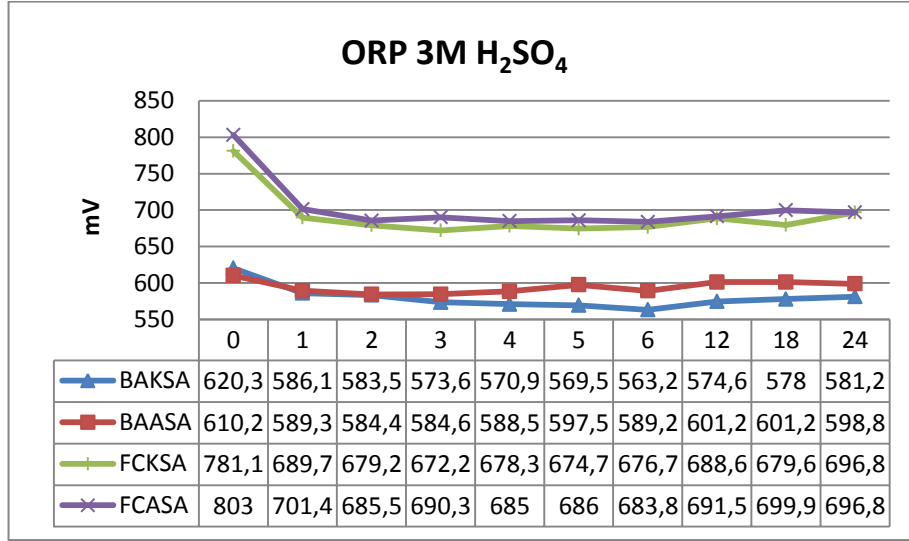
Şekil 5.1.HCl ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği

5.2.1.2 H₂SO₄ ile yapılan kinetik testler

Bir başka asidik reaktif olarak seçilen H₂SO₄ ile 3M derişimde 1/5 katı oranında 170 d/dk karıştırma hızı ile 25°C de gerçekleştirilen testlerde elde edilen ORP ve pH ölçümü sonuçları Çizelge 5.3'de grafiği ise Şekil 5.2'de verilmiştir. Sonuçlara göre alt kül ile filtre kekinin konsantre ve artıklarında 2. saatin sonunda ORP değerleri bir önceki okumaya göre yaklaşık aynı değerleri vermektedir.

Çizelge 5.3. H₂SO₄ ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçlar

3M H ₂ SO ₄ 1/5 K/S 170 d/d 25°C								
Süre (saat)	BAKSA		BAASA		FCKSA		FCASA	
	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP
0	1,001	620,3	0,592	610,2	0,948	781,1	1,198	803
1	0,76	586,1	0,683	589,3	1,132	689,7	1,137	701,4
2	0,642	583,5	0,811	584,4	1,134	679,2	1,355	685,5
3	0,743	573,6	0,792	584,6	1,098	672,2	1,206	690,3
4	0,777	570,9	0,708	588,5	1,066	678,3	1,197	685
5	0,749	569,5	0,878	597,5	1,22	674,7	1,183	686
6	0,866	563,2	0,871	589,2	1,155	676,7	1,224	683,8
12	0,878	574,6	0,861	601,2	1,009	688,6	1,104	691,5
18	0,858	578	0,795	601,2	1,127	679,6	1,055	699,9
24	0,869	581,2	0,877	598,8	1,094	696,8	1,024	696,8



Şekil 5.2. H₂SO₄ ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği

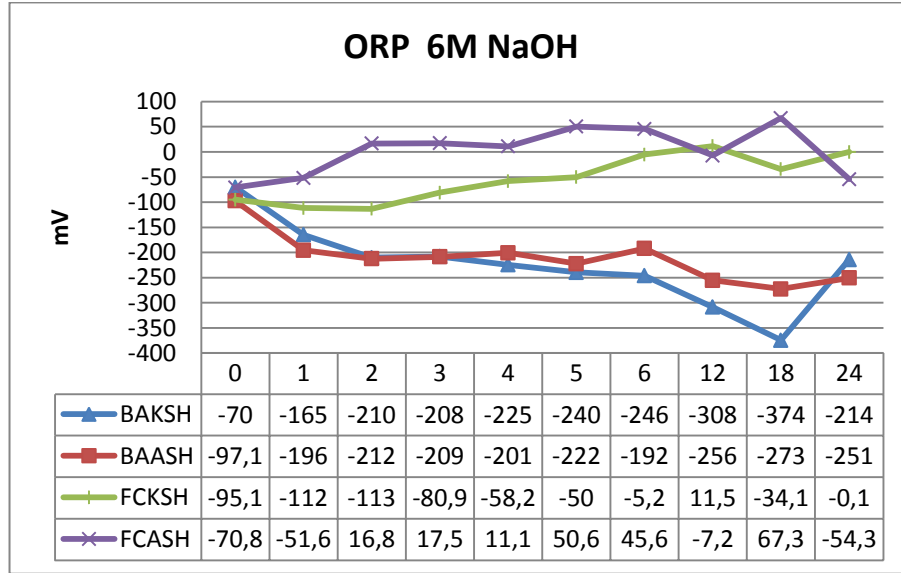
5.2.1.3 NaOH ile yapılan kinetik testler

Alkali reaktif olarak seçilen NaOH ile 6M derişimde 1/5 katı oranında 170 d/dk karıştırma hızı ile 25°C de gerçekleştirilen testlerde elde edilen ORP ve pH ölçümü sonuçları Çizelge 5.4'de grafiği ise Şekil 5.3 'de verilmiştir. Sonuçlara göre alt kül ile

filtre kekinin konsantre ve artıklarında 2. saatin sonunda ORP değerleri bir önceki okumaya göre yaklaşık aynı değerleri vermektedir.

Çizelge 5.4. NaOH ile yapılan kinetik testlerin ORP ve pH ölçümü sonuçları

Süre (saat)	6M NaOH 1/5 K/S 170 d/d 25°C							
	BAKSH		BAASH		FCKSH		FCASH	
	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP	pH	ORP
0	11,71	-70	12,4	-97,1	13,498	-95,1	13,275	-70,8
1	11,45	-164,8	12,46	-195,7	13,575	-111,6	13,045	-51,6
2	11,84	-210,24	12,166	-212,4	13,43	-113,2	13,357	16,8
3	11,65	-208,1	12,728	-208,5	13,438	-80,9	13,142	17,5
4	12,116	-224,5	12,402	-200,8	13,443	-58,2	13,207	11,1
5	12,63	-239,6	12,898	-222,3	13,41	-50	13,203	50,6
6	12,542	-246,1	12,679	-191,9	13,336	-5,2	13,531	45,6
12	12,792	-308,4	13,151	-255,5	13,447	11,5	13,192	-7,2
18	13,045	-374,3	13,135	-272,6	13,307	-34,1	13,283	67,3
24	12,87	-213,9	13,123	-250,6	13,367	-0,1	13,158	-54,3



Şekil 5.3. NaOH ile yapılan kinetik testlerin ORP sonuç grafiği

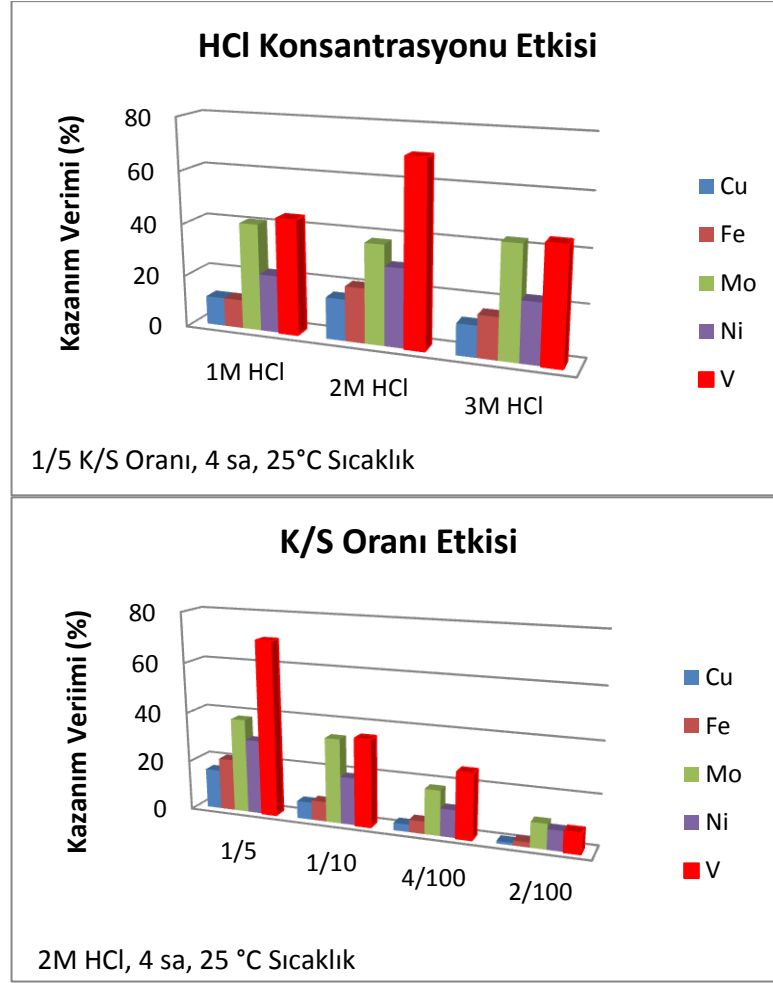
5.3 Ana Liç Deneyleri Sonuçları

5.3.1 Alt kül konsantresi ana liç deney sonuçları

Alt kül konsantre ürünlerinin belirlenen deney tasarımı çerçevesinde 25°C sıcaklık ve 170 d/dk karıştırma hızıyla yapılan liç deneylerinden HCl ile çözündürme işlemi sonrası Cu, Fe, Mo, Ni ve V konsantrasyon ve kazanım değerleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve kazanım verimi Çizelge 5.6’de, NaOH liçi konsantrasyon ve kazanım verimleri ise Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelgelerde görülen sonuçlarla oluşturulan grafiklerden HCl liçi grafiği ise Şekil 5.4’de verilmiştir. Grafiğe göre Cu, Fe ve Ni için en yüksek kazanımlar 2 M HCl ile gerçekleşirken Mo için 3 M HCl olarak gerçekleşmiştir. Katı /sıvı oranları grafiği incelendiğinde en yüksek verimlerin daha fazla katı oranlarında yani 1/5 katı sıvı oranında gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 5.5. Alt kül Konsantre ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Konsantre					Kazanım Verimi (%)				
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAKHA 1	85	8506	532	603	570	11	11	41	22	44
BAKHA 2	57	5126	380	460	166	7	6	29	17	13
BAKHA 3	50	2862	130	276	101	6	4	10	10	8
BAKHA 4	11	8755	105	204	51	1	11	8	7	4
BAKHA 5	127	16900	496	816	896	16	21	38	30	70
BAKHA 6	52	6698	445	524	446	7	8	34	19	35
BAKHA 7	22	3785	234	296	334	3	5	18	11	26
BAKHA 8	11	1655	134	223	100	1	2	10	8	8
BAKHA 9	91	12700	562	631	567	12	16	43	23	44
BAKHA 10	54	7385	557	501	188	7	9	43	18	15
BAKHA 11	22	2871	223	303	105	3	4	8	11	8
BAKHA 12	11	1604	109	227	61	1	2	8	8	5

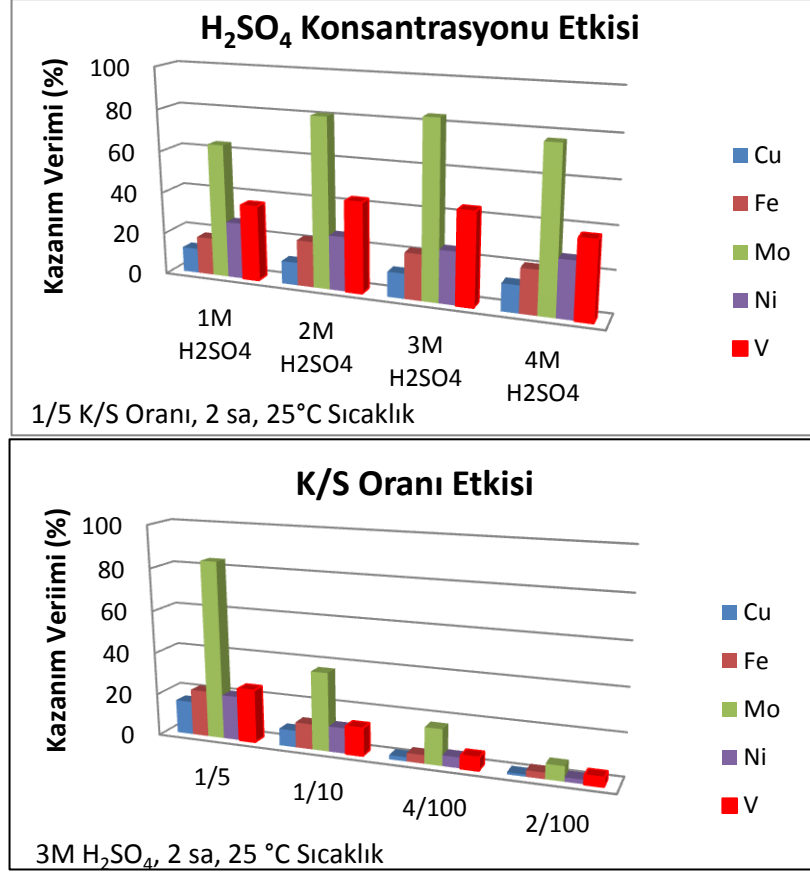


Şekil 5.4. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Çizelge 5.6' da verilen değerler ve Şekil 5.5' de çizilen grafik incelendiğinde H_2SO_4 liçinde 3 M H_2SO_4 tüm metaller için en etkin verim oranlarını sağlamıştır. Mo artan derişim ile kazanım verimini artırmış ve % 84 ile en yüksek kazanım verimini yakalamıştır. Diğer metaller için asit derişimi önemli bir fark yaratmamıştır. Katı sıvı oranı grafiği dikkate alındığında ise Mo için 1/5 ve 1/10 katı sıvı oranları yaklaşık aynı sonuçları verirken diğer metaller için en etkin 1/5 olmuştur.

Çizelge 5.6. Alt kül konsantre ürünü H₂SO₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Konsantre									
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAKSA 1	93	14260	838	730	457	12	18	64	27	36
BAKSA 2	35	5923	602	359	131	5	7	46	13	10
BAKSA 3	14	2400	177	120	65	2	3	14	4	5
BAKSA 4	7	948	99	66	34	1	1	8	2	3
BAKSA 5	87	17435	1061	702	549	11	22	81	26	43
BAKSA 6	34	8566	591	385	162	4	11	45	14	13
BAKSA 7	13	3654	213	135	72	2	5	16	5	6
BAKSA 8	7	1050	93	52	42	1	1	7	2	3
BAKSA 9	95	17321	1096	701	567	12	22	84	25	44
BAKSA 10	33	7765	676	344	174	4	10	52	13	14
BAKSA 11	14	3005	232	132	81	2	4	18	5	6
BAKSA 12	7	890	105	49	44	1	1	8	2	3
BAKSA 13	103	16870	1002	730	479	13	21	77	27	37
BAKSA 14	37	5334	511	307	156	5	7	39	11	12
BAKSA 15	14	2094	180	120	77	2	3	14	4	6
BAKSA 16	6	1175	115	47	43	1	1	9	2	3

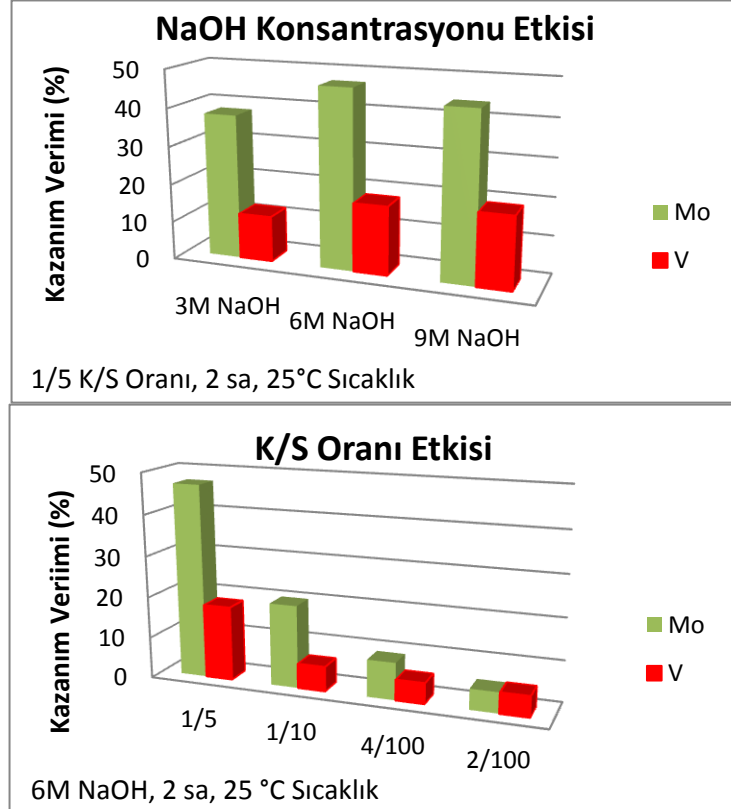


Şekil 5.5. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Alkali liçi sonuçları incelendiğinde Çizelge 5.7' de görülen sonuçlara göre NaOH 'in çözücü olarak kullanıldığı bu deneylerde Mo ve V için düşük oranda kazanım değerleri elde edilirken diğer metaller için ise kayda değer kazanım verimlerine ulaşılamamıştır. Şeki 5.6' daki grafik incelendiğinde 6M NaOH liçinde Mo % 47, V ise % 18 kazanım veriminde kalmıştır. En yüksek kazanım verimleri en yüksek katı/sıvı oranlarında yani 1/5 K/S oranında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.7. Alt kül konsantre ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Konsantre									
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAKSH 1	<1	<10	503	<2	153	-	-	38	-	12
BAKSH 2	<1	<10	202	<2	51	-	-	15	-	4
BAKSH 3	<1	<10	114	<2	20	-	-	9	-	2
BAKSH 4	<1	<10	68	<2	28	-	-	5	-	2
BAKSH 5	<1	<10	620	<2	231	-	-	47	-	18
BAKSH 6	<1	<10	256	<2	77	-	-	20	-	6
BAKSH 7	<1	<10	118	<2	61	-	-	9	-	5
BAKSH 8	<1	<10	70	<2	58	-	-	5	-	5
BAKSH 9	<1	<10	580	<2	239	-	-	44	-	19
BAKSH 10	<1	<10	196	<2	80	-	-	15	-	6
BAKSH 11	<1	<10	145	<2	60	-	-	11	-	5
BAKSH 12	<1	<10	72	<2	55	-	-	6	-	4



Şekil 5.6. NaOH liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Alt kül konsantre ürününün asidik ve alkali liç sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde HCl ve H₂SO₄ liçinin NaOH liçine göre daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Alt külün mineralojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda Ni içeren bileşiklerden NiO'nin en fazla inert yapıya sahip olduğu ve çözünmediği, Ni(OH)₂ 'nin alkali ortamlarda çözünmeyip asidik ortamlarda çözünebildiği ve yeşil görünümlü Ni⁺² formunu aldığı, NiSO₄ suda çözünebilmesinin dışında Ni(OH)₂ ile aynı özellikleri gösterdiği bilinmektedir. Demir bileşikleri incelendiğinde Fe₂O₃'ün sadece asitte çözünebildiği ve renksiz Fe⁺³ formunu aldığı, FeSO₄.7H₂O nun da yine alkali ortamda çözünmeyip asit ve su ortamında çözünebildiği ve Fe⁺² formunu aldığı görülmüştür (Ognyanova vd. 2009).

Mo'nun ise alkali ortamda daha yüksek verimle kazanılması beklenirken asidik çözücülerle çözünmesinde daha olumlu sonuçlar alınmıştır. Atmosferik koşullarda düşük alkali ortamda V ve Mo kazanımları sınırlı oranda gerçekleşmektedir (Ferella vd., 2011).

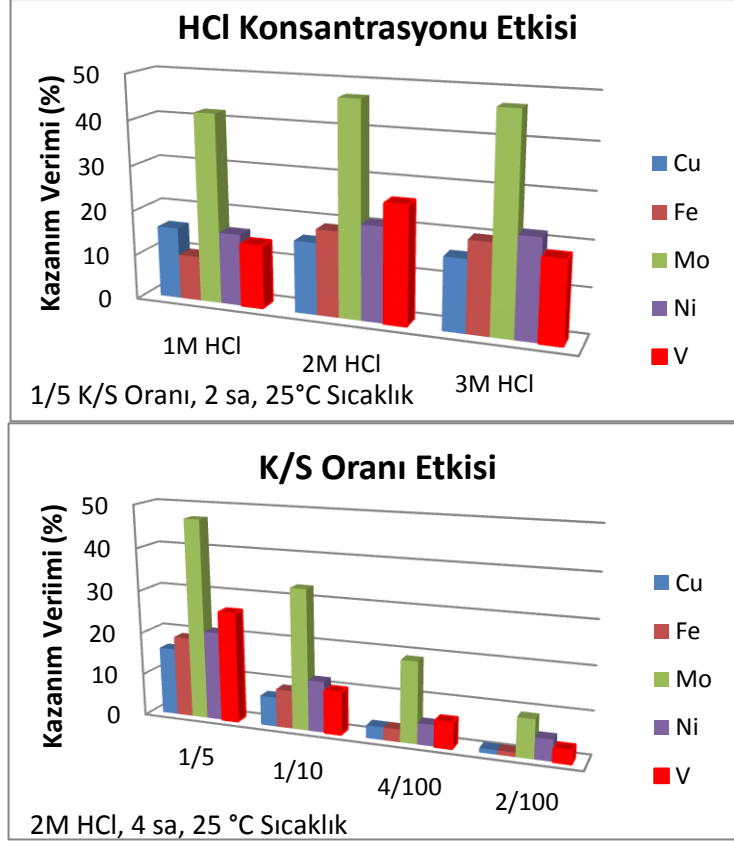
Reaktif derişimleri 2M HCl asit ve 3M H₂SO₄ olarak kullanıldığında verimler maksimuma ulaşmış daha düşük ve daha yüksek derişimlerde azalan verimler gözlenmiştir. Katı/sıvı oranının kazanım verimlerine etkisine bakıldığında en yüksek verimlerin katı oranın fazla olduğu deneylerde gözlenmesi ve kazanım konsantrasyonlarının oransal olarak dikkatle incelenmesiyle 1/5 ile 1/10 K/S oranları karşılaştırıldığında, kazanım oranlarının doğrusal olarak değişmesi beklenirken doğrusaldan fazla olması daha yüksek katı oranında daha yüksek verime ulaşabileceğini düşündürmektedir. Farklı katı/sıvı oranlarındaki verimlerin lineer olmayan eğimi ve çözücü derişimlerinin artmasının çözünmeye etkisinin fazla olmadığı görüldüğü düşük katı/sıvı oranı ile yapılan deneylerde katı kütlesinin azlığından dolayı verim düşüklüğünü açıklanabilir. Ayrıca malzemenin homojen olmayan yapısı düşük hacimli çalışmalarda kazanım verimi düşüklüğü ile kendini göstermektedir.

5.3.2 Alt kül artık ürünü ana liç deney sonuçları

Alt kül artık ürünlerinin belirlenen deney tasarımı çerçevesinde 25°C sıcaklık ve 170 d/dk karıştırma hızıyla yapılan liç deneylerinden HCl ile çözündürme işlemi sonrası Cu, Fe, Mo, Ni ve V konsantrasyon ve kazanım değerleri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. H₂SO₄ liçi için Çizelge 5.9’ da, NaOH liçi için ise Çizelge 5.10’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Alt kül artık ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Artık									
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAAHA 1	257	14260	775	910	462	16	10	42	16	14
BAAHA 2	111	7656	564	642	230	7	5	31	11	7
BAAHA 3	40	2564	228	310	120	3	2	12	5	4
BAAHA 4	22	996	144	140	78	1	1	8	2	2
BAAHA 5	256	26995	850	1206	857	16	19	47	21	26
BAAHA 6	108	12654	600	686	345	7	9	33	12	10
BAAHA 7	45	4190	339	297	189	3	3	19	5	6
BAAHA 8	22	1123	158	296	101	1	1	9	5	3
BAAHA 9	261	28793	861	1265	593	16	20	47	22	18
BAAHA 10	111	13658	697	784	264	7	10	38	14	8
BAAHA 11	41	5637	386	290	188	4	4	21	5	6
BAAHA 12	23	1120	208	147	96	1	1	11	3	3



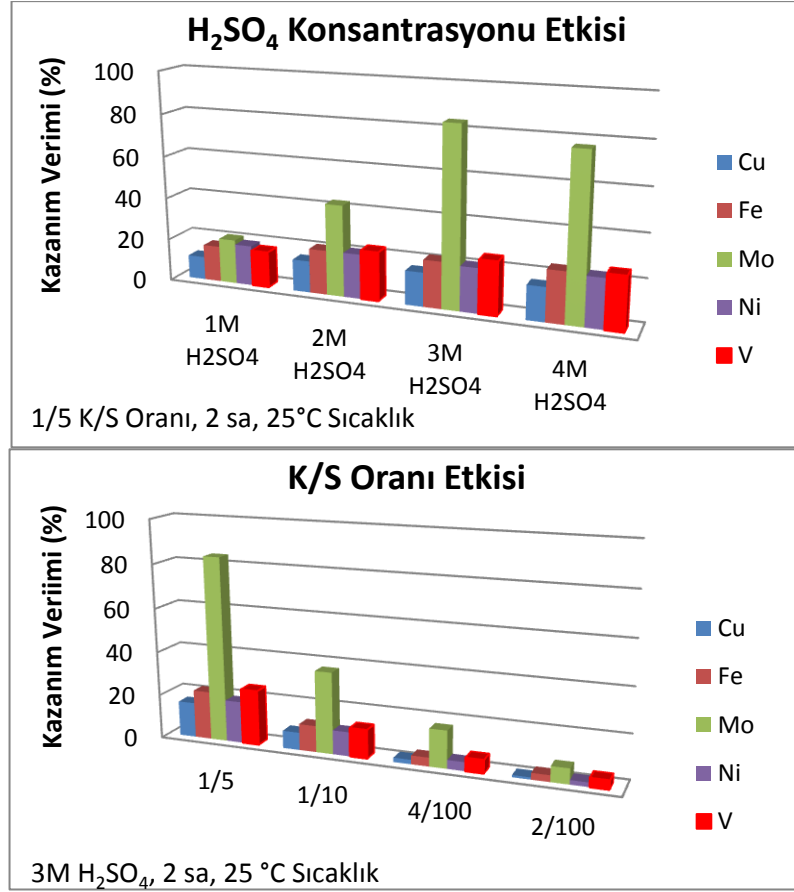
Şekil 5.7. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Şekil 5.7' da verilen HCl asit liçi konsantrasyon grafiğinde 3M HCl konsantrasyonunda Cu % 16, Fe % 20, Mo % 47, Ni % 22 ve V % 18 kazanım verimleri elde edilmiştir. Asit konsantrasyonundaki değişim diğer metaller için kayda değer bir fark yaratmazken Mo için kazanım oranını yarıdan fazla artırmıştır. Katı/sıvı oranı etkisi incelendiğinde en yüksek verimin 1/5 katı oranında gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 5.9. Alt kül artık ürünü H₂SO₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Artık									
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAASA 1	180	23255	380	1048	566	11	17	21	19	17
BAASA 2	81	15130	481	600	212	5	11	26	11	6
BAASA 3	30	8152	314	249	145	2	6	17	4	4
BAASA 4	16	3101	164	122	88	1	2	9	2	3
BAASA 5	232	29680	793	1183	776	15	21	43	21	23
BAASA 6	96	14658	350	640	356	6	10	19	11	11
BAASA 7	31	6000	360	286	156	2	4	20	5	5
BAASA 8	15	5354	150	153	96	1	4	8	3	3
BAASA 9	255	31643	1534	1196	849	16	22	84	21	25
BAASA 10	120	16357	680	699	425	8	12	37	12	13
BAASA 11	36	5971	316	289	210	2	4	17	5	6
BAASA 12	17	4343	127	139	119	1	3	7	2	4
BAASA 13	250	33572	1405	1298	830	16	24	77	23	25
BAASA 14	106	16485	608	684	402	7	12	33	12	12
BAASA 15	35	6061	334	265	286	2	4	18	5	9
BAASA 16	19	3470	104	138	145	1	2	6	2	4

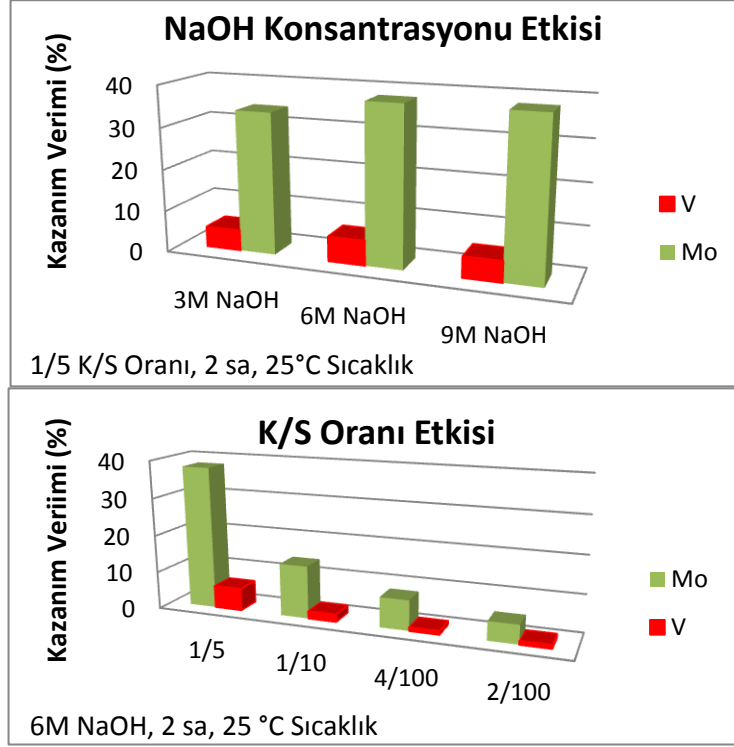
Şekil 5.8' de verilen H₂SO₄ liçinin grafiklerine göre 3 M H₂SO₄ ile gerçekleştirilen deney sonucunda Mo için gerçekleşen maksimum verim olan % 84 elde edilmiştir. Fe 4M H₂SO₄ ile en yüksek verimini sağlarken Cu ve Ni için konsantrasyon değişimi kazanım verimini etkilememiştir. Katı/sıvı oranı grafiği incelendiğinde tüm metaller için 1/5 K/S oranı en etkili verim sonuçlarını getirmiştir.



Şekil 5.8. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Çizelge 5.10. Alt kül artık ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Alt Kül Artık									
	Konsantrasyonlar (mg/l)					Kazanım Verimi (%)				
	Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAASH 1	<1	<10	630	<2	160	-	-	34	-	5
BAASH 2	<1	<10	242	<2	48	-	-	13	-	1
BAASH 3	<1	<10	165	<2	15	-	-	9	-	1
BAASH 4	<1	<10	102	<2	11	-	-	6	-	1
BAASH 5	<1	<10	702	<2	215	-	-	38	-	6
BAASH 6	<1	<10	257	<2	71	-	-	14	-	2
BAASH 7	<1	<10	145	<2	21	-	-	8	-	1
BAASH 8	<1	<10	98	<2	13	-	-	5	-	1
BAASH 9	<1	<10	696	<2	174	-	-	38	-	5
BAASH 10	<1	<10	268	<2	89	-	-	15	-	3
BAASH 11	<1	<10	136	<2	34	-	-	7	-	1
BAASH 12	<1	<10	92	<2	12	-	-	5	-	1



Şekil 5.9. NaOH liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Alt kül artık ürünlerin NaOH liçi ile deney sonuçları incelendiğinde Cu, Fe ve Ni için kazanım elde edilemezken Mo için 1/5 katı/sıvı oranında 3, 6 ve 9 M NaOH konsantrasyonlarında benzer verimler elde edilerek maksimum % 38 kazanım elde edilmiştir. V kazanım verimleri de düşük oranda seyrederek % 6 oranını geçememiştir.

Alt kül artık ürünü liç sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde Cu verimi iki asitle de aynı kazanım değerini sağlamış diğer tüm metallerde H₂SO₄ asit verimleri yüksek olurken NaOH liçi Mo dışında kayda değer sonuçlar getirmemiştir. V kazanımında alkali liçinden daha olumlu kazanım verimleri beklenirken bu gerçekleşmemiş ve konsantre ürünlere göre asidik liç verimler yarı yarı azalmıştır.

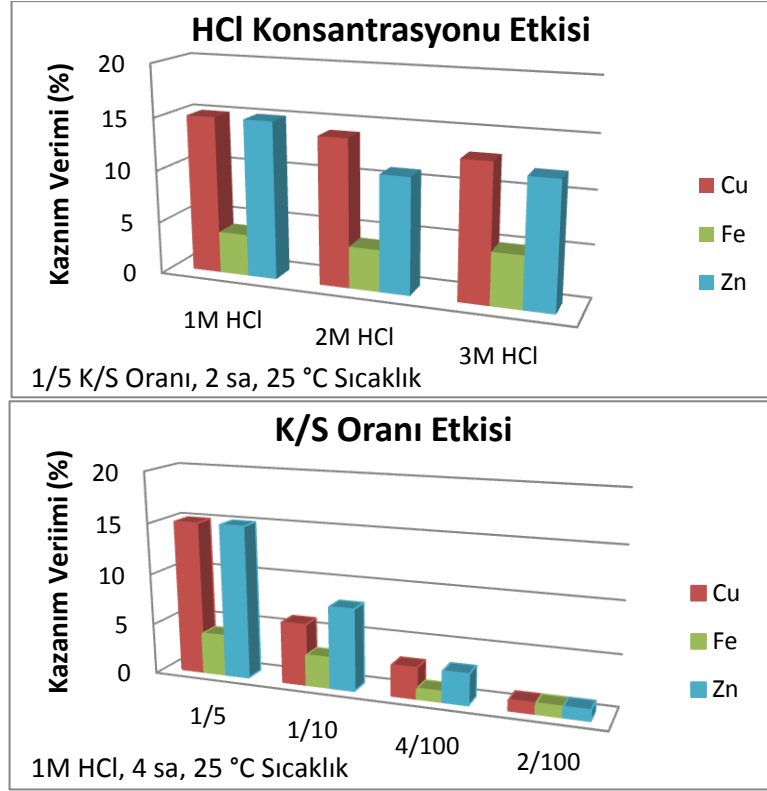
5.3.3 Filtre kek konsantre ürünü ana liç deney sonuçları

Filtre kek konsantre ürünlerinin belirlenen deney tasarımı çerçevesinde 25°C sıcaklık ve 170 d/dk karıştırma hızıyla yapılan liç deneylerinden HCl ile çözündürme işlemi sonrası Cu, Fe, ve Zn konsantrasyon ve kazanım değerleri Çizelge 5.11’de gösterilmiştir. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve kazanım verimi Çizelge 5.12’de, NaOH liçi konsantrasyon ve kazanım verimleri ise Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Filtre kek konsantre ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Konsantre					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCKHA 1	188	1769	1872	15	4	15
FCKHA 2	78	1447	965	6	3	8
FCKHA 3	31	558	342	3	1	3
FCKHA 4	16	298	114	1	1	1
FCKHA 5	171	2031	1313	14	4	11
FCKHA 6	79	1305	709	7	3	6
FCKHA 7	31	586	226	3	1	2
FCKHA 8	16	291	98	1	1	1
FCKHA 9	157	2537	1397	13	5	12
FCKHA 10	77	1382	752	6	3	6
FCKHA 11	31	665	234	3	1	2
FCKHA 12	16	313	49	1	1	0

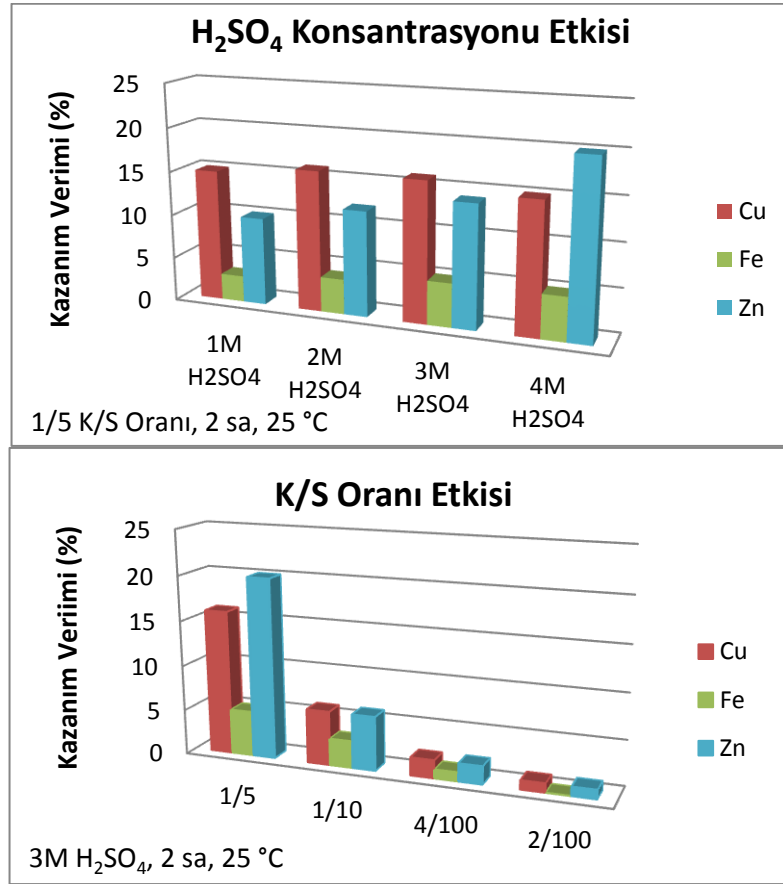
Şekil 5.10’de verilen grafiğe göre filtre kek konsantre ürününün HCl ile liçinde asit derişiminin herhangi bir verim değişimine katkı sağlamadığı görülmektedir. Katı/sıvı grafiği incelendiğinde ise en yüksek verimler 1/5 katı/sıvı oranında gerçekteşmektedir.



Şekil 5.10. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Çizelge 5.12. Filtre kek konsantre ürünü H₂SO₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Konsantre					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCKSA 1	180	1642	1230	15	3	10
FCKAA 2	80	1066	686	7	2	6
FCKSA 3	32	488	271	3	1	2
FCKSA 4	15	196	124	1	0	1
FCKSA 5	190	1992	1490	16	4	12
FCKSA 6	79	1176	776	7	2	6
FCKSA 7	30	588	402	2	1	3
FCKSA 8	15	215	130	1	0	1
FCKSA 9	191	2205	1720	16	5	14
FCKSA 10	77	1330	741	6	3	6
FCKSA 11	30	540	334	2	1	3
FCKSA 12	15	235	137	1	0	1
FCKSA 13	188	2434	2438	15	5	20
FCKSA14	76	1274	746	6	3	6
FCKSA 15	30	492	301	2	1	2
FCKSA 16	15	219	130	1	0	1



Şekil 5.11. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Şekil 5.11’de verilen filtre kek konsantre ürününün H₂SO₄ ile liçinin grafiği incelendiğinde asit derişimin kazanım veriminde değişim yaratmadığı 1/5 katı/sıvı oranında en yüksek verimlerin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 5.13’de verilen NaOH liçi deney sonuçlarına göre Cu ve Fe metalllerinde kayda değer bir kazanım verimi elde edilemezken Zn için maksimum % 3 kazanım elde edilmiştir. 1/5 katı oranında 2M ve 3M NaOH için kazanım verimi % 3 olmuştur.

Çizelge 5.13. Filtre kek konsantre ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Konsantre					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCKSH 1	<1	<1	230	-	-	2
FCKSH 2	<1	<1	199	-	-	2
FCKSH 3	<1	<1	110	-	-	1
FCKSH 4	<1	<1	61	-	-	1
FCKSH 5	<1	<1	306	-	-	3
FCKSH 6	<1	<1	247	-	-	2
FCKSH 7	<1	<1	135	-	-	1
FCKSH 8	<1	<1	74	-	-	1
FCKSH9	<1	<1	330	-	-	3
FCKSH 10	<1	<1	278	-	-	2
FCKSH 11	<1	<1	143	-	-	1
FCKSH 12	<1	<1	73	-	-	1

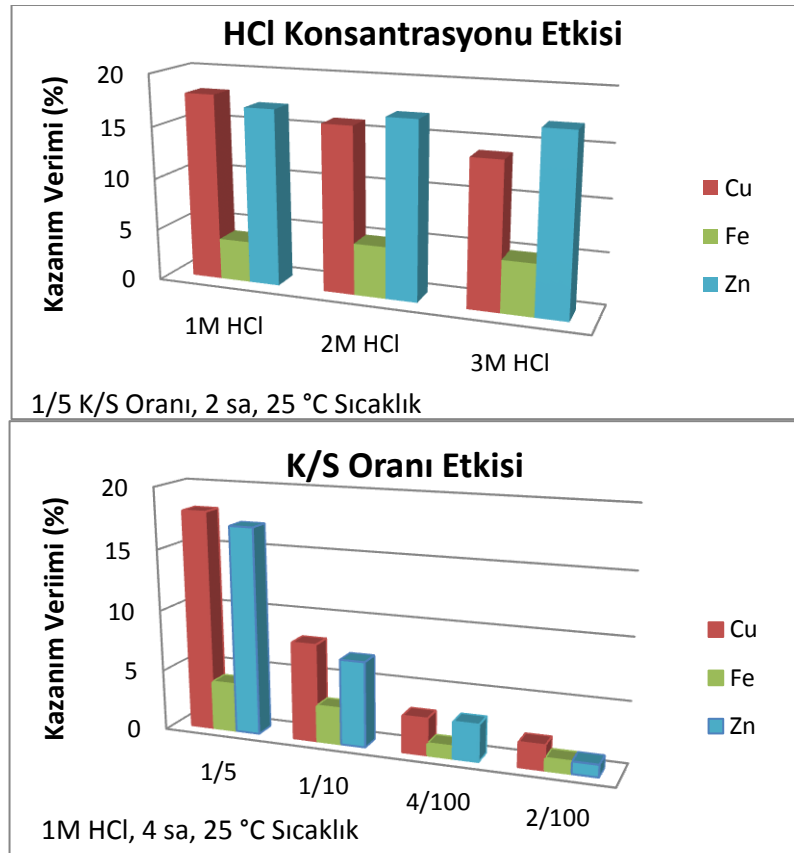
5.3.4 Filtre kek artık ürünü ana liç deney sonuçları

Filtre kek artık ürünlerinin belirlenen deney tasarımı çerçevesinde 25°C sıcaklık ve 170 d/dk karıştırma hızıyla yapılan liç deneylerinden HCl ile çözündürme işlemi sonrası Cu, Fe, ve Zn konsantrasyon ve kazanım değerleri Çizelge 5.14’de gösterilmiştir. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve kazanım verimi Çizelge 5.15’de, NaOH liçi konsantrasyon ve kazanım verimleri ise Çizelge 5.16’de verilmiştir.

Şekil 5.12’ de verilen filtre kek artık ürünü HCl liçi verimleri incelendiğindem HCl konsantrasyonunun kazanım verimlerini etkilemediği ve 1/5 katı/sıvı oranında maksimum verimlerin elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.14. Filtre kek artık ürünü HCl liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Artık					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCAHA 1	191	1806	1802	18	4	17
FCAHA 2	80	1134	733	8	3	7
FCAHA 3	31	569	277	3	1	3
FCAHA 4	16	290	110	2	1	1
FCAHA 5	172	2151	1730	16	5	17
FCAHA 6	77	1282	780	7	3	8
FCAHA 7	31	594	290	3	1	3
FCAHA 8	16	340	144	2	1	1
FCAHA 9	149	2164	1795	14	5	17
FCAHA 10	76	1452	733	7	4	7
FCAHA 11	30	651	285	3	2	3
FCAHA 12	17	327	164	2	1	2



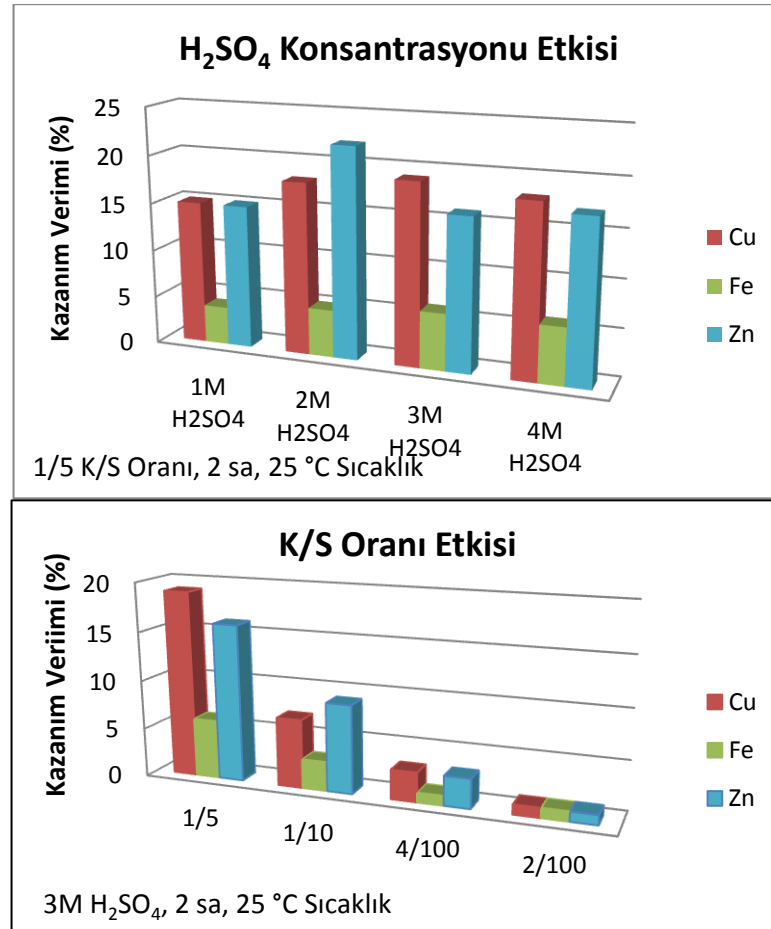
Şekil 5.12. HCl liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Çizelge 5.15. Filtre kek artık ürünü H₂SO₄ liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Artık					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCASA 1	156	1705	1547	15	4	15
FCASA 2	77	1002	948	7	2	9
FCASA 3	30	444	566	3	1	5
FCASA 4	15	186	217	1	0	2
FCASA 5	192	1898	2319	18	5	22
FCASA 6	78	1107	781	7	3	8
FCASA 7	30	468	365	3	1	4
FCASA 8	15	206	137	1	1	1
FCASA 9	196	2336	1695	19	6	16
FCASA 10	79	1321	955	7	3	9
FCASA 11	30	488	288	3	1	3
FCASA 12	15	224	127	1	1	1
FCASA 13	192	2429	1773	18	6	17
FCASA14	79	1352	768	7	3	7
FCASA 15	29	517	378	3	1	4
FCASA 16	15	216	158	1	1	2

Çizelge 5.15 ve Şekil 5.13’de verilen filtre kek artık ürünü H₂SO₄ liçi kazanım verimleri incelendiğinde 2 M H₂SO₄ asit konsantrasyonunda Zn kazanımı % 22, 3 M H₂SO₄ asit konsantrasyonunda ise Cu % 19 ve Fe % 6 kazanım verimi elde edilmiştir. Katı/sıvı oranları grafiği incelendiğinde maksimum verimlerin 1/5 katı/sıvı oranında elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.16’da verilen filtre kek artık ürününün NaOH ile liç verimleri incelendiğinde Zn için maksimum % 5 kazanım verimi elde edilirken diğer metaller için kazanım verimi elde edilememiştir.



Şekil 5.13. H₂SO₄ liçi konsantrasyon ve K/S oranı etkisi

Çizelge 5.16. Filtre kek artık ürünü NaOH liçi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Filtre Kek Artık					
	Konsantrasyonlar (mg/l)			Kazanım Verimi (%)		
	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCASH 1	<1	<1	224	-	-	2
FCASH 2	<1	<1	205	-	-	2
FCASH 3	<1	<1	114	-	-	1
FCASH 4	<1	<1	67	-	-	1
FCASH 5	<1	<1	497	-	-	5
FCASH 6	<1	<1	256	-	-	2
FCASH 7	<1	<1	154	-	-	1
FCASH 8	<1	<1	78	-	-	1
FCASH9	<1	<1	560	-	-	5
FCKAH 10	<1	<1	285	-	-	3
FCKAH 11	<1	<1	161	-	-	2
FCKSH 12	<1	<1	77	-	-	1

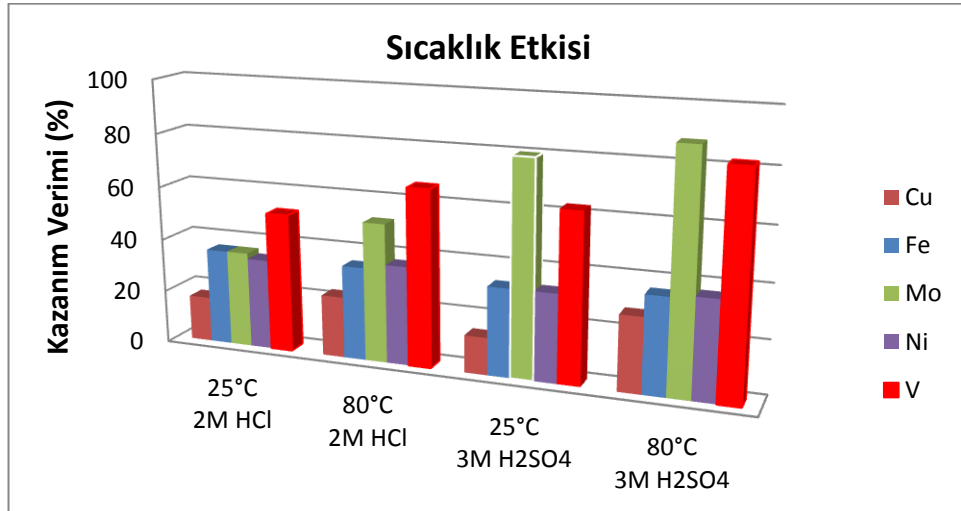
5.4 2 L Reaktör Deney Sonuçları

5.4.1 Alt kül konsantre ürünü deney sonuçları

Çalışma hacmi 1500 ml olarak yapılan deneylerde 25°C ve 80°C sıcaklıklarda 1/5 katı/sıvı oranında elde edilen konsantrasyon ve kazanım verimleri alt kül konsantre ürünü için Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Alt kül konsantre ürünü 2 L reaktör deneyi metal kazanım verimi ve konsantrasyonları

Deney Kodu	Sıcaklık °C	Alt Kül Konsantre									
		Konsantrasyonlar, mg/l					Kazanım Verimi, %				
		Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAKP 21	25	132	28741	465	940	670	17	36	36	34	52
BAKP 22	25	108	26696	1046	904	805	14	34	80	33	63
BAKP 81	80	180	27906	685	1030	852	23	35	52	37	66
BAKP 82	80	216	28320	1146	1029	1057	28	36	88	37	82



Şekil 5.14. Alt kül konsantre ürünü kazanım verimine sıcaklık etkisi

Çizelge 5.17 ve Şekil 5.14’ de görülen sonuçlara göre çalışma hacminin büyütülmesiyle kazanım verimlerinde ciddi boyutta artışlar elde edilmiştir. Cu % 12’den % 17’ye, Fe % 22’den % 36’ya, Ni % 26’dan % 34’e ve V % 44’den % 63’e ulaşan

verim artışları elde edilirken Mo için artış kaydedilmemiştir. Stokiyometrik dengenin, çalışma hacmi ve Katı/sıvı oranındaki yapılan değişikliklerle elde edilen bu sonuçların nedeni olabileceği düşünülmektedir.

Sıcaklığın 80°C olarak uygulandığı deneylerde ise tüm verimler maksimum değerlerine ulaşmıştır. H₂SO₄ liçinin HCl asit liçine göre Mo ve V kazanımlarında daha etkili olduğu görülmüştür. Sıcaklığın parametre olarak eklendiği ve 80°C'de uygulandığı deneylerin sonuçları incelendiğinde tüm metal kazanım verimlerinde artışlar elde edilmiş ve verimler maksimum değerlerini yakalamıştır. Sıcaklığın çözünmeye olan etkisi, asitlerin kaynama noktaları altındaki sıcaklık değerlerinde sıcaklığın artmasıyla çözünürlükle ilgili kinetik aktivitelerinin artması olarak açıklanabilmektedir (Öztürk, 2011; Ferella vd., 2011). Sıcaklık etkisiyle kazanım verimleri Cu % 28, Fe % 36, Mo % 88, Ni % 37 ve V % 82 olarak elde edilmiştir.

5.4.2 Alt kül artık ürününün deney sonuçları

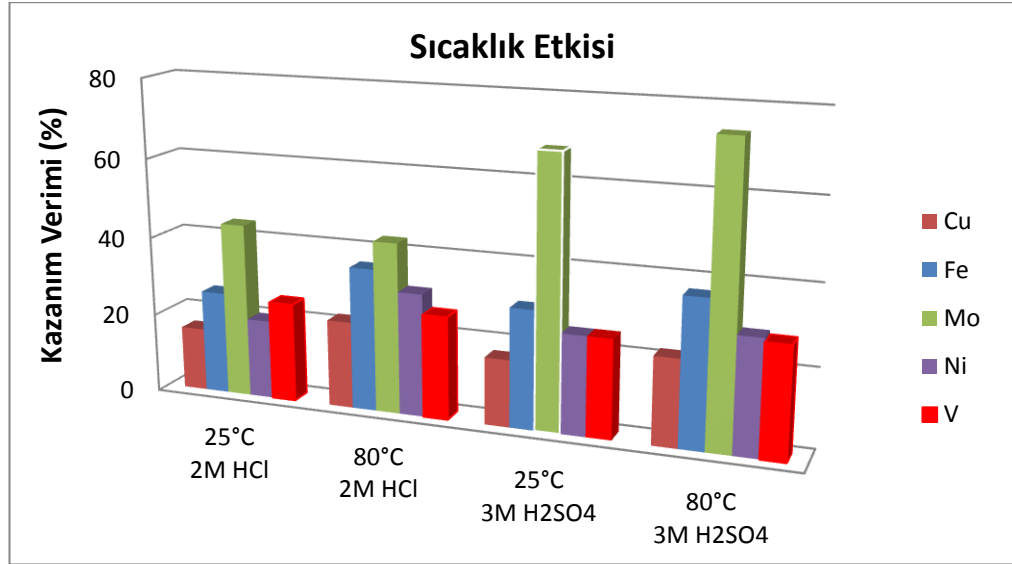
Alt kül artık ürününün 1500 ml çalışma hacminde 25°C ve 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilen liç deneyi sonuçları Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Alt kül artık ürününün 2 L reaktör deneyi metal konsantrasyonları ve kazanım verimi

Deney Kodu	Sıcaklık °C	Alt Kül Artık									
		Konsantrasyonlar, mg/l					Kazanım Verimi, %				
		Cu	Fe	Mo	Ni	V	Cu	Fe	Mo	Ni	V
BAAP 23	25	260	36803	796	1147	827	16	26	44	20	25
BAAP 24	25	264	42045	1236	1384	830	17	30	68	25	25
BAAP 83	80	346	46605	780	1730	874	22	33	43	31	26
BAAP 84	80	352	52440	1354	1635	953	22	37	74	29	28

Alt kül artık ürünlerinin 2 lt reaktördeki liç verimleri Çizelge 5.18' de verilmiştir. 25°C sıcaklıkta sadece Fe için kazanım verimini yükselterek % 24' ten % 30'a çıkmıştır. Diğer metallerin kazanım verimlerinde önemli değişiklikler gerçekleşmemiştir. Şekil

5.15 incelendiğinde 80°C de yapılan liç deneyleri sonucu Cu % 16' dan % 22' ye, Fe % 26' den % 37' ye, V % 25' den % 28'e yükselen kazanım verimleri elde edilmiştir. Mo ise % 68' den % 74' e yükselmesine rağmen maksimum elde edilen % 84' lük verimin altında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15. Alt kül artık ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi

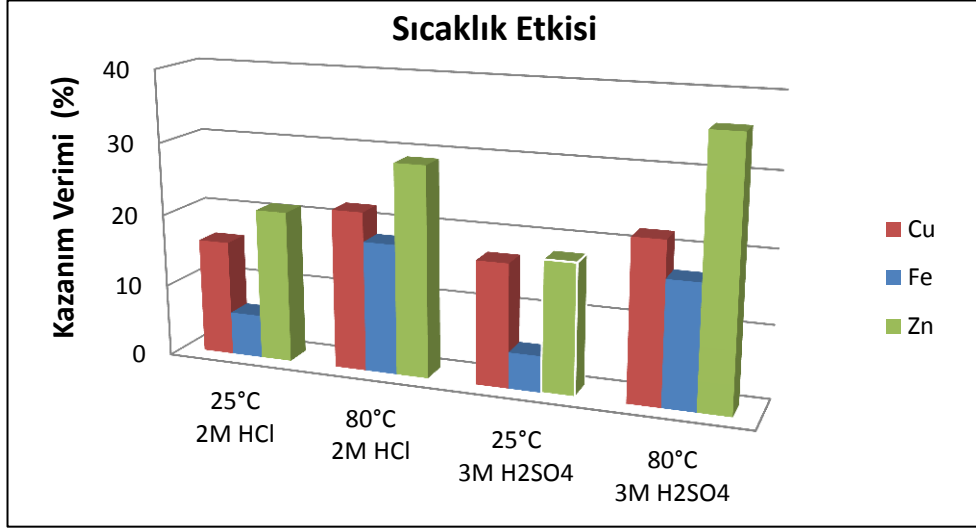
5.4.3 Filtre kek konsantre ürününün deney sonuçları

Filtre kek konsantre ürünü ile 1500 ml çalışma hacminde ve 25°C ile 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilen liç deneyleri sonucu elde edilen metal konsantrasyonları ve kazanım verimleri Çizelge 5.19'da görülmektedir.

Çizelge 5.19. Filtre kek konsantre ürününün 2 L reaktör deneyleri metal konsantrasyonları ve kazanım verimi

Deney Kodu	Sıcaklık °C	Filtre Kek Konsantre					
		Konsantrasyonlar, mg/l			Kazanım Verimi, %		
		Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCKP 25	25	191	2595	2495	16	6	21
FCKP 26	25	216	2405	2208	18	5	18
FCKP 85	80	266	8505	3510	22	18	29
FCKP 86	80	266	8218	4388	22	17	36

Çizelge 5.19 'da görülen tablo ve Şekil 5.16'da çizilen grafiğe göre filtre kek konsantre ürünü ile 25°C ile yapılan deneylerde elde edilen kazanım verimlerinde herhangi bir artma gerçekleşmemiştir. 80°C ile yapılan deneylerde ise Cu kazanım verimi % 16' dan % 22' ye artarken Fe'nin kazanım verimi yaklaşık 3 kat artarak % 6' dan % 18' e, Zn'nin ise 2 kat artarak % 18' den % 36' ya yükselmiştir.



Şekil 5.16. Filtre kek konsantre ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi

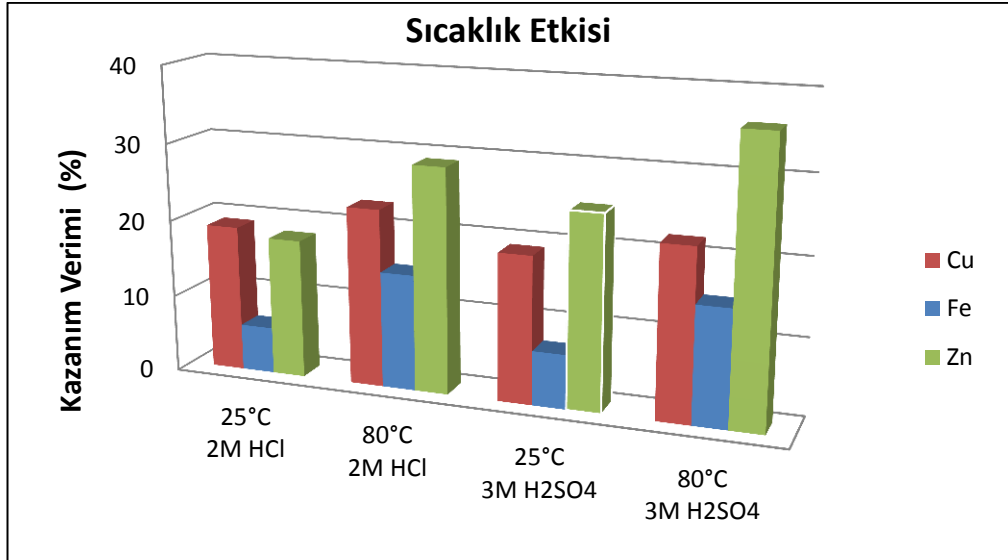
5.4.4 Filtre kek artık ürününün deney sonuçları

Filtre kek artık ürünü ile 1500 ml çalışma hacminde ve 25°C ile 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilen liç deneyleri sonucu elde edilen metal konsantrasyonları ve kazanım verimleri Çizelge 5.20'da görülmektedir.

Çizelge 5.20. Filtre kek artık ürününün 2 L reaktör deneyleri metal konsantrasyonları ve kazanım verimi

Deney Kodu	Sıcaklık °C	Filtre Kek Artık					
		Konsantrasyonlar, mg/l			Kazanım Verimi, %		
		Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
FCKP 27	25	196	2520	1916	16	6	18
FCKP 28	25	201	2848	2555	18	5	25
FCKP 87	80	247	6272	2922	23	15	28
FCKP 88	80	234	5971	2790	22	15	27

Şekil 5.17' de verilen grafiğe göre filtre kek artık ürünü liç sonuçları 25°C' ye göre değerlendirildiğinde çalışma hacminin artması kazanım verimlerini artırmada etkili gözükmemiştir. 80° C sıcaklıkta yapılan deneylerde ise kazanım verimlerinde artışlar elde edilmiştir. Cu için % 23, Fe için % 15 ve Zn için ise % 28 nihai kazanım verimleri elde edilmiştir.



Şekil 5.17. Filtre kek artık ürününün metal kazanım verimine sıcaklık etkisi

Filtre kekindeki Fe içeriğinin tesisin işleme sürecindeki aşamalarından biri olan baca gazı temizleme sistemindeki atık suların fiziksel ve kimyasal arıtma ünitesinde eklenen % 45'lik $FeCl_3$ 'den kaynaklandığı düşünülebilir.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının bir ürünü olan atık yakma tesislerinin işlediği atıklar ve bunun sonucunda ortama bıraktığı artıklar her geçen gün artmakta ve gelecekte de bu eğiliminin yayılmasıyla beraber bu atıkların da ciddi bir depolama sorununa yol açacağı görülmektedir. Özellikle endüstriyel atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan atıkların sahip olduğu ekonomik değerlerin fark edilmesiyle bu ürünlerin ikincil birer hammadde kaynağı olabileceği düşünülmüştür. Bu ürünlerden olan alt küller ve filtre kek incelendiğinde önemli metal içeriklerle karşılaşılmıştır.

Numunelerin kimyasal karakterizasyonundan elde edilen verilere göre alt külde Cu, Fe, Mo, Ni ve V, filtre kekte ise Cu, Fe ve Zn metallerinin kimyasal kazanım olanakları araştırılmıştır. Alt kül ve filtre kek örneklerinin XRD analizleri ve kimyasal kompozisyonları göz önünde bulundurularak ön zenginleştirme işlemi olarak kuru manyetik ayırıcıda manyetik ve manyetik olmayan kısımlar olarak ayırma işlemi yapılmıştır. Kül örneklerinin tesisteki işleme süreci boyunca manyetik ayırmaya tabi olmamalarından dolayı fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle ayrılacak olan manyetik kısmın ayrılması amaçlanarak kimyasal kazanım yönteminin dışında tutulması istenmiştir. Manyetik olarak tutulan kısım artık manyetik olmayan kısım ise konsantre olarak adlandırılmış ve sonraki tüm aşamalarda bu şekilde bahsedilmiştir. Çizelge 6.1 'de verilen tabloya göre konsantre ürünlerde kalan metal miktarları yüzde oranlarıyla verilmiştir. Bu sonuçlara göre manyetik ayırma işlemi sonucunda istenen manyetik ayırma veriminin elde edilemediği görülmüştür. İstenilen verimin elde edilememesinin sebebi olarak 100µ ve altında boyuta sahip olan malzeme miktarının % 30 civarında olması ve kuru manyetik ayırıcının da bu boyutun altında etkin performans göstermemesi olarak açıklanabilir.

Çizelge 6.1. Konsantre ürünlerde kalan metallerin yüzde miktarları

Konsantre Ürünlerde Kalan Metal Oranları, %					
	Cu	Fe	Mo	Ni	Zn
Alt Kül Konsantre	64	67	85	66	-
Filtre Kek Konsantre	99	88	-	-	82

Manyetik ayırma sonucu istenen verimin elde edilememesinden ve konsantre ürün ile artık ürünün ayrı ayrı kimyasal kazanım oranlarının belirlenebilmesi için liç deneyleri tüm ürünlere ayrı ayrı uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarını tüm ürünler için incelersek;

- Alt kül konsantre ürününde metal kazanım verimleri, 3 M H₂SO₄ derişimi ile 80°C sıcaklıkta 1/5 katı/sıvı oranı ile 2 saat sonucunda, % 28 Cu, % 36 Fe, % 37 Ni, % 88 Mo ve % 82 V olarak elde edilmiştir.
- Alt kül artık ürününde metal kazanım verimleri, 3 M H₂SO₄ derişimi ile 80°C sıcaklıkta 1/5 katı/sıvı oranı ile 2 saat süreyle yapılan deneyler sonucunda, Cu % 22, Fe % 37 ve V için % 28 olarak gerçekleşirken, 25°C sıcaklıkta yapılan 3 M H₂SO₄ ile % 84 Mo ve 4 saat süreyle yapılan 3 M HCl liçi ile % 31 Ni olmuştur.
- Filtre kek konsantre ürününde metal kazanım verimleri, 80°C sıcaklıkta 3 M HCl derişimi ve 1/5 katı/sıvı oranı ile 2 saat sonunda % 22 Cu, ve % 18 Fe, 3 M H₂SO₄ derişimi ile % 36 Zn elde edilmiştir.
- Filtre kek artık ürününde metal kazanım verimleri, 80°C sıcaklıkta 2 M HCl derişimi ve 1/5 katı/sıvı oranı ile 2 saat sonunda, % 23 Cu, % 15 Fe ve % 28 Zn olarak gerçekleşmiştir. 2 M H₂SO₄ ile de aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Asit liçi, (HCl ve H₂SO₄ liçi olarak) alkali liçinden (NaOH) daha etkili sonuçlar vermiştir. Alkali liçinde kayda değer metal kazanım verimleri elde edilemezken Mo kazanım verimlerindeki olumlu etkisi dikkat çekici olarak nitelendirilebilir. Alkali liç parametrelerinin geliştirilmesiyle Molibdenin diğer metallerden seçimli kazanımı mümkün görünmektedir. Vanadyumun alkali liçinde daha yüksek oranlarda kazanılması beklenirken Nikelin alkali ortamda çözünmemesi bu tezi güçlendirmektedir.

Katı/sıvı oranı liç parametreleri içinde en etken değişken olmuştur. Tüm liç deneylerinde en fazla kazanım verimleri 1/5 katı/sıvı oranında elde edilmiştir. Çalışma hacminin büyütülmesi ve sıcaklık artışı kazanım verimlerinde büyük oranda olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Tüm bu deney tasarımları ve işletme süreçleri ele alındığında elde edilen sonuçlara göre molibden ve vanadyumun hidrometalurjik süreç olan liç yöntemiyle alt küllerden kazanımının etkin ve uygun olabilirliği görülmüştür. Diğer metallerde düşük kazanım verimlerinin elde edilmesi, malzemenin homojen olmayan ve karmaşık yapısından dolayı kaynaklandığını düşündürmektedir.

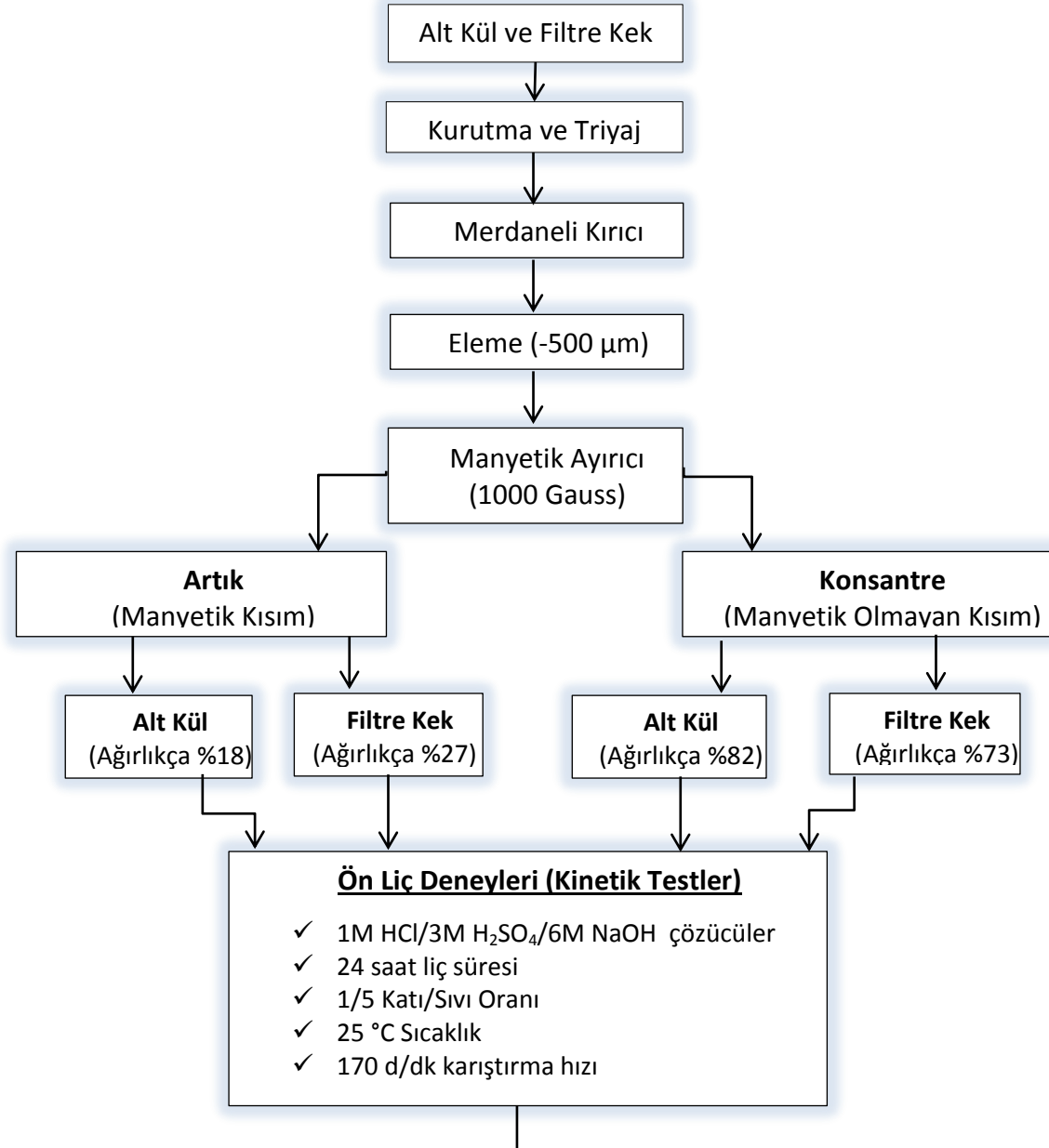
Bu sonuçlar ışığında araştırmanın eksik kalmış veya geliştirilebilir yanlarını sıralamak gerekirse;

Bütün bu deney koşulları başlangıç düzeyinde araştırmalar içerdiğinden liç kimyasalları olarak kullanılan asitlere ek olarak daha farklı kimyasallar kullanılarak yeni tasarımlar oluşturulabilir. Tek aşamada yapılan liç deneyleri farklı çözücülerle birkaç aşamada gerçekleştirilebilir ve selektif kazanımı amaçlayan çalışmalar yapılabilir. Molibden ve vanadyum kazanımında daha olumlu sonuçlar vermesi beklenen alkali liç ile ilgili çalışmalar genişletilebilir ve seçimli kazanım amaçlayan girişimler yapılabilir.

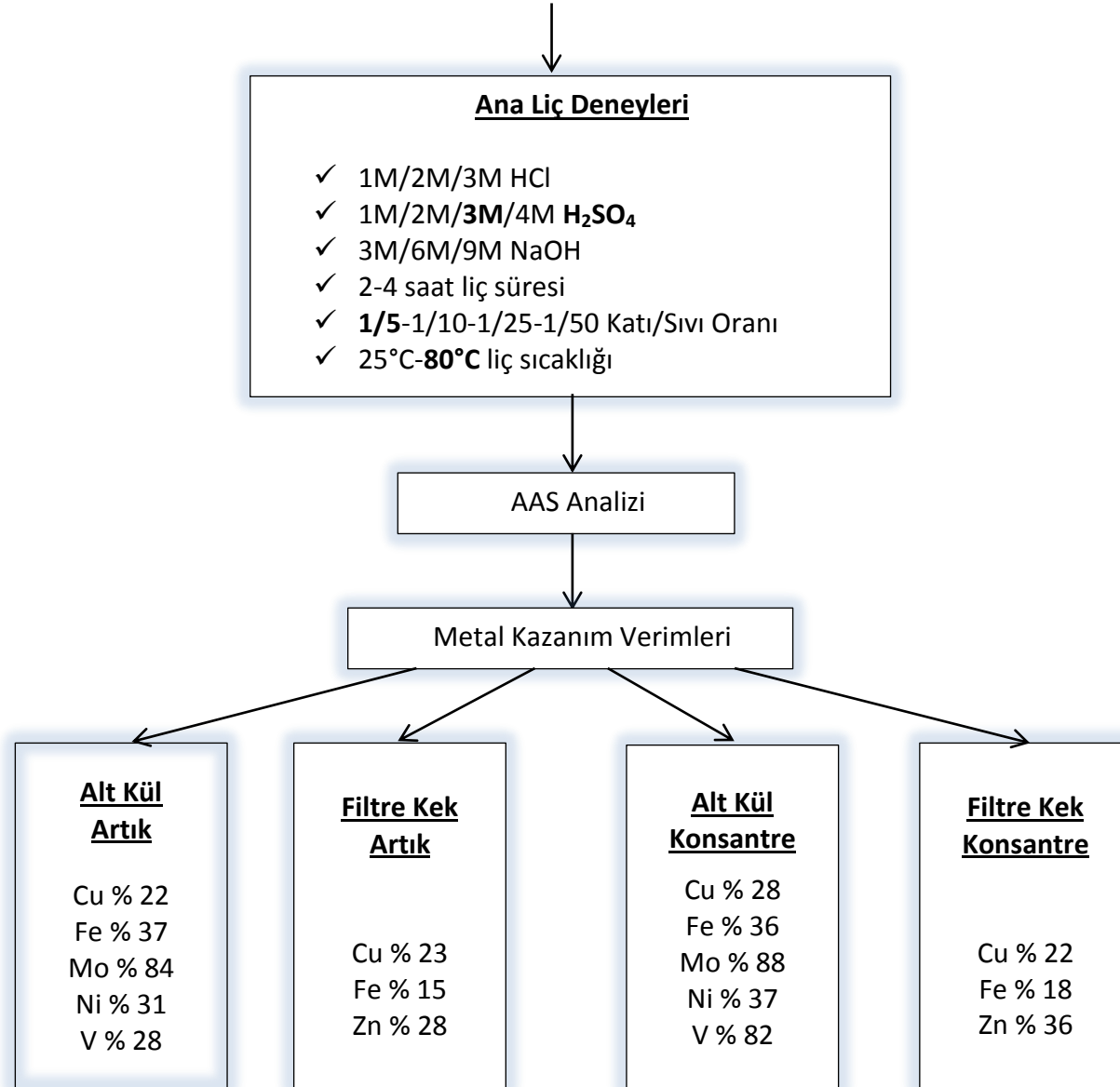
Deney tasarımlarına farklı parametreler eklenerek çok daha fazla değişkenli deney düzenekleri oluşturulabilir, farklı sıcaklık, karıştırma hızı vs. parametrelerle pilot veya yarı pilot çapta araştırmalar yapılabilir. Alınan örnekler endüstriyel uygulamalara olanak verecek şekilde depolama alanlarından, nihai bertaraf edildikleri şekilde alınarak çalışmalar tekrarlanabilir ve yeni tasarımlar uygulanabilir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında süreç tasarımı yapılarak yakılan atık miktarı, çıkan alt kül miktarı ve içeriği ile kazanım verimleri göz önünde bulundurularak kurulacak işletmenin kurulum maliyeti ile işletme maliyeti hesaplanarak ekonomik

fizibilitesi çıkarılabilir ve uygulanabilirlik araştırması yapılabilir. Yapılan çalışmalar ve deney süreci sonunda oluşturulan akım şeması Şekil 6.1' de görülmektedir.



Şekil 6.1.Yapılan çalışmalar ve önerilen süreçlerin akım şeması



Şekil 6.2. Yapılan çalışmalar ve önerilen süreçlerin akım şeması(Devamı)

KAYNAKLAR

- Akashi, T., 1996. Development of Fly Ash Treatment Technology by Electric Resistance Melting. The Japan Society of Waste Management Experts, 430–432.
- Aarabi-Karasgani, M., Rashchi, F., Mostoufi, N., Vahidi, E., 2010. Leaching Of Vanadium From LD Converter Slag Using Sulfuric Acid. *Hydrometallurgy*, 102, 14-21.
- Bakoglu, M., Karademir, A., Ayberk, S., 2003. Partitioning Characteristics Of Targeted Heavy Metals In IZAYDAS Hazardous Waste Incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, B99, 89–105.
- Barberio, G., Buttol, P., Masoni, P., Scalbi S., Andreola, F., Barbieri, L., Lancelotti, I., 2010. Use Of Incinerator Bottom Ash For Frit Production. *Journal Of Industrial Ecology*, 14, 200-216.
- Bawkon, B., 1991. Incineration Technologies For Managing Solid Waste. *Pollution Engineering* 23, 96–109.
- Belevi, H., Stämpfli, D.M., Baccini, P., 1992. Chemical Behaviour Of Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash In Monofills. *Waste Management and Research*, 10, 153-167.
- Benson C.H., Bradshaw S., 2011. User Guideline For Coal Bottom Ash And Boiler Slag In Green Infrastructure Construction . *Recycled Materials Resource Center University of Wisconsin-Madison Report no:59*, 32p.
- Buekens, A., 2003. Waste Incineration Technology. *Pollution Control Technologies*, 2, 399-423.
- Bunce, S., 2010. Seychelles Incinerator Sustainability Preliminary Study. *Sustainability for Seychelles Project No:01*, 27p.
- Brunner, P.H., Moench H., McDow, S., 1987. Organic Carbon in the Residues of Waste Incineration. *EAWAG News No: 22/23*, 2p.
- Cetin, S., Veli, S., Ayberk, S., 2004. An Investigation Of Halogens in Izmit Hazardous And Clinical Waste Incinerator. *Waste Management*, 24, 183–191.
- CEWEP, 2013. A Decade of Waste-to-Energy in Europe. Erişim Tarihi: 09.05.2014. http://www.cewep.eu/m_109.

- Chandler, A.J., Eighmy T.T., Hartlén J., Hjelmar, O., Kosson, D.S., Sawell, S.E. 1997. Municipal Solid Waste Incinerator Residues. Elsevier, 976p, Amsterdam.
- Chang, F.Y., Wey, M.Y., 2006. Comparison Of The Characteristics Of Bottom And Fly Ashes Generated From Various Incineration Processes. Journal of Hazardous Materials, B138, 594-603.
- Chesner, W.H., Collins, R.J., Fung, T., 1988. Assessment of the Potential Suitability of Southwest Brooklyn incinerator Residue in Asphaltic Concrete Mixes. New York State Energy Research and Development Authority Report No: 90-15, 32p.
- Chimenos, J.M., Segarra, M., Fernandez, M.A., Espiell, F., 1999. Characterization Of The Bottom Ash In Municipal Solid Waste Incinerator. Journal of Hazardous Materials, 64, 211–222.
- Chiou, I.J., Wang, K.S., Tsai, C.C., 2008. Enhancing Performance And Durability Of Slag Made From Incinerator Bottom Ash And Fly Ash. Waste Management, 29, 501-505.
- Chilton M., 2008. WTE Worldwide. Waste Management World, Nov-Dec 2008, 47-49.
- Chimenos, J.M., Segarra, M., Fernandez, M.A., Espiell, F., 1999. Characterization Of The Bottom Ash In Municipal Solid Waste Incinerator. Journal of Hazardous Material, 64, 211–222.
- Davidson, G., 2011. Waste Management Practices: Literature Review. Erişim Tarihi: 09.05.2014. [http://www.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sustainability/Waste%20Management%20Literature%20Review%20Final%20June%202011%20\(1.49%20MB\).pdf](http://www.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sustainability/Waste%20Management%20Literature%20Review%20Final%20June%202011%20(1.49%20MB).pdf)
- Durmusoglu, E., Bakoglu, M., Karademir, A., Kirli, L., 2006. Adsorbable Organic Halogens (AOXs) in Solid Residues from Hazardous and Clinical Waste Incineration. Journal of Environmental Science and Health Part A, 41, 1699–1714.
- Dworanowski, M., 2011. Maximizing The Recovery Of Fine Iron Ore Using Magnetic Separation. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 112, 3, 197-202.
- Eighmy, T.T., Gress, D., Zhang, X., Tarrand S., Whitehead I., 1992. Bottom Ash Utilization Evaluation for the Concord, New Hampshire Waste to Energy Facility. Environmental Research Group Interim Report, 75p.
- Eighmy, T.T., Euseden Jr. J.D., Marsella, K., Hogan, J., Domingo, D., Krzanowski, J.E., Stampfli, D., 1994. Particle Petrogenesis and Speciation of Elements

in MSW Incineration Bottom Ash. *Studies in Environmental Science*, 60, 111-116.

European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, 2006. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. Brussel.

EMEP/EEA, 2009. Emission Inventory Guidebook. Erişim Tarihi: 01.05.2014. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventoryguidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/6-waste/6-c/6-c-b-industrial-waste-incineration.pdf>

Fedje, K.K., 2010. Metals in MSWI Fly Ash - Problems or Opportunities?. Department of Chemical- and Biological Engineering Environmental Inorganic Chemistry Chalmers University of Technology, Thesis for Degree of Doctor of Philosophy, 92p, Göteborg.

Fedje, K.K., Ekberg, C., Skarnemark, G., Steenari, B.M., 2010. Removal Of Hazardous Metals From MSW Fly Ash—An Evaluation Of Ash Leaching Methods. *Journal Of Hazardous Materials*, 173, 310-317.

Feng, S., Wang, X., Wei, G., Peng, p., Yang, Y., Cao, Z., 2007. Leachates Of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash From Macao: Heavy Metal Concentrations And Genotoxicity. *Chemosphere*, 67, 1133-1137.

Ferella, F., Ognyanova, A., De Michelis, I., Taglieri, G., Veglio, F., 2011. Extraction of metals from spent hydrotreating catalysts: Physico-mechanical pre-treatments and leaching stage. *Journal of Hazardous Materials*, 192, 176-185.

Gharabaghi, M., Irannajadb, M., Azadmehr, A.R., 2013. Leaching Kinetics Of Nickel Extraction From Hazardous Waste By Sulphuric Acid And Optimization Dissolution Conditions. *Chemical Engineering Research And Design*, 91, 325-331.

Gardner, K.H. Characterization of Leachates from Municipal Incinerator Ash Materials, 1991. Clarkson University, Masters Thesis, 224p, New York.

Guinée, J.B., Van Den Bergh, J.C.J.M., Boelens, J., Fraanje, P.J., Huppes, G., Kandelaars, P.P.A.A.H., Lexmond, T.M., Moolenaar, S.W., Olsthoorn, A.A., Udo De Haes, H.A., Verkuijlen, E., Van Der Voet, E., 1999. Evaluation of Risk Metal Flows and Accumulation in Economy and Environment. *Ecological Economics*, 30, 1, 47-65.

Hartlen, J. ve Elander P., 1986. Residues from Waste Incineration-Chemical and Physical Properties. Swedish Geotechnical Institute report , 172p.

- Hartlén, J. ve Lundgren, T., 1991. Utilization of Incinerator Bottom Ash - Legal, Environmental and Engineering Aspects. *Studies in Environmental Science*, 48, 207-214
- Hjelmar, O., 1996. Disposal Strategies For Municipal Waste Incineration Residues. *Journal of Hazardous Materials* 47, 345-368.
- HMIP(Her Majesty's Inspectorate of Pollution London), 1995. A Review of Dioxin Emissions in the UK. Department of the Environment, 78p, London.
- IGD, 2013. Erişim Tarihi: 03.04.2014. <http://www.igd.com/our-expertise/Sustainability/Packaging-waste/3517/Energy-Recovery-and-Disposal/>
- Indaver, 2013. Erişim tarihi: 05.05.2014. <http://www.indaver.com/waste-management/industry.html>
- Izaydaş A.Ş., 2011. Erişim Tarihi: 15.12.2012. <http://www.izaydas.com.tr>.
- Jeag, 2013. Erişim tarihi: 11.06.2014. <http://www.jeag.com/home/products/rk-line.html>
- Jha, M.K., Kumar, V., Singh, R.J., 2001. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 33, 1, 1-22.
- Jung, C.H., Osako, M., 2009. Metal Resource Potential Of Residues From Municipal Solid Waste (MSW) Melting Plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 301–308.
- Jung, C.H., Matsuto, T., Tanaka, N., Okada, T., 2004. Metal Distribution in Incineration Residues Of Municipal Solid Waste. *Waste Management*, 24, 381-391.
- Kai, H., Inoue, K., Harada, H., Kawakita, H., Ohto, K., 2011. Leaching Behavior Of Heavy Metals With Hydrochloric Acid From Fly Ash Generated In Municipal Waste Incineration Plants. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 21, 1422-1427.
- Keisuke, N., Mitsuhiro, T., Hiroshi, Y., Takuya, S., Tetsuo, A., Minoru, T., 2001. Heavy Metals Recovery System for Dust from NKK Electric-Resistance Furnace. *NKK Technical Review*, 84, 8–15.
- Kinoshita, T., Yamaguchi, K., Akita, S., Nii, S., Kawaiumi, F., Takahashi, K., 2005. Hydrometallurgical Recovery Of Zinc From Ashes Of Automobile Tire Wastes. *Chemosphere*, 59, 1105-1111.

- Kirby, C.S., Rimsstidt D.J., 1993. Mineralogy and Surface Properties of Municipal Solid Waste Ash. *Environmental Science Technology*, 27, 652-660.
- Kong, Q.N. , Wu, Y.Y., He, R., Shen, D.S., 2010. Content, Mobility And Transfer Behavior Of Heavy Metals In MSWI Bottom Ash In Zhejiang Province, China. *Fuel*, 89, 616–622.
- Kotani, M., Tamura, I., Ishii, K., 1993. Element Analysis Of Tire Compounds. *Journal of The Society of Rubber Industry Japan* 60, 883–889.
- Kubonová, L., Langová, Š., Nowak, B., Winter, F., 2013. Thermal And Hydrometallurgical Recovery Methods Of Heavy Metals From Municipal Solid Waste Fly Ash. *Waste Management*, 33, 2322-2327.
- Küçüker, M.A., Westphal, L., Kuchta, K., 2012. Bottom Ash From The Municipal Solid Waste Incineration Plants In Hamburg. TUHH - Hamburg University of Technology, Institute of Environmental Technology and Energy Economics, Waste Resource Management, 6p, Hamburg.
- Kuo, N-W., Ma, H-W., Yang, Y-M., Hsiao, T-Y., Huang, C-M., 2007. An Investigation On The Potential of Metal Recovery From The Municipal Waste Incinerator in Taiwan. *WasteManagement*, 27, 1673–1679.
- Lam, C.H.K., Ip, A.W.M. , Barford, J.P., McKay, G., 2010. Use of Incineration MSW Ash: A Review. *Sustainability*, 2, 1943-1968.
- Leonard, A. 1992. Investigation of Emissions and Pollutant Pathways at an Advanced Fluidised Bed Sewage Sludge Incinerator. Warren Spring Laboratory, Department of Trade and Industry, London UK, Report LR 843, 31p.
- Li, J., Gan, J., Li, X., 2009. Leaching Of Aluminum And Iron From Boiler Slag Generated From A Typical Chinese Steel Plant. *Journal Of Hazardous Materials*, 166, 1096-1101.
- Lia, J., Ganb, J., Lic, X., 2009. Leaching of aluminum and iron from boiler slag generated from a typical Chinese Steel Plant. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 1096–1101.
- Lindsay, W.L., 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. J. Wiley & Sons, 449p, New York.
- Long Island Regional Planning Board (LIRPB), 1992. The Potential for Beneficial Use of Waste to Energy Facility Ash . Draft Engineering Property Data Report. NYSERDA
- Long, Y.Y., Feng, Y.J., Cai, S.S., Ding, W.X., Shen, D.S., 2013. Flow Analysis Of Heavy Metals In A Pilot-Scale Incinerator For Residues From Waste Electrical And

- Electronic Equipment Dismantling. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 427-434.
- Meawad, A.S., Bojinova, D.Y., Pelovski, Y.G., 2010. An Overview Of Metals Recovery From Thermal Power Plant Solid Wastes. *Waste Management*, 30, 2548-2559.
- Morf, L.S., Gloor, R., Haag, O., Haupt M., Skutan S., Di Lorenzo, F., Böni, D., 2012. Precious Metals and Rare Earth Elements in Municipal Solid Waste – Sources and Fate in a Swiss Incineration Plant. *Waste Management*, Basimda.
- Muchova, L., 2011. <http://www.muchova.eu>. Erişim Tarihi: 05.12.2012.
- Nottrodt, A., Schmidt E., 1997. Rostfeuerung oder Alternative Thermische Abfallbehandlungsverfahren, 23p, Berlin.
- Nagib, S., Inoue, K., 2000. Recovery of Lead and Zinc From Fly Ash Generated From Municipal Incineration Plants by means of Acid and/or Alkaline Leaching. *Hydrometallurgy* 56, 269–292.
- Rendek, E., Ducom, G., Germain, P., 2007. Assessment of MSWI bottom ash organic carbon behavior: A biophysicochemical approach. *Chemosphere*, 67, 1582–1587.
- Ognyanova, A., Ozturk, A.T., De Michelis, I., Ferella, F., Taglieri, G., Akcil, A., Veglio, F., 2009. Metal Extraction From Spent Sulfuric Acid Catalyst Through Alkaline And Acidic Leaching. *Hydrometallurgy*, 100, 20-28.
- Ölmez, Ö., 2010. Tehlikeli Atık Yakma Tesisi Taban Küllerinin Beton Hammaddesi Olarak Kullanılması ile Bertaraf Edilmesinin Araştırması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Ankara.
- Öztürk, A.T., 2008. Vanadyum Ve Nikelin Atık Kül Ve Kullanılmış Endüstriyel Katalizörlerden Kazanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 166s, Isparta.
- Parhi, P.K., Park K.H., Senanayake, G., 2013. A Kinetic Study On Hydrochloric Acid Leaching Of Nickel From Ni–Al₂O₃ Spent Catalyst. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 19, 589-594.
- R&R, 2013. R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti. Erişim tarihi: 22.05.2014. Rapor 1b-7, 68s.
- Sabbas, T., Polettini, A., Pomi, R., Astrup, T., Hjelmar, O., Mostbauer, P., Cappai, G., Magel, G., Salhofer, S., Speiser, C., Heuss-Assbichler, S., Klein, R., Lechner, P., 2003. Management of Municipal Solid Waste Incineration Residues. *Waste Management*, 23, 61–88.

- Sawell, S.E., T.W. Constable, 1993. A Summary of the Characterization and Treatment Studies on Residues From Municipal Solid Waste Incineration. The National Incinerator Testing and Evaluation Program. Publication No: EPS 3/UP/8, 60p.
- Sawell, S.E., Constable, T.W. Klicius, R.K., 1990. Characterization of Residues from a Mass Burning Municipal Waste Incinerator with Lime-Based Air Pollution Control (Burnaby, B.C.) The National Incinerator Testing and Evaluation Program. Environment Canada Report, EPS manuscript series IP-110, 88p.
- Sayilgan, E., Kukrer T., Civelekoglu, G., Ferella, F., Akcil, A., Veglio, F., Kitis, M., 2009. A Review Of Technologies For The Recovery Of Metals From Spent Alkaline And Zinc-Carbon Batteries. Hydrometallurgy, 97, 158-166.
- Simon, F.G., Andersson, K.H., 1996. A New Process For Recovering Materials From Solid Waste Incineration Residues. Energia Elettrica, 73, 2, 113-118.
- Stoelhorst, D. , 1991. The Use of Waste Materials in Civil Engineering: AVI Slag Can Replace Gravel in Concrete Production. Studies in Environmental Science, 48, 71-80.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F. ,2002. Handbook Of Solid Waste Management (2nd Edition). McGraw-Hill, 950p, Colorado.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M., 1979. Sequential Extraction Procedure For The Speciation Of Particulate Trace Metal. Analytical Chemistry 51, 844-851.
- Thipse, S.S., Schoenitz, M., Dreizin, E.L., 2002. Morphology And Composition Of The Fly Ash Particles Produced In Incineration Of Municipal Solid Waste. Fuel Processing Technology, 75, 173-184.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2000. Katı Atık Yakma Tesisleri İçin Teknolojiler ve Yer Seçimi. Erişim Tarihi: 19.11.2012 <http://www.cevreorman.gov.tr>.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik. Erişim Tarihi: 15.03.2013. <https://www.csb.gov.tr/turkce/index.php?Sayfa=yonetmelikliste>
- The World Bank, 1999. Municipal Solid Waste Incineration. World Bank Technical Guidance Report, Washington.
- Trozzi C., Wenborn, M., Coleman, P., Woodfield, M., Rentz, O., Oertel, D., 2009. Industrial Waste Incineration. EMEP/EEA Emission inventory guidebook, 21p.

- Tokyokankyo, 2013. Erişim Tarihi: 03.04.2014.
<http://www.tokyokankyo.jp/tokyoprogram/en/recycling-technologies/incinerator-type>
- UBA, 2008. Umweltbundesamt: The Role Of Waste Incineration In Germany. Erişim tarihi: 27.07.2013. www.umweltbundesamt.de
- UkAirliquede, 2013. Erişim tarihi: 11.06.2014
<http://www.uk.airliquide.com/en/solution-for-industry/combustion/sludge-incineration.html>
- Unep, Unitar, 2013. Guidelines For National Waste Management Strategies; Moving from Challenges to Opportunities. Erişim Tarihi:07.05.2014.
<http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/UNEP%20NWMS%20English.pdf>
- US EPA, 1996. Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol.1. Stationary, Point and Area Sources. Report AP-42 (5 Th ed.).
- Valighazvini, F., Rashchi, F., Nekouei, R.K., 2013. Recovery of titanium from blast furnace slag Industrial and Engineering Chemistry Research, 54, 4, 1723-1730.
- Van Gerven, T., Van Keer, E., Arickx, S., Jaspers, M., Wauters, G. and Vandecasteele, C., 2005. Carbonation Of MSWI-Bottom Ash To Decrease Heavy Metal Leaching, In View Of Recycling. Waste Management, 25, 291.
- Vandecasteele, C., Wauters, G., Arickx, S., Jaspers, M., Van Gerven, T., 2007. Integrated Municipal Solid Waste Treatment Using A Grate Furnace Incinerator: The Indaver Case. Waste Management, 27, 1366-1375.
- Vehlow J., Pfrang-Stotz G. , Schneider J., 1992. Restoffe-charakterisierung, behandlung, verwertug. Symposium 25 Jahre LIT 5 Jahre TAMARA, Forshung und Entwicklung in Kernforschungszentrum Karlsruhe zur Hausmüllverbrennung Kfk, Karlsruhe, 124p.
- Veli, S., Kirli, L., Alyuz, B., Durmusoglu, E., 2008. Characterization of Bottom Ash, Fly Ash, and Filter Cake Produced from Hazardous Waste Incineration. Polish Journal of Environment Studies, 17, 1, 139-145.
- Quinaa, M.J., Bordado, J.O., Quinta-Ferreira R.M, 2008. Treatment And Use Of Air Pollution Control Residues From MSW Incineration: An Overview. Waste Management 28, 2097–2121.
- Wiles, C.C., 1996. Municipal Solid Waste Combustion Ash: State Of The Knowledge. Journal of Hazardous Materials, 47, 325-344.

- Wiles, C.C. ve Shepherd, P., 1999. Beneficial Use And Recycling Of Municipal Waste Combustion Residues. National Renewable Energy Laboratory, 1-126.
- Wang, Y.H., Lin, C., Chang-Chien, G-P., 2009. Characteristics of PCDD/Fs in a Particles Filtration Device with Activated Carbon Injection. *Aerosol and Air Quality Research*, 9, 317-322.
- Waste Management World, 2011. Erişim Tarihi: 06.05.2014.<http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-12/issue-6/features/rising-from-the-waste-to-energy-ashes.html>
- WASTE Program, 1993. Waste Analysis, Sampling, Testing and Evaluation Program Final Report of the Mass Burn MSW Incineration Study (Buraby, B.C.). Vol. 1-4.
- Watson, J.S., 1985. Potential Resources from Coal Fly Ash. *Material Research Society Symposium Proceedings*, 43, 151-161.
- Yao, J., Li, W.B. , Xia, F., Wang, J., Fang, C., Shen, D.S., 2011. Investigation of Cu Leaching From Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash With A Comprehensive approach. *Frontiers of Energy*, 5, 3, 340–348
- You, G.S., Ahn, J.W., Han, G.C., Cho, H.C., 2006. Neutralizing Capacity Of Bottom Ash From Municipal Solid Waste Incineration Of Different Particle Size. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 23, 237-240.
- Zeltner, C., Lichtensteiger, T., 2002. Thermal Waste Treatment and Resource Management a Petrologic Approach to Control the Genesis of Materials in Smelting Processes. *Environmental Engineering Policy*, 3, 75–86.
- Zhang, X., Yang, K., Tian, X, Qin, W., 2011. Vanadium Leaching From Carbonaceous Shale Using Fluosilicic Acid. *International Journal Of Mineral Processing*, 100, 184-187.
- Zhu, Y.G., Zhang, G.F., Feng, Q.M., Lu, Y.P., Ou, L.M., Huang S.J., 2010. Acid Leaching Of Vanadium From Roasted Residue Of Stone Coal. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 20, 107-111.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail AĞCASULU

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 1984

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ismailagcasulu@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

İlkokul : Gazi İlkokulu, Ankara, 1995

Ortaokul : Fethiye Kemal Mumcu Anadolu Lisesi, Ankara, 1999

Lise : Kırıkkale Fen Lisesi, Kırıkkale, 2000
: Gazi Çiftliği Süper Lisesi, Ankara, 2002
: Açık Öğretim Lisesi, 2003

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, Isparta, 2009

Mesleki Deneyim

Park Teknik A.Ş.

(Maden Mühendisi)

Şubat 2011- Ağustos 2011

SDÜ Mühendislik Fakültesi

(Araştırma Görevlisi)

Ağustos 2011- (halen)