

38823

**AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRAL
UÇUCU KÜLLERİNDEN LIÇ YÖNTEMİYLE
METAL OKSİTLERİN KAZANIMI**

038823

Ö. Yusuf TORAMAN

**Ç.Ü.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Haziran -1995
ADANA**

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
ARAŞTIRMA FONU
Proje No : FBE 94-85

AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRAL
UÇUCU KÜLLERİNDEN LIÇ YÖNTEMİYLE
METAL OKSİTLERİN KAZANIMI

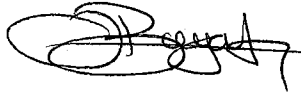
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRAL

Proje Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Oktay BAYAT
Yardımcı Araştırmacı : Maden Müh. Ö. Yusuf TORAMAN

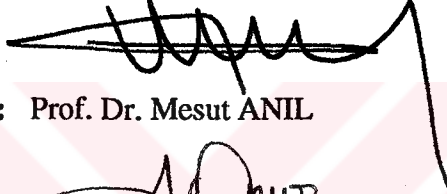
Haziran - 1995
ADANA

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne ;

Bu çalışma jürimiz tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.



BAŞKAN : Yrd. Doç. Dr. Oktay BAYAT



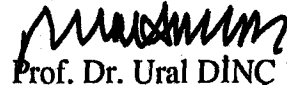
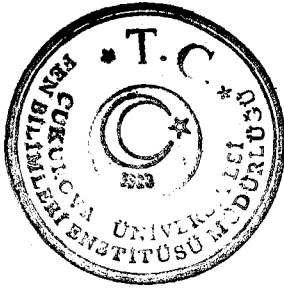
ÜYE : Prof. Dr. Mesut ANIL



ÜYE : Yrd. Doç. Dr. A. Hakan ONUR

Kod No : 969

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.



Prof. Dr. Ural DİNÇ
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sahife No</u>
ÇİZELGE LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
RESİM LİSTESİ	VII
ÖZ	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Uçucu Külün Tanımı	2
1.3. Uçucu Külün Genel Özellikleri	2
1.3.1. Morfoloji	2
1.3.2. Mineraloji	4
1.3.3. Kimyasal Bileşimi	5
1.3.4. Tane İrilik Dağılımı	6
1.3.5. Yoğunluk	6
1.3.6. Özgül Yüzey Alanı	7
1.4. Uçucu Külün Kullanım Alanları	7
1.4.1. Çimento ve Beton	7
1.4.2. Hafif Agrega	8
1.4.3. Karayolları	8
1.4.4. Gaz Beton	9
1.4.5. Tuğla	9
1.4.6. Absorban	9
1.4.7. Diğer Kullanım Alanları	10
1.5. Termik Santrallerde Kömür Yakma Sistemleri	10
1.6. Termik Santrallerden Uçucu Kül Toplamının Temel Prensipleri	12
1.6.1. Gravitasyonel Toz Tutucular (Çökeltme Odaları)	14
1.6.2. Santrifüj Toz Tutucular (Siklonlar)	15
1.6.3. Filtrasyon Yolu İle Toz Tutma (Bez Torba Filtreler)	16
1.6.4. Sıvı Püskürtme Yolu İle Toz Tutma (Yaş Yıkayıcılar)	17
1.6.5. Elektrostatik Çökeltme Yolu İle Toz Tutma (Elektrostatik Ayırıcılar) ..	18

1.7.	Türkiyedeki Linyit Üretimi ve Termik Santraller	19
1.7.1.	Linyit Üretimi	19
1.7.2.	Linyitle Çalışan Termik Santraller	22
1.8.	Uçucu Külün Türkiye'deki Muhtemel Kullanım Alanları, Üretimi ve Tüketildiği Yerler	23
1.8.1.	Muhtemel Kullanım Alanları	23
1.8.2.	Uçucu Kül Üretimi	24
1.8.3.	Uçucu Külün Tüketildiği Yerler	24
1.9.	Afşin-Elbistan Termik Santrali ve Kül Atma Sistemi	24
1.9.1.	Termik Santral Hakkında Genel Bilgiler	24
1.9.2.	Kül Atma Sistemlerinin Temel Özellikleri	29
1.9.2.1.	Cüruf Atma Sistemi	31
1.9.2.2.	Uçucu Toz Atma Sistemi	33
1.9.2.3.	Kül Atma Sistemi	33
1.9.3.	Kül Atma Sisteminin Kontrollü ve İzlenmesi	33
1.10.	Uçucu Külden Metal Kazanma Yöntemleri	34
1.10.1.	Liç Yöntemi	34
1.10.1.1.	Genel Bilgiler	34
1.10.1.1.1.	Liç Öncesi Hazırlama İşlemleri	34
1.10.1.1.2.	Cevherdeki Değerlerin Çözeltiye Alınması	35
1.10.1.1.3.	Değerlerin Yüklü Çözeltiden Kazanılması	37
1.10.1.2.	Liç Türleri	39
1.10.1.2.1.	Yerinde Liç	39
1.10.1.2.2.	Yığın Liçi	39
1.10.1.2.3.	Süzülme Liçi	39
1.10.1.2.4.	Karıştırma Liçi	41
1.10.1.3.	Liç Yöntemiyle Uçucu Külden Metal Kazanımı	42
1.10.2.	Sinter Yöntemi	43
1.10.3.	Gaz-Katı Reaksiyonu	45
2.	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	46
3.	MATERYAL VE METOD	49
3.1.	Materyal	49
3.2.	Metod	50

3.2.1.	Kimyasal Analiz	50
3.2.2.	Elek Analizi	50
3.2.3.	X-Ray Analizi	50
3.2.4.	Mikroskop Analizi	50
3.2.5.	Liç Yöntemi	51
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI	52
4.1.	Analiz Sonuçları	52
4.1.1.	Mineraloji	52
4.1.2.	Morfoloji	53
4.1.3.	Kimyasal Analiz	56
4.1.4.	Tane İrilik Dağılımı	57
4.1.5.	Yoğunluk	57
4.2.	Liç Deney Sonuçları	57
4.2.1.	Asit Miktarının Çözeltme Verimine Etkisi	57
4.2.2.	Sıcaklığın Çözeltme Verimine Etkisi	62
4.2.3.	Karıştırma Hızının Çözeltme Verimine Etkisi	62
4.2.4.	Katı Oranının Çözeltme Verimine Etkisi	62
4.2.5.	Çözündürme Süresinin Çözeltme Verimine Etkisi	72
5.	SONUÇLAR	73
ÖZET	.....	75
SUMMARY	.....	76
KAYNAKLAR	.....	77
TEŞEKKÜR	.....	80
ÖZGEÇMİŞ	.....	81

ÇİZELGE LİSTESİ**Çizelge No :****Sahife No :**

1.	: Bölgeler itibarı ile linyit rezervlerinin dağılımı ve kimyasal özellikleri	21
2.	: 1980-1991 yıllarına ait santrallara verilen kömür miktarları	21
3.	: TKİ Kurumu tarafından 1993 yılı gerçekleşen satış dağılımı	22
4.	: 1956 yılından bugüne kadar kurulan termik santrallar	22
5.	: 1995-2010 yılları arasında işletmeye girmesi öngörülen termik santrallar	23
6.	: Türkiye'deki uçucu küllerin muhtemel kullanım alanları	23
7.	: Termik santrallar tarafından 1987 yılına kadar üretilen toplam uçucu kül miktarları	25
8.	: TEK tarafından satılan uçucu kül miktarları ve kullanıldıkları yerler	26
9.	: Afşin-Elbistan termik santralına ait karakteristikler	28
10.	: Afşin-Elbistan termik santralında üretilen kül miktarları	30
11.	: Bazı kömür küllerindeki temel bileşenlerin kompozisyonu ve çözünürlüğü	47
12.	: Al ve Fe kazanımının mukayesesi	48
13.	: Uçucu kül numunesine ait kimyasal bileşim	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sekil No :Sahife No :

- | | | |
|-----|---|----|
| 1. | : Kömürün yanması esnasında yanma sıcaklığına bağlı olarak oluşan uçucu külün tane yapısı ve bileşimi | 3 |
| 2. | : Uçucu küllere ait ortalama kimyasal bileşim | 5 |
| 3. | : Uçucu kül ve taban külünün tane irilik dağılımları | 6 |
| 4. | : Bir termik santralın ana özellikleri | 11 |
| 5. | : Termik santraldaki katı artığın ortaya çıkma noktaları | 12 |
| 6. | : Alttan çıkışlı, slag tipi ve siklon fırınlarında yanma sonucu oluşan külün çıkış ve tutma noktaları | 13 |
| 7. | : Çökeltme odası | 14 |
| 8. | : Siklon | 15 |
| 9. | : Bez torba filtre | 16 |
| 10. | : Yaş yıkayıcı | 18 |
| 11. | : Elektrostatik ayırıcı | 20 |
| 12. | : Afşin-Elbistan kömür havzası ve termik santral | 27 |
| 13. | : Afşin-Elbistan termik santralındaki kömür yakma sistemi | 30 |
| 14. | : Afşin-Elbistan termik santral kül atma sistemi | 32 |
| 15. | : Liç işleminin genel akım şeması. | 35 |
| 16. | : Ters akımlı yıkama yöntemi | 37 |
| 17. | : Yığın liçinin şematik gösterimi | 40 |
| 18. | : Süzülme liçinin şematik gösterimi | 40 |
| 19. | : Karıştırma liçinin şematik gösterimi | 41 |
| 20. | : Doğrudan asit liçi (DAL) yöntemiyle uçucu külden metal kazanımına ait proses akım şeması | 43 |
| 21. | : Sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılarak uçucu külden alüminyum oksit kazanımına ait proses akım şeması | 43 |
| 22. | : Uçucu külden alüminyum kazanımı için geliştirilen kireç-soda-sinter Yöntemi akım şeması | 44 |
| 23. | : Uçucu külden metallerin kazanımı için geliştirilen Calsinter yöntemi akım şeması | 45 |

24.	: Phosgene kullanılarak uçucu külden metallerin kazanımı için geliştirilen HiChlor karbonizasyon proses akış diyagramı	46
25.	: Doğrudan asit liçi (DAL) şematik akış diyagramı	48
26.	: Uçucu kül temsili numune hazırlama akım şeması	49
27.	: Doğrudan asit liçi (DAL) deney akım şeması	51
28.	: Afşin-Elbistan uçucu kül numunesine ait x-ray spektrometre diyagramı	53
29.	: Uçucu kül numunesinin elek analiz sonuçları ve boyut dağılım eğrisi.	58
30.	: Asit miktarının Al çözeltme verimine etkisi	59
31.	: Asit miktarının Fe çözeltme verimine etkisi	60
32.	: Asit miktarının Ti çözeltme verimine etkisi	61
33.	: Sıcaklığın Al çözeltme verimine etkisi	63
34.	: Sıcaklığın Fe çözeltme verimine etkisi	64
35.	: Sıcaklığın Ti çözeltme verimine etkisi	65
36.	: Karıştırma hızının Al çözeltme verimine etkisi	66
37.	: Karıştırma hızının Fe çözeltme verimine etkisi	67
38.	: Karıştırma hızının Ti çözeltme verimine etkisi	68
39.	: Pülpte Katı Oranının Al çözeltme verimine etkisi	69
40.	: Pülpte Katı Oranının Fe çözeltme verimine etkisi	70
41.	: Pülpte Katı Oranının Ti çözeltme verimine etkisi	71
42.	: Çözündürme Süresinin Al, Fe ve Ti çözeltme verimine etkisi	72

RESİM LİSTESİ

Resim No :Sahife No :

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | : Liç deney düzenegi | 52 |
| 2. | : Afşin-Elbistan uçucu külünün mikroskop ile tesbit edilen morfolojik yapısı | 54 |



ÖZ

Bu çalışmada; Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünün fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi ve içerdiği Al, Fe ve Ti gibi değerli metallerin liç yöntemi ile kazanımı araştırılmıştır.

Uçucu kül numunesi başlıca CaO ve SiO₂ ile %7.54 Al₂O₃, %4.02 Fe₂O₃ ve %1.02 TiO₂ den meydana gelmektedir. Kristal fazlar ise kuvars, kireç, anhidrit, kahverengi millerit ve anhidrit+melilit tir.

Değerli metalleri kazanmak amacıyla yapılan doğrudan asit liçi deneylerinde en iyi sonuçlar ; 300 g/lit asit konsantrasyonu, 90°C sıcaklık, 1500 D/d karıştırma hızı, % 5 lik bir pülp yoğunluğu ve Al ve Ti için 6, Fe için ise 8 saatlik bir çözündürme süresinde elde edilmiştir. Bu koşullarda % 97 Al, % 95 Fe ve % 98 Ti kazanma verimine ulaşılmıştır.

ABSTRACT

In this study; mineralogical, physical and chemical properties of Afşin-Elbistan fly ash with recovery of metal oxides such as Al, Fe and Ti by leach methods were investigated.

The representative sample of fly ash consists of mainly CaO and SiO₂ along with 7.54 % Al₂O₃, 4.02 % Fe₂O₃ and 1.02 % TiO₂. Mineralogical analyses indicated that quartz, lime, anhydrite, brown millerit and anhydrite+melilit were evident in the fly ash.

Direct acid leaching experiments were carried out for recovery of Al, Fe, and Ti from fly ash. The best results are acid concentration of 300 g/lit, temperature of 90 C°, mixing rate of 1500 rpm, solid/liquid rate of 5% solids at the extraction time of 6 hours for Al and Ti, 8 hours for Fe. Using this conditions 97% Al, 95% Fe and 98% Ti extraction recoveries were obtained.

1. GİRİŞ

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan toz kömürün yakılması sonucu değişik artık malzemeler elde edilmektedir. Bu malzemeler önemli stok (biriktirme) problemi ve maliyet gideri oluştururlar. Fakat bu atıklar aynı zamanda ekonomik potansiyel olarak faydalı malzemedirler.

Termik santrallarda üretilen külün santral dışına (genellikle santraldan oldukça uzak bir yere) bant veya boru hattı sistemiyle taşınması ve uzaklaştırılması gerekmektedir. Taşıma işleminin çeşitli problemler yüzünden tam olarak yapılamadığı durumlarda ortaya çıkan çevre kirliliğine ilave olarak termik santralların düşük kapasitede çalışmaları ve hatta tamamen durmaları sebebiyle, üretilmesi beklenen enerji miktarında düşmeler meydana gelmektedir.

Toksik bir malzeme olmasa bile kül biriktirmedeki problemler ve stoklamaya uygun geniş sahaları bulmak güç olduğu için külün biriktirilmesi artan oranda zorlaşmakta ve pahalı olmaya devam etmektedir. Termik santralların ürettikleri kül miktarının yakın gelecekte kurulacak yeni santralların da devreye girmesiyle büyük miktarlara ulaşacağı ve dolayısıyla kül atma sorununun önemli boyutlara ulaşacağı açıktır. Oysa bu küllerin değerlendirilmesi ile bütün bu problemler önemli oranda azalacak ve ekonomik fayda sağlayacaktır.

1.1. Amaç

Çevre kirliliğini önlemek amacıyla elektrofiltrelerde tutulan ve enerji üretimini aksatmamak için termik santrallarda düzenli olarak uzaklaştırılması gereken uçucu kül aynı zamanda günümüzdeki en kıymetli endüstri malzemeleri arasında bulunmaktadır. Çimento ve beton katkı maddesi, dolgu malzemesi, yol yapım ve bakımı, tuğla üretimi ve seramik sanayi gibi değişik uygulamalarda kullanılmasının yanısıra içerdiği özellikle Al ve Fe gibi değerli elementlerin kazanılması da önem kazanmaktadır.

Yüksek Lisans tezi olarak yapılan bu çalışmanın amacı Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu külünün karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve içerdiği değerli metal oksitlerin kazanılmasıdır.

1.2. Uçucu Külün Tanımı

Modern termik santrallarda açığa çıkan en önemli artık malzeme, yanmadan dolayı baca tarafından çekilen gazlarla beraber yukarı doğru sürüklenen ve *uçucu kül (fly ash)* adı verilen çok ince boyutlu kül tanecikleridir. Bu ince kül parçacıkları çeşitli yöntemlerle tutulmakta (elektrofiltre, siklon v.s.) ve baca gazları ile atmosfere yayılmaları önlenmektedir.

Uçucu küller 1-150 μm tane iriliğinde, düzensiz şekilli parçacıklar halinde bulunmasına karşın, yakma kazanının içinden kısa geçişleri boyunca ergidiklerinden genellikle küresel şekildedirler ve toplam külün ağırlıkça % 80' ini oluştururlar.

Kömür külünün diğer iki bileşeni ise taban (kazan altı) külü ve curuf'tur. Yakma sisteminin altında ya curuf içinde erimiş olarak veya taban külünde tanecikler olarak toplanırlar ve toplam külün yaklaşık % 20' sini oluştururlar (Watson, 1985).

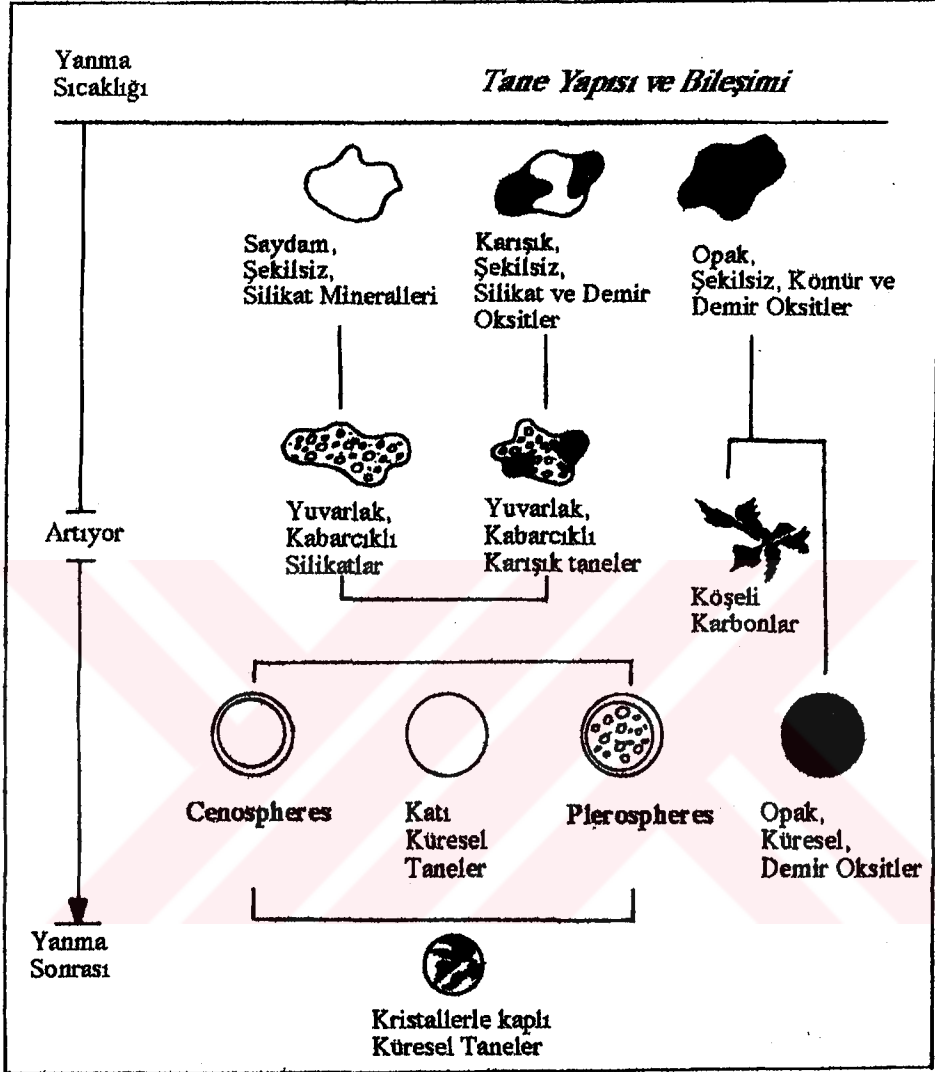
1.3. Uçucu Külün Genel Özellikleri

1.3.1. Morfoloji

Aydınlatmalı ve elektron mikroskoplarla yapılan morfolojik çalışmalar, uçucu külün heterojen bir yapıya ve çok farklı tane çeşitlerine sahip olduğunu göstermektedir. Fisher ve arkadaşları (1978) uçucu kül içindeki tanelerin 11 temel morfolojik yapıda olduğunu tanımlamışlardır. Bunlar :

- a. şekilsiz, saydam taneler
- b. şekilsiz, opak taneler
- c. şekilsiz, opak ve saydam karışık taneler
- d. yuvarlak, kabarcıklı, saydam taneler
- e. yuvarlak, kabarcıklı, opak ve saydam karışık taneler
- f. köşeli, delikli, opak taneler
- g. *cenospheres* (içi gaz dolu küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- h. *plerospheres* (içi küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- i. saydam, katı küresel taneler
- j. opak, küresel taneler
- k. yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler

Uçucu külün morfolojik yapısını içeren şema Şekil 1' de gösterilmektedir.



Şekil 1 : Kömürün yanması esnasında yanma sıcaklığına bağlı olarak oluşan uçucu külün tane yapısı ve bileşimi (Fisher v.d., 1978).

Opak (şekilsiz veya köşeli-delikli) taneler oksitlenmemiş karbonatlı malzemeler veya demir oksitler olarak sınıflandırılır. Opak küresel tanelerin ise manyetit (demir oksit) olabileceği düşünülmektedir. Şekilsiz (yuvarlak-kabarcıklı veya saydam) taneler, alümina-silikatların kömürün yanması sırasında tanelerin yanmaya karşı maruz kaldığı süreye bağlı olarak yuvarlak veya kabarcıklı oluşum şeklinde ortaya çıkmaktadır. Küresel taneler ise (cenospheres, plerospheres veya katı küresel taneler) daha uzun süreli yakma sonucu oluşmaktadır. Şekilsiz-opak taneler ise yanmamış karbondur.

1.3.2. Mineraloji

Mineralojik olarak uçucu kül 3 ana gruba ayrılabilir: Cam, mullit-küvars ve ferrit spinel (Hulett v.d., 1980).

Uçucu küldeki başlıca kristal fazları aşağıda verilmiştir. Bunlar;

Küvars (SiO₂):

Uçucu kül içinde hemen her yerde mevcuttur. Orijinal kömürdeki yanmadan arta kalan kuvarstan gelir.

Kireç (CaO):

Bütün yüksek kalsiyum içerikli linyit ve yarı-bitümlü kömür uçucu küllerinde gözlenir.

Anhidrit (CaSO₄):

Yüksek kalsiyumlu küllerde CaO ve SO₃ ten ileri gelir.

Mullit (Al₆Si₂O₁₃):

Uçucu kül içinde yaygın olarak rastlanan bir fazdır.

Hematit (Fe₂O₃):

Yanma sırası ve sonrasında piritin nihai oksidasyon ürünü olarak oluşur ve uçucu külde bulunur.

Ferrit Spinel (Mg, Fe) (Fe, Al)₂ O₄:

Hemen hemen bütün uçucu küller manyetit ve magnezyoferrit (MgFe₂O₄) ' e benzer bir x-ışını örneği ile spinel bir yapı içerir.

Sodalit (Ca₂(Ca, Na)₆ (Al, Si)₁₂ O₂₄ (SO₄)₂):

Sodalit minerali, sodyum alümina-silikat, hauyne (Ca₂(NaAlSiO)₆ (SO₄)₂ ve kalsiyum alümina sülfat (Ca₄Al₆O₁₂SO₄) içeren bir klorittir.

Trikalsiyum Aluminat ve Merwinit (Ca₃Mg(SiO₄)₃):

Yarı-bitümlü kömür ve linyitten elde edilen bazı uçucu küllerin X-ışını difraktogramlarında gözlenmektedir.

Periklas (MgO):

Periklas, dolomitten veya daha düşük dereceli kömürlerdeki organik magnezyumun oksidasyonu sonucu oluşur.

Cam :

Uçucu külde alumino-silikat camlar; Na₂O, K₂O, MgO, CaO ve FeO nun inklüzyonuyla değiştirilir.

Kahverengi Millerit ($C_4AF, C_4Al_2Fe_2O_{10}$): Uçucu küllerde olması muhtemel fazdır.

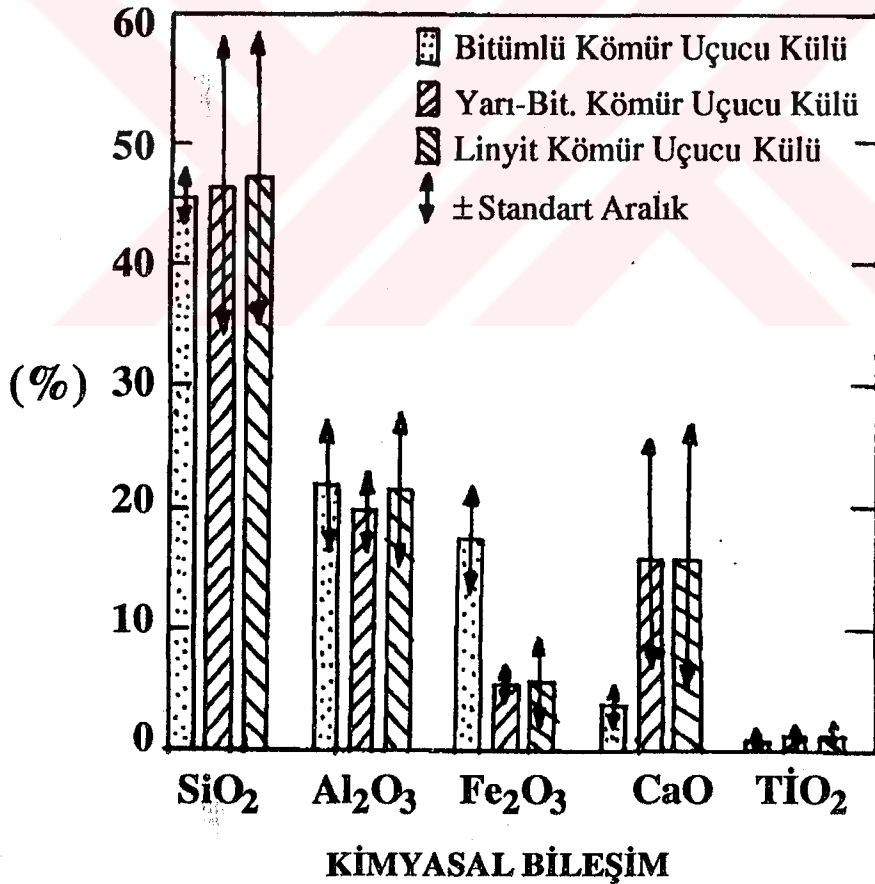
Diğer fazlar :

Dikalsiyum silikat bir veya daha çok şekilde gözlenebilir.

1.3.3. Kimyasal Bileşimi

Uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürdeki minerallerin tipine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bir çok uçucu külün % 85' inden daha fazla bir kısmı SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO ve SO_3 ' ün yer aldığı kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır.

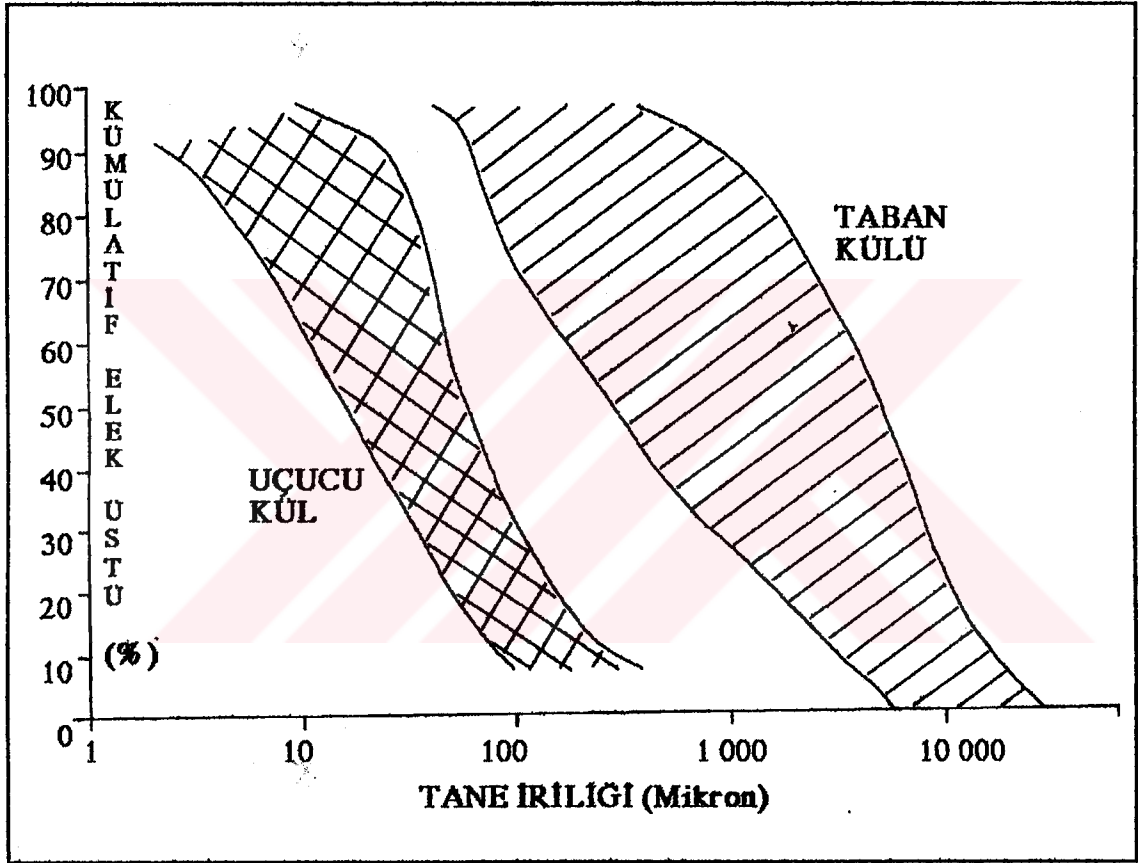
Uçucu küllerin kimyasal bileşiminin ortalama değerleri Şekil 2 ' de gösterilmektedir (Burnet, 1986).



Şekil 2 : Uçucu küllere ait ortalama kimyasal bileşim (Burnet, 1986).

1.3.4. Tane İrilik Dağılımı

Taban külü taneleri ağırlıklı olarak 0.1-10 mm arasında değişirken, mekanik tutucularda yakalanan uçucu kül taneleri taban külünden çok daha küçük boyutlara sahiptir. Uçucu kül tanelerinin büyük bir bölümü 5-100 μm çapındadır. Şekil 3 ' de uçucu kül ve taban külünün boyut dağılım oranları gösterilmektedir.



Şekil 3 : Uçucu kül ve taban külünün tane irilik dağılımları (Tetra Tech. Inc., 1983).

1.3.5. Yoğunluk

Uçucu külün ortalama özgül ağırlığı 2.4 ile 2.8 g/cm^3 arasında değişmektedir. Kaba yoğunluğu ise yaklaşık olarak 0.8 g/cm^3 ' tür.

Cenosferlerin (içi boş küresel taneciklerle dolu küresel taneler) özgül ağırlığı 0.4-0.6 g/cm^3 ve kaba yoğunluğu 0.25-0.40 g/cm^3 ' tür (Pedlov, 1973 ve Hemmings v.d., 1987).

1.3.6. Özgül Yüzey Alanı

Kömür uçucu kül tanelerinin bazı davranış özelliklerini ortaya çıkarmada önemli bir faktördür. Örneğin, elektrostatik bir ayırıcıda tane üzerine gelen elektrik yüklerinin miktarını belirler (White,1963). Ayrıca sulu liç işlemlerinin ölçüsünü ve oranını belirler.

1.4. Uçucu Külün Kullanım Alanları

1.4.1. Çimento ve Beton

Uçucu kül pozzolanik bir malzemedir. Alüminyum ve silisli yapıya sahip pozzolanik malzemeler ince taneli durumda (uçucu kül kendiliğinden çok ince taneli olarak elde edilmektedir) su ve kireçle, $Ca(OH)_2$ birleştiğinde mükemmel bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Çimentonun (Portland çimentosundaki kalsiyum silikatlı bileşenlerin) hidrasyonu sonunda tobermorit ve $Ca(OH)_2$ ürünleri ortaya çıkmaktadır. Uçucu kül, uygun oranlarda, Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında bağlayıcılık özelliğini kazanabilmek için ihtiyaç duyduğu kireci çimento hidrasyonu sonucunda elde edilebilmektedir. Bu yüzden, uçucu küllü betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanabilmenin iki yolu vardır :

- 1) Portland çimentosu klinkerinin öğütülmesi esnasında bir miktar uçucu kül katılarak beraberce öğütülmelerinin sağlanması veya ,
- 2) Öğütülerek Portland çimentosu haline getirilmiş malzemeye beton yapımında doğrudan doğruya belirli bir oranda uçucu kül eklenmesi.

Birinci yol olarak tarif edilen yöntemle elde edilen çimentolara "Uçucu Küllü Çimento" adı verilmekte ve bu tip çimentoların üretimine dair Türkiye'de TS 640-Uçucu Küllü Çimento standardı mevcut bulunmaktadır.

Yukarıda sözü edilen uçucu küllün iki önemli kullanıma şekline ilaveten bu malzeme ayrıca Portland çimentosu yapımında, gerekli oksitleri hammadde olarak içerdiğinden, çimento hammaddesi olarak da kullanılmaktadır. Uçucu küllün beton yapımında kullanılması teknik yönden çok olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Betonun işlenebilme özelliği iyileşmekte; su geçirgenlik, hidrasyon ısı, alkali-agrega reaksiyonu, büzülme, kanama ve segregasyon azalmakta; sülfatlara dayanıklılık, çekme dayanımı ve dayanıklılık özellikleri artmaktadır.

Teknik olarak sağlanan çok olumlu sonuçların yanı sıra, betonda uçucu külün kullanılması ile ekonomik yararlar ve enerji tasarrufu da elde edilmektedir. Üretilen Portland çimentosundan nisbeten daha az bir miktar kullanarak başarılı beton elde edilmektedir. Böylece, gerek öğütülmeye harcanacak enerjiden tasarruf sağlanmakta, gerekse pahalı yatırımlarla kurulan çimento fabrikalarının ürünleri teknik özelliklerinden fedakarlık yapmadan daha yaygın ve daha ucuz olarak kullanılabilir (Erdoğan v.d., 1982).

1.4.2. Hafif Agregaya

Uçucu küller 1150-1200°C da hafifçe ergiyerek birbirine yapışmakta ve uygulanan sinterleşme metoduna bağlı olarak yuvarlak ve silindirik taneli agregalar oluşmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların betonda kullanılması ile hafif beton bloklar ve yapıda hafif beton elde edilmektedir. Bu şekilde yapılan betonlar normal ağırlıklı betonlar kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, hafif olması nedeniyle binalarda işçilik ve temel masrafların azalması, ısı ve ses iletkenliğinin düşük ve ateşe dayanıklı olması bakımından bazı önemli üstünlükler sağlamaktadır. Elde edilen betonların (havada kurutulmuş) yoğunluğu 1100-1800 kg/m³ civarındadır. Uçucu küllerden elde edilen iyi kalitedeki hafif agregalarla yapılan betonların 28 günlük küp basınç dayanımları 450 kg/cm² civarında olabilmektedir.

1.4.3. Karayolları Yapımında Kullanımı

Yol yapımında uçucu kül iki şekilde kullanılmaktadır :

(i) Dolgu malzemesi olarak kullanımı :

Uçucu kül sıkıştırıldığı zaman diğer dolgu malzemelerine oranla daha düşük bir yoğunluğa sahip olabilmektedir. Bu durum, özellikle sıkıştırılabilir özelliği yüksek zeminler üzerinde bu malzemenin uygun bir dolgu malzemesi olarak kullanılmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, birçok uçucu kül sıkıştırıldığında kendi kendine yeterli bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Bu tip uçucu külün kullanılması ile malzemede yerleşme nedeniyle oluşan deformasyon daha küçük olabilmektedir. Özellikle, yerleşme hareketinin büyük sorunlar yarattığı köprü ayaklarında uçucu külün kullanılması büyük yararlar sağlamaktadır.

(ii) *Toprak stabilizasyonu sağlanarak, alt temel veya temel malzemesi olarak kullanımı :*

Uçucu kül tek başına yol alt yapı malzemesi veya taban malzemesi olarak kullanılmamaktadır. Ancak stabilizasyon sonucunda bu amaç elde edilebilmektedir. Stabilizasyon ise iki şekilde yapılabilmektedir :

(a) Ekonomik miktarlarda kireç veya çimentonun uçucu küle karışması ile agrega olarak kullanılması,

(b) Kireç veya çimentonun uçucu küle katılması ile bağlayıcı madde olarak kullanılması ve böylece toprağın fiziksel özelliklerinin daha iyi duruma getirilmesi.

1.4.4. Gaz Beton

Gaz beton, çimento veya kireç ile uçucu kül karışımından otoklavlarda hava veya başka bir gaz geçirilerek elde edilmektedir. Genellikle istenen büyüklükte hazırlanan gaz beton blokları, hafif olduklarından taşımada kolaylık, ucuzluk ile binanın hafifliğini ve ısı yalıtımını sağlamaktadır. Yoğunluğu normal betonun 1/5 ' i ile 1/3 ' ü arasında değişmektedir.

Ayrıca ateşe dayanıklı olan gaz beton bloklar, uçucu külü tekrar öğütmek gerekmediği için de daha ucuza üretebilmektedir. Bloklar testere ile kesmeye, çivi çakmaya ve vidalamaya son derece uygundur.

1.4.5. Tuğla

Uçucu kül, çok ince taneli olması ve sinterleştiğinde yüksek dayanım vermesi nedeniyle tuğla üretiminde (değişik amaçları göre, çok değişik oranlarda) kullanılmaktadır.

1.4.6. Absorban Olarak Kullanımı

Atık suların arıtılmasında kullanılan bir yöntem de "absorban" kullanılmasıdır. Suların organik maddelerden arıtılmasında absorban olarak aktif karbon kullanılmaktadır. Aktif karbon çok etkin olmakla beraber oldukça pahalıdır. Uçucu kül tanelerinin çoğunun içinin boş ve yüzeyinin aktif olması absorpsiyon özelliği sağlar ve yapılan araştırmalar, uçucu külün absorban olarak kullanılması halinde, organik madde ve deterjan artıkları için iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

1.4.7. Diğer Kullanım Alanları

Yukarıda özet olarak verilen kullanımına ilave olarak uçucu külün kullanıldığı diğer alanlar şu şekilde sıralanabilir (Erdoğan v.d., 1982):

- * İçindeki bazı nadir metallerin elde edilmesinde,
- * Taşkın önlenmesinde,
- * Döküm kumu olarak,
- * Duvar harçlarında,
- * Metal yüzeylerin püskürtme ile temizlenmesinde,
- * Akustik bloklarda,
- * Dolgu maddesi olarak çatı malzemeleri, postisit, sabun, kağıt, lastik, plastik, ve suni gübre sanayinde,
- * Kömür madenlerinde yangın ve çökme kontrolünde,
- * Asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak,
- * Buz kontrolünde,
- * Emülsion üretiminde,
- * Petrol kuyuları sondajlarında,
- * Seramik sanayinde.

1.5. Termik Santrallerde Kömür Yakma Sistemleri

Yanma kimyasal bir işlemdir. Amaç kimyasal enerjinin termik enerjiye dönüşümü yoluyla ısı elde etmektir. Dolayısıyla yanma olayı kimyasal tepkimeler için geçerli esaslara bağlıdır. Bu işlem genel olarak :

$$\boxed{\text{Yakıt} + \text{Oksitleyici} = \text{ISI} + \text{Tepkime Ürünleri}} \quad (1)$$

denklemleriyle belirlenir.

Kömürün ve katı yakıtların yanmasını sağlamak için, oksitleyici ortamın (hava) yakıtla tam temas sağlanması gereklidir. Bütün yakıtın oksitlendiği durumlarda tüm elemanlar ortamı oksitlenmiş olarak terkederler.

Kömürün enerji üretmek için yakılmasında genel olarak 3 sistem kullanılır. Bunlar :

- * Kömürün sabit yatakta yakılması
- * Kömürün askıda yakılması
- * Kömürün akışkan yatakta yakılmasıdır.

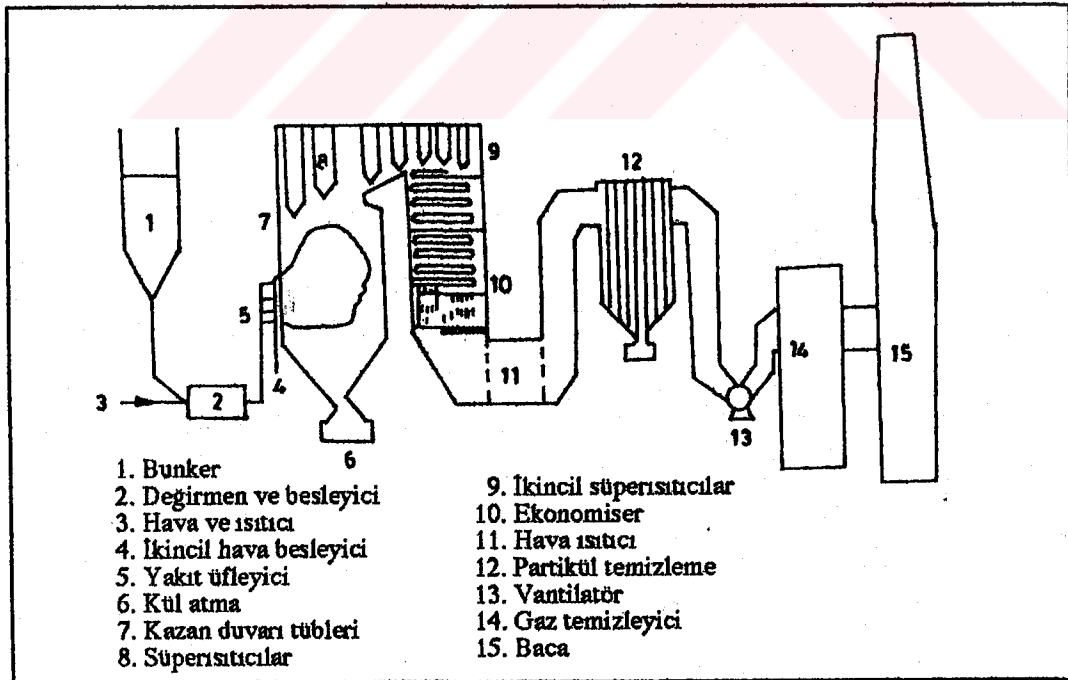
Hemen hemen bütün termik santrallerde pulverize kömür kullanarak buhar üretimi için askıda yakma sistemine dayalı kazanlar kullanılmaktadır. Sistemin prensibi, 74 µm altına öğütülmüş kömürün hava ile kazana taşınması ve sıcak bölgede asılı halde yanmasıdır.

Kazanın uygun dizaynı dolayısıyla kömür karakteristiklerinden fazla etkilenmeyişi, yüksek ısı açığa çıkarma, tam yanma ve düşük duman emisyonu özellikleri sistemin kullanımını cazip hale getirmiştir.

Şekil 4'de de gösterildiği gibi pulverize kömür yakma üzerine dizayn edilmiş modern bir termik santralde kömür, kırma ve öğütme işlemleri sırasında kurutulur.

Pulverize kömür kazanın merkezinde yanar ve oluşan ısı 1500°C süper ısıtıcılarda kullanılır. Sıcak gazlar daha sonra kazanın içine yerleştirilmiş olan buhar tüpleri arasından geçer ve bunları ısıtır. Gazlar ayrıca kazana beslenen su ve havayı ön ısıtmada da kullanılır. Gazlar en sonunda kül tutuculardan ve bazı ünitelerde sıcak gaz desülfürizasyon işleminden sonra atmosfere verilir.

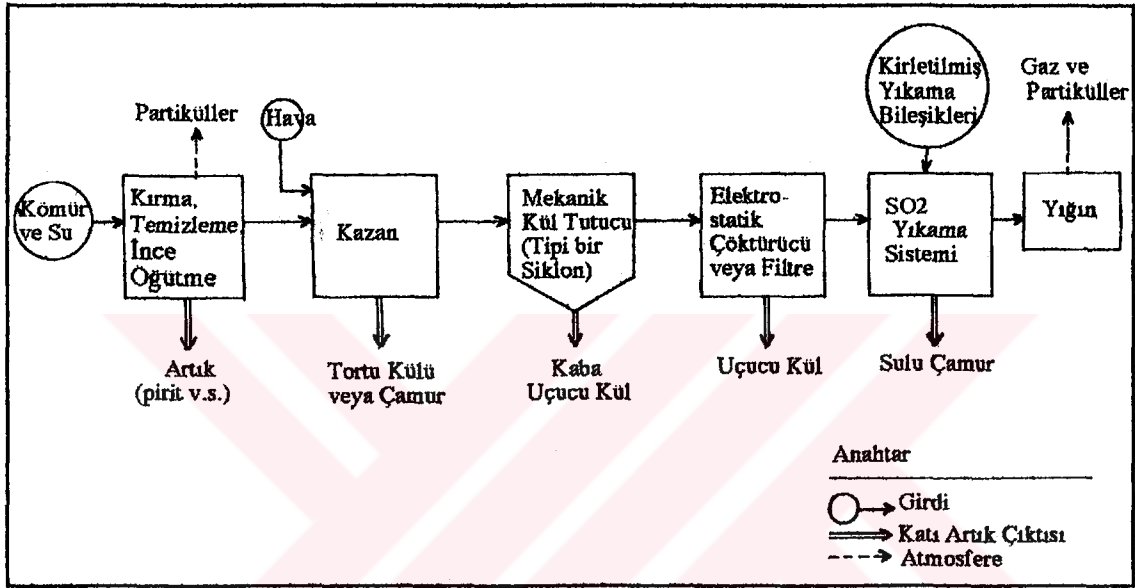
Pulverize kömür yakma sisteminde kömür tane iriliği, nem oranı, cinsi, yanma kamarası sıcaklığı ve kömür tozu + hava oranı yanmaya tesir eden faktörlerdir (Pişkin ve Kural, 1988).



Şekil 4 : Bir termik santralin ana özellikleri (Pişkin ve Kural, 1988).

1.6. Termik Santrallerden Uçucu Kül Toplamının Temel Prensipleri

Termik santrallerden atmosfere verilen (yayılan) baca külünün (uçucu kül) toplanması hava kirliliğinin kontrolü konusunda en önemli işlemlerden birisidir. Kömürle çalışan bir termik santraldeki katı artığın ortaya çıkma noktaları Şekil 5'te verilmektedir (Tetra Tech. Inc., 1983).

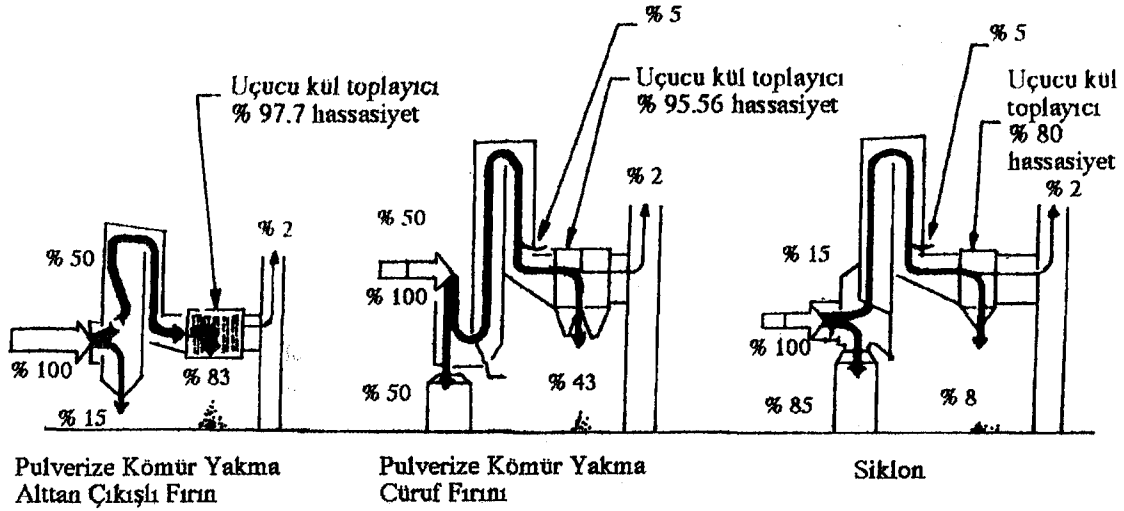


Şekil 5 : Kömürle çalışan bir termik santraldaki katı artığın ortaya çıkma noktaları (Tetra Tech. Inc., 1983).

Baca külünün tane irilik dağılımı, kimyasal bileşimi ve konsantrasyon seviyelerindeki çok geniş değişimlerin görülmesi külün tutulmasını daha da zorlaştırmaktadır. Tüm bu faktörler kullanılan yakıt ve yakma sistemine (örneğin kullanılan kazan tipi) bağlıdır.

Kömür pulverize halinde alttan çıkışlı bir fırında yakıldığında külün hepsi süspansiyon halindedir ve tanecikler fırın duvarlarında toplanır ve gazla birlikte çıkmayarak alttan alınır. Erimiş cüruf halinde külün uzaklaştırılması yüksek fırın sıcaklığının kullanımı nedeniyle kül taneciklerinin kümelenme şansı daha fazladır. Yakıcı tüyelerin ergimiş cüruf içinde olması daha iyi bir kül tutmayı sağlar.

Merkezkaç kuvvetinin ve ergimiş cürufun siklon tipi fırının duvarlarında toplanması nedeniyle külün ancak çok az bir kısmı yakma gazları içinde fırını terkeder. Şekil 6'da alttan çıkışlı, cüruf tipi ve siklon tipi fırınlarda yakma sonucu oluşan külün çıkış ve tutma noktaları gösterilmektedir (Ely ve Bernhart, 1963).



Şekil 6 : Altan çıkışlı , cüruf ve siklon fırınlarında yanma sonucu oluşan külün çıkış ve tutma noktaları (Ely ve Barnhart, 1963).

Kül tutucu sistemlerin tasarımında genellikle 3 temel prensip kullanılmaktadır.

Bunlar ;

- * Özgül ağırlık
- * Merkezkaç
- * Elektrostatik

Gravitenin kullanıldığı çökme haznelinde hazne girişinin hazne boyunca genişlemesiyle birlikte gaz hızı azalmakta ve tanelerin bir kısmı yoğunluğun etkisiyle çökmektedir. Bu tip kül tutma sisteminde tutma hassasiyeti düşüktür ve sistem ancak iri tane boyutlu küllerin tutulmasında etkilidir. Ancak bazı araştırmacılar gaz içindeki katı taneciklerin gravitenin yanısıra bir merkezkaç kuvveti etkisinin altında kaldığını da belirtmektedirler. Çok ince boyutlu tanecikler ise Brown hareketi nedeniyle difüzyona uğramakta ve bu da gravite ile kül tutma sisteminde etkin olmaktadır.

Siklon tipi ayırıcılarda ise gaz içindeki tanecikler merkezkaç kuvvetinin etkisiyle siklon duvarlarına fırlatılır ve siklon içinde bir hava kolonu oluşur. Bu merkezkaç kuvveti, siklon çapının azalmasıyla artmakta ve dolayısıyla da siklonun tutma hassasiyeti artmaktadır. Bu tip ayırmada gravite ile tutma yöntemine göre daha küçük tane boyutlu küllerin tutulması mümkün olmaktadır.

Elektrostatik kül tutma ise düşük basınç azalması, yüksek tutma hassasiyeti ve güvenilir çalışma sistemine sahip olması nedeniyle halen en çok kullanılan yöntemdir. Elektrostatik tutucular tüp veya plakalardan ve bunların arasında bulunan tel ve keskin ağızlı bıçaklardan meydana gelir. Bu tel ve plakalar arasında yaklaşık 40 000 - 60 000 V akım verilir. Bu yüksek voltaja tabi tutulan gaz içindeki tanecikler elektrikle yüklenir ve tüp veya plakalara yapışır. Daha sonra bu plaka ve tüplerin aralıklı olarak titreşime tabi tutulması ile plaka veya tüplerin üzerinde bulunan kül tanecikleri bir toplayıcı siloya dökülür (Ely ve Barnhart, 1963).

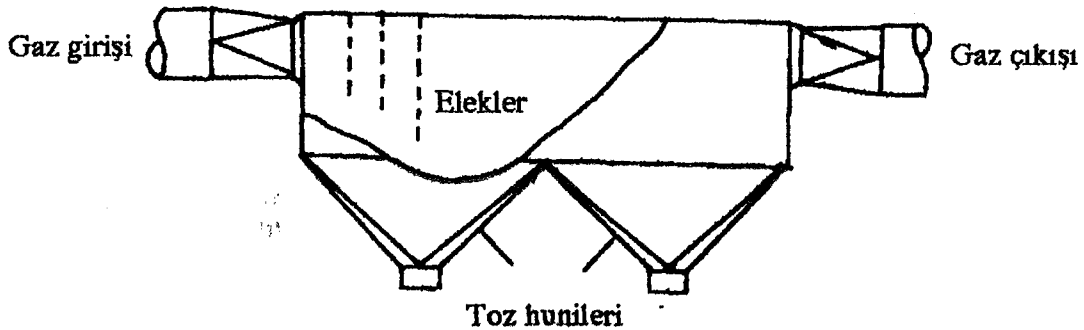
1.6.1. Gravitasyonel Toz Tutucular (Çökeltme Odaları)

Bu cihazın tutma başarısı çok düşüktür ve günümüzde gerçek gaz temizleme amacıyla kullanımı nadirdir. Belirli bir gaz hızında taneciklerin gravite etkisiyle çökmesi; tane boyutu, yoğunluk, şekil ve aynı zamanda gazın viskozitesine bağlıdır.

Çökeltme odası aslında giriş ve çıkış kanalları, bunlardan daha büyük ve zıt bölgesel akış sahasının bulunduğu bir havuzdan ibarettir. Akış hızındaki ani düşüş gravite etkisiyle daha ağır parçacıkların haznenin aşağısına doğru düşmesine sebep olur. Çökeltme odasına ait şematik gösterim Şekil 7 'de verilmektedir (Storch, 1979).

Böyle bir sistemde 10-25 m/sn gaz hızında 10-100 µm tane boyutuna sahip tanecikler tutulabilir. Ancak taneciklerin serbest düşme hızı saniyede sadece bir kaç cm veya mm dir.

Çökeltme odalarının en büyük avantajı basit dizaynı ve kurulmasında kullanılan malzeme cinsinde belirli bir sınırlamanın bulunmamasıdır.



Şekil 7 : Çökeltme odası (Storch, 1979).

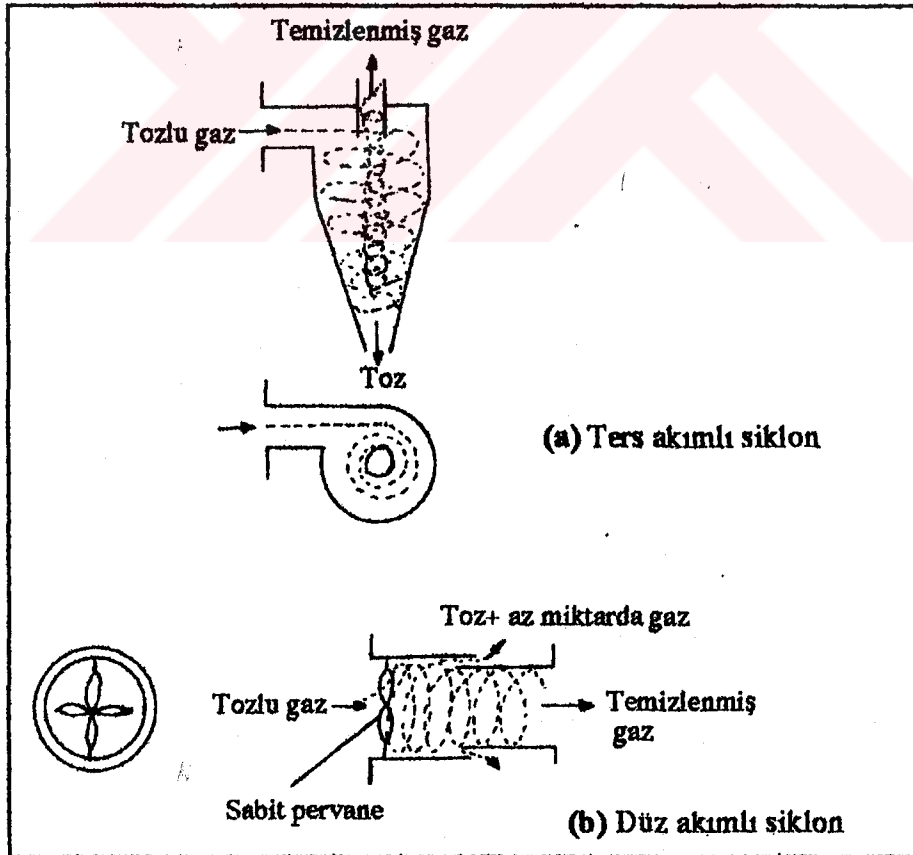
1.6.2. Santrifüj Toz Tutucular (Siklonlar)

Merkezkaç kuvvetini kullanarak parçacıkları gazdan ayırmak için diğer bir ifadeyle gaz içindeki taneciklerin tutulması amacıyla kullanılmaktadır. Yapı olarak bir siklonun genellikle bir gaz girişi, gaz çıkış kısmı ve hava kolonu (girdap) oluşturacak şekilde gövde tasarımının olması istenir.

Ters akım ve düz akım olmak üzere iki tür siklon dizayn edilmiştir ve kullanılmaktadır (E.E.U.A.,1968).

Ters akımlı siklonda silindirin üstünden çevresel olarak verilen gaz siklon içinde bir dönme hareketi yapar. Toz tanecikleri bu merkezkaç kuvveti etkisiyle silindir duvarlarına doğru hareket eder ve daha sonra konik kısmın altında bulunan noktadan dışarı alınır. Temizlenmiş gaz ise siklonun üstünden dışarı çıkar (Şekil 8a).

Düz akımlı siklonda ise gaz silindir içine monte edilmiş sabit pervanenin dönmesiyle oluşturulan merkezkaç kuvveti etkisiyle tanecikler silindir duvarına doğru hareket eder ve iç içe geçmiş iki silindir arasındaki yerden dışarı alınır (Şekil 8b).

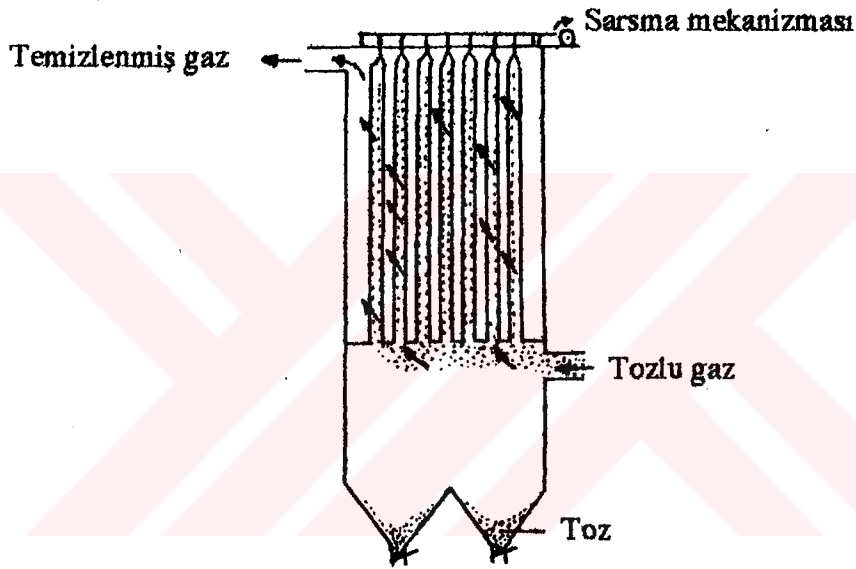


Şekil 8 a , b: Siklon tipi gaz tutucu (E.E.U.A., 1968).

1.6.3. Filtrasyon Yolu İle Toz Tutma (Bez Torba Filtreler)

Gaz içindeki toz parçacıkları tutmanın en eski yöntemlerinden birisi filtrelemedir. Bu işlemde, gaz içindeki tanecikler poroz bir yapıya sahip (filtre bezi) malzemeden geçirilerek daha iri boyutlu taneler bu malzemenin üstünde toplanırken daha ince boyutlu taneler ortamdaki geçerek ayrılır.

Mody ve Jachete (1988) bu kollektörlerin yüksek hassasiyetinin Şekil 9' da da gösterildiği gibi torbaların yüzeylerinde oluşmuş toz keklerine bağlı olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 9 : Bez torba filtre (Mody ve Jachete, 1988).

Torbalar dokuma kumaştan veya keçeli pamuktan, ya bir tüp yada bir zarf şeklindeki sentetik veya fiberglas malzemeden yapılabilir. Kumaş aşağıda belirtilen mekanizmalar sayesinde ilk önce toz parçacıklarını toplayan bir yüzey durumdadır.

* Hareketsiz toplama : Toz parçacıkları gazla yön değiştirmek yerine gaz akış yönüne dik olarak yerleştirilmiş liflere çarpar.

* Durdurma : Taşıyıcı ortamdaki (gaz içindeki) tanecikler filtrenin yüzeyi ile temasa geçerek durdurulur.

* Brown hareketi : Mikron altı tanecikler difüzyona uğrar ve bu durumda tanecikler ile filtre yüzeyi arasındaki temas artar.

* Elektrostatik kuvvetler : Tanecikler ve filtre yüzeyi arasındaki elektrostatik şarj toz tutmayı artırır.

Mc Cain ve arkadaşları (1984) tarafından pilot tesis ölçeğinde yapılan çalışmalarda filtrelerde elektrostatik şarj kullanımının normal filtrelere nazaran performansı artırdığı tesbit edilmiştir. Bu çalışmada % 98.64 - 99.99 'lık toplama ürünü elde edilmiştir.

Filtreler yüksek tutma başarısı (% 99), basit çalışması, yüksek kükürtlü kül karakteristiğinin filtre çalışmasına etkisi olmaması gibi avantajlara sahiptir. Ancak bunların başlıca avantajı çok ince parçacıkları sistemde tutacak yeterlikte olmasıdır. Bunların düşük hava filtre oranına (0.5-1.0 cm/sn) sahip olmaları, yüksek sıcaklıklarda uygulanamaz olmaları, büyük miktarlarda alana ihtiyaç duymaları ve sık sık bakım ihtiyacı duyabilecek pek çok hareketli kısma sahip olmaları gibi olumsuzlukları da vardır.

1.6.4. Sıvı Püskürtme Yolu İle Toz Tutma (Yaş Yıkayıcılar)

Sıvı kullanan toz tutucular yaygın olarak yaş yıkayıcılar olarak bilinirler (Şekil 10). Kullanılan bütün yaş yıkayıcılar genelde 3 temel işlemi gerçekleştirmektedir. Bunlar;

* Gaz-nemlendirme : Çok ince boyutlu tanecikler gaz nemlendirme işlemi ile boyutlarında büyüme görülür ve böylece daha kolay tutulurlar.

* Gaz-sıvı teması : Bir tane ve sıvı damlası 3 temel mekanizma şeklinde temasa geçer.

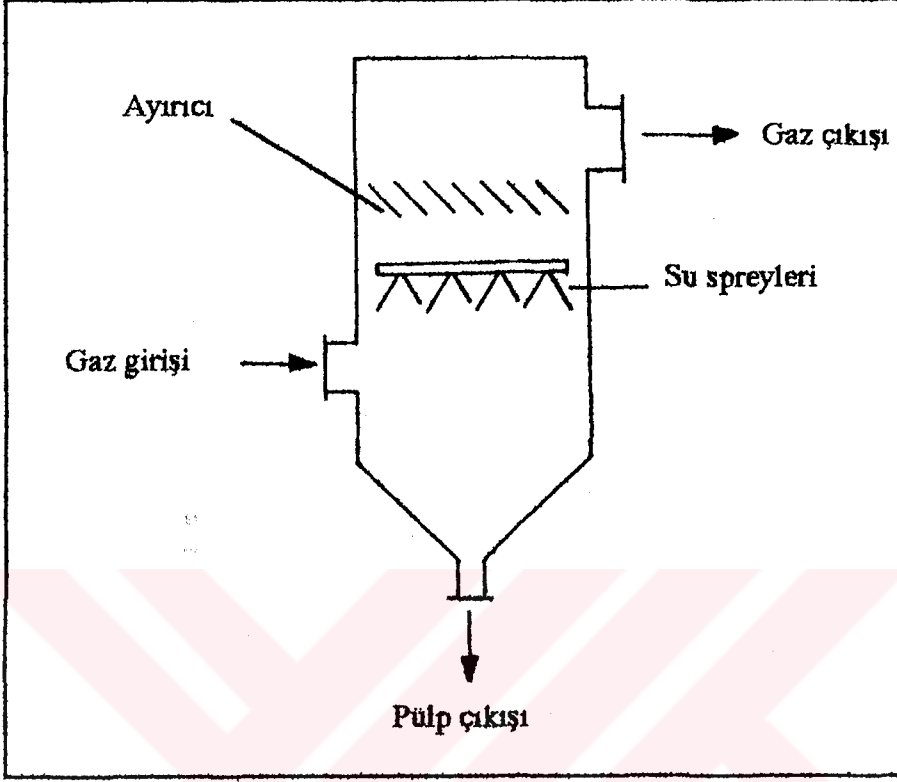
- Yapışma : Toz taneciklerinin su damlalarına çarparak yapışması.

- Yayılma : Daha küçük boyutlu taneciklerin difüzyonu sağlanarak sıvı damlacıkları tarafından toplanması.

- Yoğunlaşma : Yıkayıcının içinden geçen gaz belirli bir sıcaklıktan sonra yoğunlaşmakta ve oluşan nem taneciklerin boyutunu arttırmakta ve böylece toplama daha da kolaylaşmaktadır.

* Gaz-sıvı ayırımı : Toz tanecikleri ve su damlacıkları birbirleriyle temasa geçince aglomeratlar oluşturmakta ve bu büyümeyle çökeltme gerçekleşmektedir.

Yaş yıkayıcılar düşük maliyet ve yüksek tutma hassasiyetine rağmen yüksek işletme ve bakım maliyeti, donmaya karşı korunma ihtiyacı gibi bir takım dezavantajlar, yaş yıkayıcıları kullanım açısından sınırlamaktadır. Bu yüzden, bu tür bir tesis seçilmeden önce amaca uygun yerleşim ve çalışma faktörlerinin tümüne ait dikkatli bir çalışmanın yapılması gerekmektedir (Mody ve Jachete, 1988).



Şekil 10 : Yaş yıkayıcı (Mody ve Jachete, 1988).

1.6.5. Elektrostatik Çökeltme Yolu ile Toz Tutma (Elektrostatik Ayrıcılar)

Bu toz tutma sisteminin esası, elektrik yüklü bir tanenin iki elektrod arasında meydana getirilen elektrik alanına girdiği zaman ters işaretli olan elektroda doğru çekilmesidir. Toz ve mineral tanelerine elektrik yükü kazandırmak için çeşitli yöntemler arasında en çok gaz iyonu bombardımanı uygulanmaktadır. Bu tip gaz iyonları, yüksek gerilimli bir tel ile topraklanmış bir iletken cisim arasında elde edilir. Telin etrafındaki hava iyonize olur ve iyonlar topraklı cisme doğru çekilirler. Elektriklenmiş böyle bir alana giren ve yüksüz olan taneler gaz iyonlarının bombardımanına uğrayarak elektrik yükü kazanırlar. Genellikle negatif iyonlar tanenin yüzey kafesindeki pozitif noktalara doğru hareket ederek toz veya mineral tanesine negatif elektrik yükü kazandırılırlar. Elektrik yükü kazanma tanenin elektriksel direnç karakterine bağlıdır. Toplanan kuru toz plakanın periyodik olarak sarsılmasıyla ayrılır. Elektrostatik toz tutucuların en önemli avantajı büyük gaz hacimleri içinde mikron seviyesi altındaki toz tanelerini düşük bir işletme maliyeti ile toplayabilmesidir.

Elektrik alanı oluşturulan bölümlerde iyi bir gaz dağılımı sağladığı takdirde toplama verimleri %99-100 e kadar çıkabilmektedir.

Bir elektrostatik ayırıcının şematik olarak gösterimi Şekil 11 ' de verilmektedir. Böyle bir sistemde karşılaşılabilecek problemleri 3 grup halinde değerlendirmek mümkündür. Bunlar temel, mekanik ve çalışma ile ilgili problemlerdir (White, 1963).

- Temel zorluklar :**
- . düşük gaz akımı
 - . elektrodların kötü sarsıntısı
 - . kötü tasarlanmış elektrod sistemleri
 - . yetersiz yüksek akım elektrik donanımı
 - . yüksek dirençli taneler

- Mekanik zorluklar :**
- . elektrodların kötü ayarlanması
 - . silodaki hava kabarcıkları
 - . tellerin veya plakaların titreşimi

- Çalışma zorlukları :**
- . kötü elektrik sistemleri
 - . siloların boşaltılmasındaki zorluklar
 - . fazla miktardaki gaz akımından dolayı toplayıcının aşırı yüklenmesi.

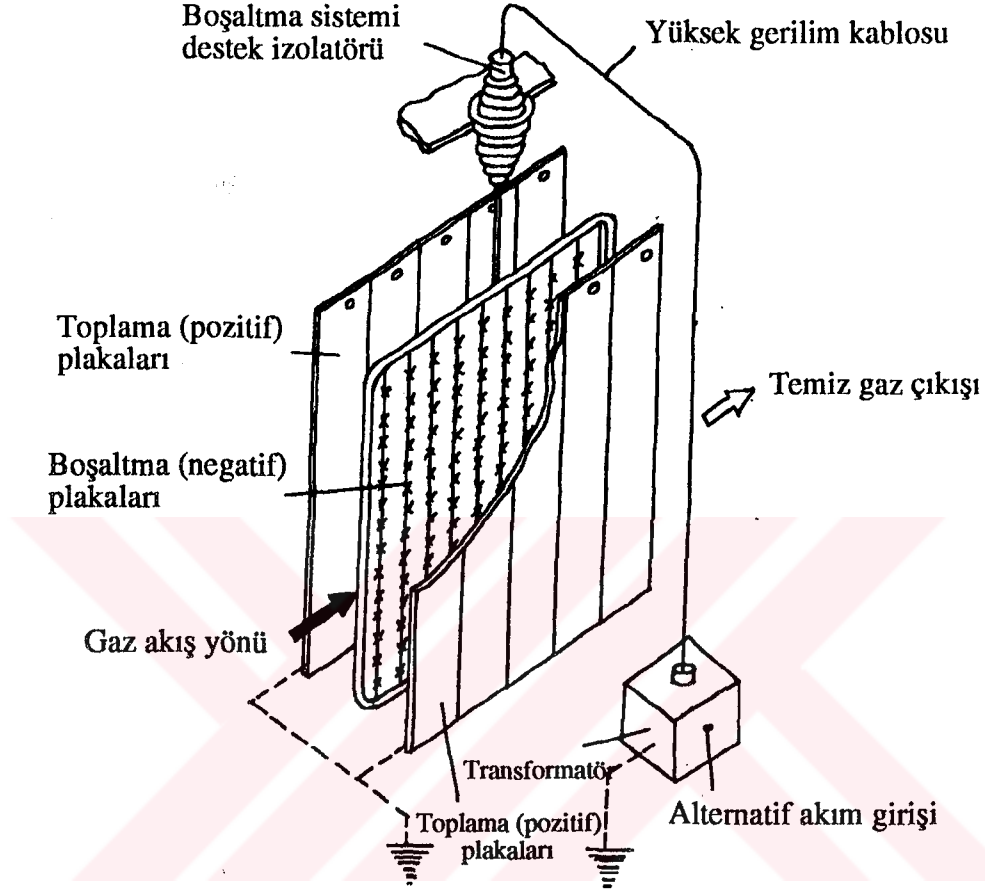
Günümüzde en çok kullanılan bu yöntem ancak çok ince boyutlu tanecikler için yüksek tutma başarısına sahiptir.

1.7. Türkiye'deki Linyit Üretimi ve Termik Santraller

1.7.1. Linyit Üretimi

Ülkemizde linyit havzaları bütün bölgelere yayılmış olup ısı değerleri 1000-6000 Kcal/kg arasında değişmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda 8.3 milyar ton toplam linyit rezervinin varlığı belirlenmiştir. Bu rezervin yaklaşık % 75'i TKİ 'nin elinde bulunmaktadır.

Bölgeler itibarı ile linyit rezervlerinin dağılımı ve kimyasal özellikleri Çizelge 1 'de gösterilmektedir (Kösebalaban, 1994).



Şekil 11: Elektrostatik ayırıcı.

Linyitlerimiz genellikle düşük kalitelidir. Toplam rezervin yaklaşık % 75'i 2500 Kcal/kg lık bir ısı değerinde altındadır.

1970' li yıllarda başlayan petrol krizi ülkemizde olumsuz yönde etkilemiş ve ortaya çıkan elektrik açığını karşılamak amacıyla linyite dayalı termik santrallerin yapımına ağırlık verilmiştir. Buna paralel olarak linyit üretiminde önemli bir artış sağlanmıştır. 1980 yılında 13.7 milyon ton olan TKİ'nin üretimi 1989 yılında 42 milyon tona kadar yükselmiştir (Çizelge 2) (Kösebalaban, 1994).

TKİ kurumu tarafından 1993 yılında gerçekleştirilen linyit satışları Çizelge 3 'de gösterilmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi toplam linyit üretimi 39 000 000 ton olarak gerçekleşmiş ve bunun yaklaşık 1/5 i Afşin-Elbistan termik santralının bulunduğu AEL müessesesinde üretilmiştir.

Çizelge 1 . Bölgeler itibarı ile linyit rezervlerinin dağılımı ve kimyasal özellikleri.

BÖLGELER	Yaklaşık Rezerv (ton)	Ortalama Kimyasal Özellikler			
		Nem (%)	Kükürt (%)	Kül(%)	Isıl Deg.
KUZEY BATI ANADOLU BÖLGESİ	1.8	20	1.7	20	3 500
GÜNEY-ORTA ANADOLU BÖLGESİ	3.7	50	2	20	1 200
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	1.4	30	3.2	25	3 000
GÜNEY-BATI ANADOLU BÖLGESİ	0.9	30	2	20	2 500
TRAKYA BÖLGESİ	0.35	30	3	20	2 500
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	0.15	20	1.2	20	3 000
TOPLAM	8.3	36.5	2.1	21	2 330

Çizelge 2. 1980-1991 yıllarına ait TKİ tarafından santrallara verilen kömür miktarları.

Yıllar	Satılabilir Üretim (ton)	Termik Santral Tüketimi	
		ton	%
1980	13 638 891	5 483 254	40
1981	15 049 970	6 850 757	46
1982	16 159 571	7 034 944	44
1983	18 527 757	9 086 349	49
1984	22 008 202	11 501 837	52
1985	30 993 004	19 579 675	63
1986	36 701 872	27 934 546	76
1987	37 233 693	24 035 345	65
1988	30 210 000	15 174 139	50
1989	42 137 000	29 092 804	69
1990	36 859 756	28 055 455	76
1991	36 580 379	29 500 000	81

Çizelge 3. TKİ kurumu 1993 yılı gerçekleşen satış dağılımı (ton) (TKİ, 1994).

Müesseseler	Termik Santral	Diğer (Isınma+sanayi)	TOPLAM
ADL	-	286 007	286 007
DLI	-	145 622	145 622
GAL	-	98 699	98 699
ÇLI	-	669 412	669 412
İLI	-	540 591	540 591
MLI	591 422	232 177	823 599
SLI	5 389 523	1 569 046	6 958 569
GLI	1 340 116	2 534 000	3 874 116
ELI	7 203 036	2 298 569	9 507 605
OAL	1 170 923	169 289	1 340 212
GELI	6 186 850	169 915	6 356 765
AEL	8 035 669	91 223	8 126 852
TOPLAM	29 917 539	8 804 550	38 722 089

1.7.2. Linyitle Çalışan Termik Santraller

Türkiyedeki linyitle çalışan termik santraller devreye giriş tarihlerine göre Çizelge 4 'de sunulmaktadır.

Çizelge 4. 1956 yılından bugüne kadar kurulan termik santraller (TEK-TKİ, 1992).

Santral Adı	Santral Gücü (MW)	Servise Giriş Tarihi	Baz Kalorifik Değer (Kcal/kg)	Yıllık Kömür Tüketimi (ton)
Tunçbilek A	2x32	1956	3500	490 000
Soma A	2x22	1957	3500	270 000
Seyitömer (1-3)	3x150	1973	1750	
Tunçbilek B	2x150	1977	2170	1 950 000
Soma B (1-4)	4x165	1981	2200	4 600 000
Yatağan (1-2)	2x210	1982	2000	3 300 000
Yatağan (3)	1x210	1984	1750	1 725 000
Afşin-Elbistan	4x340	1984	1050	22 000 000
Yeniköy (1-2)	2x210	1986	1700	3 860 000
Çayırhan	2x150	1987	2300	1 800 000
Seyitömer (4)	1x150	1989	1600	
Kangal (1-2)	2x150	1989	1300	3 000 000
Orhaneli	1x150	1992	2100	1 700 000

Çizelge 5. 1995-2010 yılları arasında işletmeye girmesi öngörülen termik santraller.

Santral Adı	Santral Gücü (MW)	Devreye Gireceği Tarih
Tunçbilek A	1x130	1996
Kangal 3	1x150	1996
Elbistan A (5-6)	2x340	1997
Elbistan B (1-2)	2x340	1998
Elbistan B (3-4)	2x340	1999
Çayırhan (3-4)	2x150	2000
Tufanbeyli 1	1x300	2000
Tufanbeyli 2	1x300	2001
Elbistan C (1-2)	2x340	2002

1.8. Uçucu Külün Türkiye'deki Muhtemel Kullanım Alanları , Üretimi ve Tüketildiği Yerler

1.8.1. Kullanım Alanları

Türkiye'de üretilen küllerin muhtemel kullanılma alanları Çizelge 6 'da gösterilmektedir (Erdogan v.d., 1982).

Çizelge 6. Türkiye' deki uçucu küllerin muhtemel kullanım alanları (Erdogan v.d., 1982).

Uçucu Kül Kullanım Alanları	Soma A	Tunçbilek	Seyitömer	Çatalağzı	AEL
Doğrudan beton katkı maddesi olarak (x)	U	U	U D	U	U D
Çimento klinkerine katılarak uçucu küllü çimento üretiminde (x)	U	U	U	U	U D
Çimento hammaddesi olarak	U	U	U	U	U
Tuğla yapımında	U	U	U	U	H
Hafif agrega yapımında	U	U	U	U	H B
Gaz beton yapımında	H B	U	U	U	H B
Yol yapım ve stabilizasyon malzemesi olarak	U	U	U	U	U

U : Uygun U D : Uygun değil H B : Henüz bilinmiyor (x) : TS 639 Uçucu Kül

1.8.2. Uçucu Kül Üretimi

Türkiyede termik santraller tarafından 1987 yılına kadar üretilen toplam uçucu kül miktarları Çizelge 7 ' de verilmektedir.

1.8.3. Uçucu Külün Tüketildiği Yerler

Türkiye'de uçucu külün uygulamaya dönük ilk çalışmaları 1964 yılında DSİ laboratuvarlarında başlatılmış ve bu çalışmalar sonucu Tunçbilek Termik Santralından alınan uçucu külün betonda katkı maddesi olarak kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. % 25-30 oranında uçucu kül katılmasıyla elde edilen beton, Gökçekaya ve Porsuk barajı inşaatında kullanılmıştır. Aynı yıllarda Karayolları laboratuvarlarında uçucu küllü betonlar üzerinde yapılan araştırmalardan elde edilen olumlu sonuçlar ışığında IV. Bölge Pazar köprüsü inşaatında uçucu küllü beton 1966 yılında kullanılmıştır. Yol stabilizasyon çalışmalarında da düşük kaliteli agreganın ıslahı için uygun uçucu kül-çimento karışımı tesbit edilmiş ve bu karışım Kütahya-Tavşanlı yolunun 700 m. lik kesiminde başarıyla denenmiştir. Bazı çimento fabrikalarında zaman zaman çok az miktarda deneme amacıyla uçucu kül kullanılmıştır.

Şimdiye kadar TEK tarafından satılmış olan uçucu kül miktarları ve bunların kullanıldığı yerler Çizelge 8 'de verilmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi TEK tarafından satılmış olan uçucu kül miktarı toplam 100 000 ton civarındadır. En büyük kullanım 50 500 ton ile Gökçekaya ve 6 150 ton ile Porsuk barajı yapımındadır (Erdoğan v.d., 1982).

1.9. Afşin-Elbistan Termik Santrali ve Kül Atma Sistemleri

1.9.1. Termik Santral Hakkında Genel Bilgiler

Afşin-Elbistan (A) projesi $4 \times 344 \text{ MW} = 1376 \text{ MW}$ gücünde ve yılda 8.1 milyar kilowattsaat (kws) enerji üretebilecek bir termik santral ile yıllık üretimi 18.6 milyon ton olan bir açık maden işletmesinden oluşmaktadır. Linyit rezervi günümüzde mevcut üretim teknolojisine göre 1.7 milyar tonu ekonomik olarak işletilebilir kalitede olmak üzere toplam 3.4 milyar ton olup halen Türkiye'nin en büyük linyit rezervini oluşturmaktadır. Kömürün kül ve rutubet oranının yüksek ve ısıl değerinin düşük olmasına karşın rezervin topluca bulunması ve yüksek üretimli bir işletmeye elverişli olması büyük termik santrallerin kurulmasını mümkün kılmaktadır. Afşin-Elbistan (A) Santrali bu santrallardan ilkidir (Şekil 12).

Çizelge 7. Termik santraller tarafından 1987 yılına kadar üretilen toplam uçucu kül miktarları.

Santral adı Yıl	Tunçbilek	Çatalağzı	Yatağan	Yeniköy	Kangal	Soma A Soma B	Çayırhan	Seyitomer	AEL	TOPLAM
1981	700 000	200 000	-	-	-	60 000	-	1 000 000	-	1 960 000
1982	700 000	200 000	-	-	-	60 000 360 000	-	1 000 000	-	2 320 000
1983	700 000	200 000	800 000	-	-	60 000 720 000	-	1 000 000	875 000	4 355 000
1984	700 000	200 000	1 160 000	-	-	60 000 720 000	252 000	1 000 000	1 750 000	5 842 000
1985	700 000	200 000	1 160 000	-	306 000	360 000 720 000	504 000	1 000 000	3 500 000	8 450 000
1986	700 000	432 000	1 160 000	1 224 000	612 000	720 000 720 000	504 000	1 330 000	3 500 000	10 902 000
1987	700 000	432 000	1 160 000	1 224 000	612 000	720 000 720 000	504 000	1 330 000	3 500 000	10 902 000

Çizelge 8. TEK tarafından satılan uçucu kül miktarları ve kullandıkları yerler (Erdogan v.d., 1982).

Santral Adı Yıllar	Tunçbilek Termik Santrali			Soma Termik Santrali			Çatalağzı Termik Santrali			TOPLAM (Ton)
	Miktar (ton)	Satıldığı Yer	Kullandığı Yer	Miktar (ton)	Satıldığı Yer	Kullandığı Yer	Miktar (ton)	Satıldığı Yer	Kullandığı Yer	
1966	-	-	-	-	-	-	100	Özel Piyasa	-	100
1967	-	-	-	-	-	-	120	Özel Piyasa	Tuğla Kiremit	220
	-	-	-	100	-	-	100	Sumerbank	Ateş Tuğlası	
1968	900	DSI	Porsuk Barajı	11600	Batık Çim.	Çimento İmali	23	Özel Piyasa	Tuğla ve Kiremit	12 523
1969	850	DSI	Porsuk Barajı	11500	Batık Çim.	Çimento İmali	3	E.K.I.	Kuyu İnşaatı	16 253
	3900	DSI	Gökçekaya Barajı	-	-	-	-	-	-	-
1970	2500	DSI	Porsuk Barajı	1200	Batık Çim.	-	-	-	-	7 090
	3390	DSI	Gökçekaya Barajı	-	-	-	-	-	-	-
1971	1900	DSI	Porsuk Barajı	350	DSI	Baraj Enjeksiy.	-	-	-	31 410
	29160	-	Gökçekaya Barajı	-	-	-	-	-	-	-
1972	13800	DSI	Gökçekaya Barajı	200	Batık Çim.	Çimento İmali	-	-	-	20 160
	6000	Bursa Çim.	Çimento imali	160	DSI	Kanalet İnş.	-	-	-	-
1973	256	DSI	Gökçekaya Barajı	-	-	-	590	Mineral Fir.	Ateş Tuğlası	590
	49	Enka İnş. ve	-	-	-	-	-	-	-	-
	3147	San. A.Ş.	Çimento imali	-	-	-	-	-	-	-
	455	Bursa Çim.	Çimento imali	-	-	-	-	-	-	-
1974	21	Fabrikası	-	-	-	-	-	-	-	3 452
	-	Bursa Çim.	Çimento imali	-	-	-	-	-	-	-
	-	Fabrikası	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	İskenderun	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	Dem. Çelik	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	Fab.	-	-	-	-	-	-	-	-
1977	-	-	-	100	Özel Piyas.	-	-	-	-	100
1979	-	-	-	-	-	-	100	Mineral Fir.	Ateş tuğlası	-
1980	-	-	-	5666	Alıyon Çim. Fab.	Çimento İmali	-	-	-	5 666

Çizelge 9. Afşin-Elbistan Termik Santralına Ait Karakteristikler (TEK, 1982).

Güç	: 4 x 344 MW = 1376 Megawatt		
Üretim	: 8 100 000 000 Kilowattsaat / yıl		
Kömürün Özellikleri			
	<u>Dağılım</u>	<u>Ortalama</u>	
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	950-1600	1050	
Rutubet (%)	50-64	57.7	
Kül (%)	8.23	15.3	
Kömür Alma Kül Atma Sistemi			
	<u>En/uzunluk (m)</u>	<u>Hız (m/sn)</u>	<u>Kapasite (ton/saat)</u>
Ana Kömür Bantları			
* stok sahası-kırıcı	2.2/214	3	2 x 4900
* kırıcı-kazan	2/424	3.3	2 x 4000
Ana Kül ve Cüruf Bantları	1.4/845	2.1	2 x 1400
Kömür Tane İriliği	: Kırıcı girişinde 0-500 mm Kırıcı çıkışında 0-60 mm		
Kırıcı Bunker	: 2 x 1900 m ³		
Buhar Kazanları			
Tip	: Cebri sirkülasyonlu-Benson		
Taze Buhar	: 1020 ton/saat		
Kömür Değirmenleri			
Tip	: DGS/180 S, çekiçli-fanlı		
Sayı	: 6 adet/ünite		
Kapasite/Değirmen	: 175 ton/saat		
Kömür Bunkeri			
Sayı/Kapasite	: 6 adet x 500 m ³		
Toz Kömür Tutucuları			
Sayısı	: 6 adet/ünite		
Tutma Verimi	: % 99.8		
Kül Tutucuları			
Sayısı	: 2 adet/ünite		
Tutma Verimi	: % 99		
Baca			
Tip	: Betonarme, ateş tuğlası kaplı		
Yükseklik	: 145 m		
Türbo-Generator			
Türbin	: Kondenserli, tek ara kızdırmalı yüksek, orta ve alçak		

Çizelge 9 (devam)

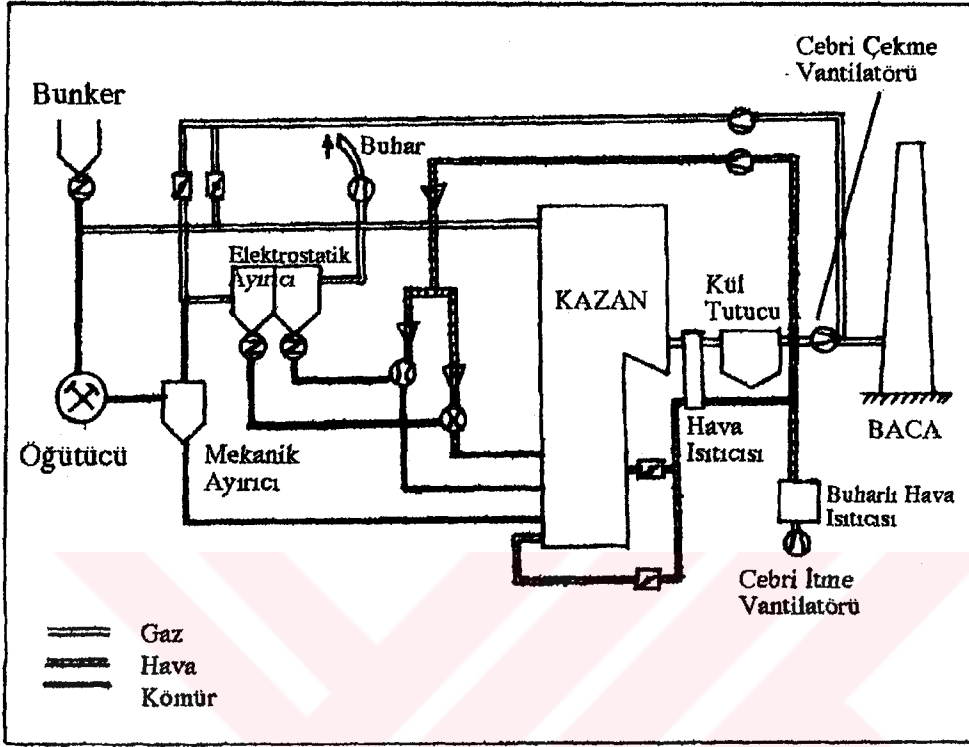
	basınç kademeli, 7 ara buhar çıkışlı 4 alçak basınç, 3 yüksek basınç ısıtıcı
Devir Sayısı	: 3000 devir/dakika
Generatör	
Güç	: 382 MVA
* Aktif güç	: 344 MW
* Güç faktörü	: 0.9
Sogutma Sistemi	: Hidrojen
Unite Yükseltici Trafo	
Nominal güç	: 345 MVA
Nominal voltaj	: 21/400 kV
Sogutma Kulesi	
Tip/Yükseklik	: Tabii çekişli/106 in
Taban dış çapı	: 79 m
Sirkülasyon suyu	: 29 600 ton/saat

Santralin en büyük özelliği, düşük kaliteli ve yüksek rutubete sahip linyiti akaryakıt kullanmaya gerek olmadan kolaylıkla yakabilmek için projelendirilmiş olmasıdır. Bu tür linyitler için geliştirilmiş sistem, linyitin bir bölümünün rutubetinin alınarak ısıl değerinin yükseltilmesine dayanır.

Bunkerin değirmene alınan kömür, öğütülürken kazan çıkışından alınan sıcak gazla ısıtılarak bünyesindeki rutubet buharlaştırılır. Bu gaz, buhar ve toz kömür karışımı mekanik ayırıcıdan geçirilerek bir bölümü kazana, diğer bölümü elektrostatik ayırıcıya gönderilir (Şekil 13). Elektrostatik ayırıcı kuru kömür tozunu tutar buhar dışarı atılır. Ayırıcıdan çıkan kuru kömür tozu ısıl değeri yüksek yakıt olarak kazana verilir. Bu yakıt toplam yakıtın 1/3'ü kadar olup yanmayı devam ettirmek için yeterli olmaktadır.

1.9.2. Kül Atma Sistemlerinin Temel Özellikleri

Herbiri 300 MW 'lık 4 üniteden oluşan santral en düşük ısıl değeri 950 kcal/kg 'lık kömürden 4×800 ton/saat = 3 200 t/saat ve ortalama ısıl değeri 1 050 kcal/kg 'lık kömürden de 4×724 t/saat = 2 896 t/saat ' e kadar bir tüketim sözkonusudur. Saatte bu kadar kömür yakılmasına rağmen ortaya çıkan kül, yakılan kömürün ısıl değeri ve kül içeriğine bağlı olarak 232 t/saat ile 736 t/saat arasında değişen miktarlardadır (Çizelge 10). Külün yaklaşık % 25' i kazanların altından curuf olarak, % 75 ' i ise temizleme boruları, baca gazı elektrofiltrelerinden alınmaktadır.



Şekil 13 : Afşin-Elbistan termik santralindeki kömür yakma sisteminin şematik gösterimi (TEK, 1982).

Çizelge 10 . Afşin-Elbistan termik santralında üretilen kül miktarları (Fischer, 1979).

Isı Değeri	Kömür İhtiyacı	Üretilen Kül Miktarı			
		Min. % 8	Mak. % 23	Ortalama % 15.3	
Kcal/kg	ton/saat	ton/saat	ton/saat	ton/saat	
toplam ünite	950	3200	256	736	490
	1050	2896	232	666	443
birim ünite	950	800	64	184	122
	1050	724	58	167	111

İşletmede kullanılan kül, curuf ve uçucu toz gibi tanımlamalar şu şekilde açıklanmaktadır.

Kül : Yanma sonucu arta kalan malzeme. İçerisinde nemlendirilmiş uçucu tozlar ve yanma sonunda oluşan curuf konglomeraları.

Curuf : Kazanların altından toplanan yanmamış katı kısımlar.

Uçucu Toz : Kazan temizleme borularında, baca gazında elektrofiltrelerde toplanan katı maddeler.

Uçucu kül yanan kısımlar için, Uçucu kek yanmamış küçük boyutlu maddeler için kullanılmaktadır.

Külün taşınması yukarıda da bahsedilen ısı değerlerine bağlı olarak tasarlanmıştır. % 100' lük bir rezerv kapasitesi kullanıldığında 2 konveyörden birisi daima hazır olarak bekleyecektir.

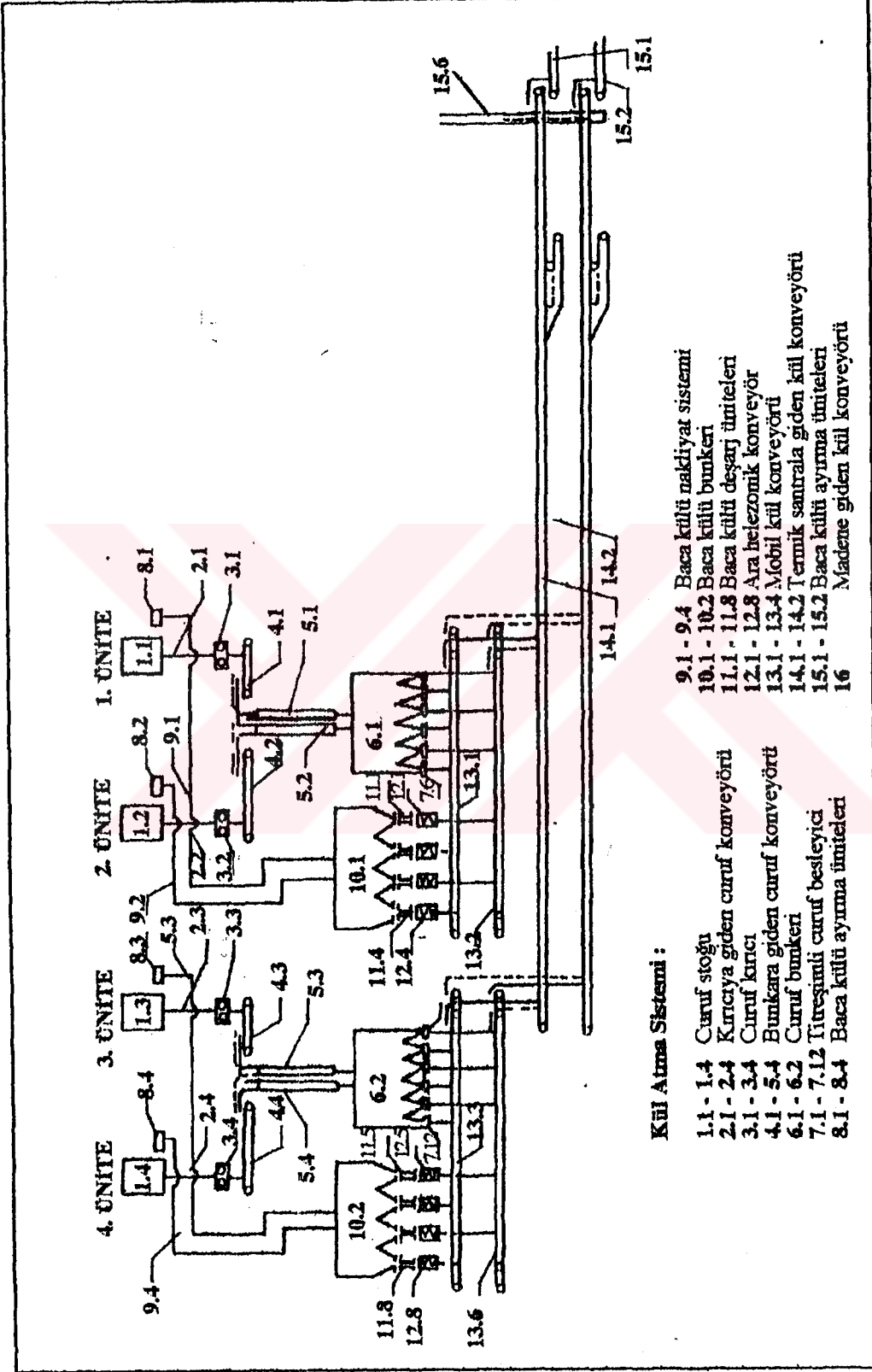
Şekil 14 de kül atma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Burada yalnızca 1 uçucu toz bunker ve 1 curuf bunker her durumda 2 ünite için uçucu toz ve curuflar için tasarlanmıştır.

1.9.2.1. Cüruf Atma Sistemi

Kazan cürufu, kazan altından alındıktan sonra 0-100 mm boyutunda kırılmakta ve sonra lastik bantlı konveyör sistemi ile ortamdaki uzaklaştırılmaktadır. Her bir kazana ayrı bir konveyör öngörülmüş olup, herhangi bir arıza durumunda cüruf ya kamyonlar ya da konteyörlerle uzaklaştırılmakta ve böylece sistemde süreklilik sağlanmaktadır. Konveyörlerden her biri 140 ton/saat 'lik bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bant hızı 1.3 m/sn olup, kumaşla güçlendirilmiş özel bir naylondan imal edilen taşıma bantları vasıtasıyla cüruf bunkerlere ulaştırılmaktadır.

Cüruf bunkerleri 700 m³ kapasiteli olarak dizayn edilmişlerdir. Bunkerlerin duvar kısımları aşınmaya ve yapışmaya karşı yüksek poliamid ile kaplanmıştır. Kazan altından alınan cüruf ısı kaybı için ve özellikle kış aylarında don olaylarına karşı ısıtılmaktadır.

Bunkerler aynı zamanda seviye kontrol teçhizatlarıyla donatılmışlardır. Her bunkerde 10 ton/saat kapasiteli titreşimli besleyici bulunduran 6 çıkış yönü vardır. Besleyiciler hem bunkerleri kapatmak ve hem de taşınacak malzemenin yüklenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Bunların her biri 60 ton/saat kapasitededir.



Şekil 14 : Afşın-Elbistan termik santral kül atma sisteminin genel görünüşü.

1.9.2.2. Uçucu Toz Atma Sistemi

Kül atma sisteminin değişik yerlerinde oluşan uçucu küller bunkerlere taşınırlar. Cüruf bunkerlerinde olduğu gibi 4 ünite için 2 uçucu toz bunkerleri dizayn edilmiştir. Bir cüruf ve bir toz bunkerleri bir bütün oluşturulması amacıyla birleştirilmiştir. Her uçucu toz bunkerleri özel boşaltma sistemleriyle donatılmış 4 çıkışa sahiptir. Bu çıkışlarda özel bir sistem uygulanmaktadır. Basınçlı hava püskürtülerek tozun bunker içinde askıya alınması sağlanır. Askıdaki bu tozlar boşaltma kutularına akar ve buradan da regülatörler yardımıyla nemlendirici konveyörlere yerleştirilir.

1.9.2.3. Kül Atma Sistemi

Nemlendirilmiş uçucu kül ve cüruf her grup bunker için bir adet dizayn edilmiş olan toplama konveyörlerine titreşimli besleyiciler yardımıyla alınır. Her bir toplama konveyörünün nominal kapasitesi 900 ton/saat'tir. Taşıma hızı ise 1.4 m/sn olup, 15 KW'lik üç fazlı rötarlı motor ile tahrik edilmektedir.

1.9.3. Kül Atma Sisteminin Kontrolü ve İzlenmesi

Kül atma sistemi, kömür nakliyat sistemiyle birlikte kırıcı binasında bulunan monitörler yardımıyla kontrol edilmek suretiyle organizasyon aksamadan gerçekleştirilir. Son derece otomatik bir sistem olduğu için bakım ve işletmesi kolaydır. Sisteme yalnızca nemlendirme fıskiye konveyörleri elle işletmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu sistemde 3 bağımsız elektrik sistemiyle gruplandırılmıştır.

1. *Cüruf sistemi* : Kazanların altından başlar ve cüruf bunkerlerinde son bulur.
2. *Uçucu toz sistemi* : Uçucu tozun üretildiği yerden başlar ve uçucu toz bunkerlerinde sona erer.
3. *Kül sistemi* : Cüruf, uçucu toz bunkerlerinin altından başlar ve depolama sistemine veya madende veya havuzlarda sona erer.

Bu sistemlerin hangisinin devreye konulacağı, çalıştırılacağı yada hızlarının ayarlanmasına kontrol kumanda masasından verilecek komutlarla karar verilir. Ancak yine de sistem birbiriyle zincirleme olarak bağlantılı olduğundan söz konusu konveyöre taşıma yapan bir önceki konveyör çalışmaya başlayarak nominal hıza ulaşmadıkça ve boşaltma noktası hazır olmadıkça sistem çalıştırılmaz (Fischer, 1979).

1.10. Uçucu Külden Metal Kazanma Yöntemleri

Uçucu külden minerallerin kazanımı yüksek demirli uçucu küllerden manyetik ayırmayla demirce zengin bir ürün elde etmek dışında kül partiküllerinin refrakter cam yapısına etki edecek bir yöntem gerektirmektedir. Kömür külleri Ge, Ga, Ti, Mo, Mn, Mg, Ba, Co, U ve Th gibi minerallerin yanısıra büyük miktarlarda Al ve Fe gibi birincil bileşenler içerirler. İkincil bileşenler genellikle uçucu kül partikül yüzeyindedir ve Al ve Fe ' i kazanmada işlem süresince uzaklaştırılırlar.

Uçucu külden minerallerin kazanılması için yapılan işlemler şu işlemlerin tek başına veya beraber uygulanması şeklindedir (Burnet, 1986):

- * Liç Yöntemi
- * Sinter Yöntemi
- * Gaz-Katı Reaksiyonu

1.10.1. Liç Yöntemi

1.10.1.1. Genel Bilgiler

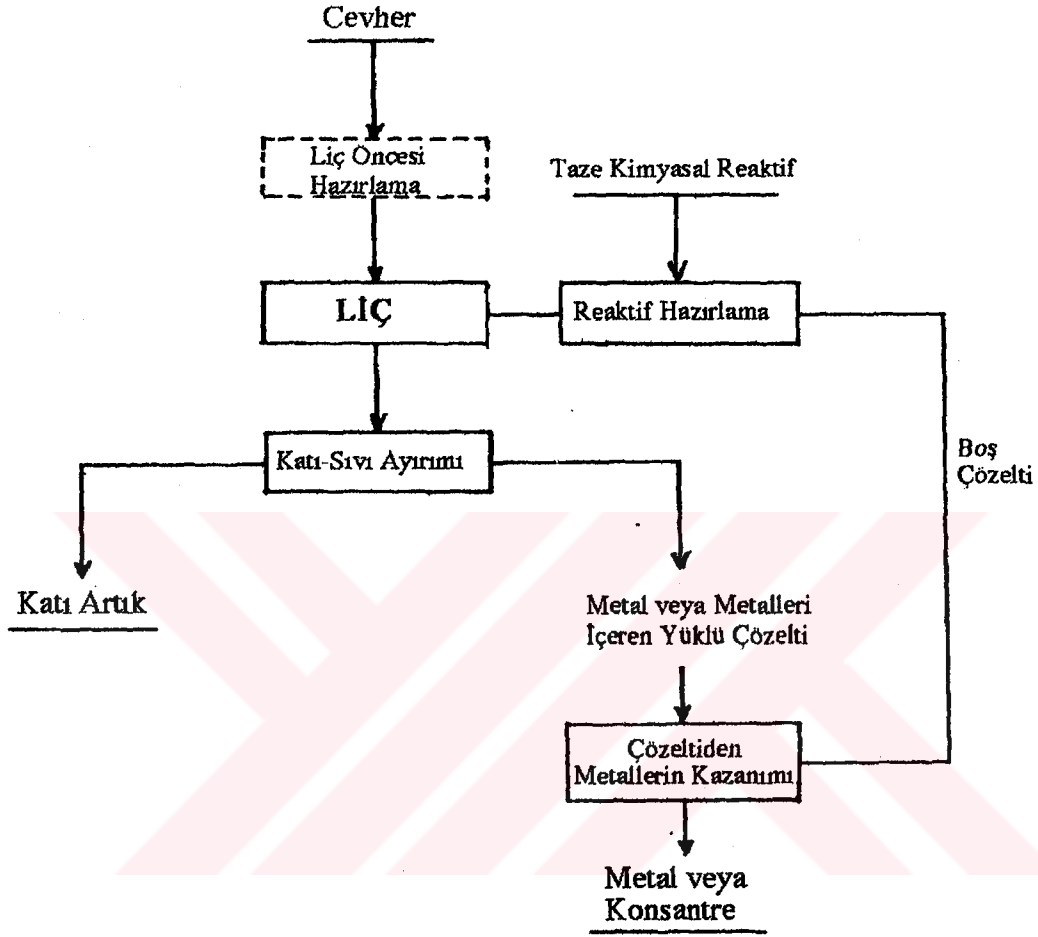
Bir cevheri uygun kimyasal reaktiflerle muamele ederek içerdiği kıymetli metal ya da minerallerin kimyasal yapılarını değiştirerek yapılan zenginleştirme işlemleri kimyasal zenginleştirme olarak ifade edilmekte ve bu işlemlerin büyük bir kısmında *Kimyasal Çözünürlük Farkı ile Zenginleştirme (Liç)* oluşturmaktadır.

Liç yönteminde, cevher uygun bir çözücü ile muamele edilerek, kıymetli metal ya da metallerin seçimli olarak çözeltiye alınması sağlanmakta; daha sonrada bu kıymetli elementler yüklü çözeltiden (kıymetli metal ya da elementleri içeren çözelti) seçimli olarak kazanılmaktadır (Şekil 15). Şekilden de görüleceği gibi liç işlemleri 3 ana gruba ayrılmaktadır :

1. Liç öncesi hazırlama işlemleri
2. Cevherdeki değerlerin çözeltiye alınması
3. Değerlerin yüklü çözeltiden kazanılması.

1.10.1.1.1. Liç Öncesi Hazırlama İşlemleri

Liç yönteminde kıymetli metallerin yüksek bir verimle çözeltiye alınabilmesi için mineral yüzeyinin çözücüyle temas ettirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, cevhere boyut küçültme (kırma, öğütme), boyuta göre sınıflandırma (eleme, klasifikasyon), fiziksel yada fizikokimyasal zenginleştirme ve ısı işlemler uygulanmaktadır.



Şekil 15 : Liç işleminin genel akım şeması (Önal, 1980).

Yapılacak bu işlemler değerlerin çözünmesini kolaylaştıracağı gibi işlemin daha az miktarda malzeme ile yapılmasını sağlamakta ve değerlerin kazanılmasını zorlaştıran zararlı maddelerin ortadan kaldırılmasına da yardımcı olmaktadır.

1.10.1.1.2. Cevherdeki Değerlerin Çözeltiye Alınması

Liç işleminde istenen kıymetli metal ya da elementlerin mümkün olduğu kadar çözeltiye geçmesi, diğer elementlerin ise çözeltiye geçmemesini sağlamaktır. Kıymetli metallerin seçimli olarak çözeltiye geçmesini sağlamak için uygun çözücü reaktifler seçilir.

Kıymetli metal ya da elementlerin çözeltiliye alınmasında çeşitli etkenler rol oynamaktadır. Bunlar:

- * Çözelti içindeki basınç
- * Pülp sıcaklığı
- * Çözücü konsantrasyonu
- * Çözündürme süresi
- * Pülpte katı oranı

Çözelti üzerindeki basınç ve pülp sıcaklığı :

Liç işleminin genellikle açık hava basıncında (760 mm Hg basıncı) ve oda sıcaklığında (20 ± 5 °C) yapılması tercih edilmektedir. Basınç altında liç yapılması ve pülp sıcaklığının artırılması teknolojik zorluklar ortaya çıkarmakta ve maliyetleri arttırmaktadır. Fakat normal şartlarda liç edilmesi zor olan kıymetli metallerin liçi basınç ve sıcaklığı arttırmak yoluyla mümkün olabilmektedir. Basınç ve pülp sıcaklığının artırılması çözünmeyi hızlandırmakla beraber reaktif sarfiyatını fazlaştırmakta ve istenmeyen bileşiklerin de çözürmesine neden olabilmektedir. Bu yüzden liç süresince basınç yada sıcaklığın optimum bir seviyede tutulması gerekmektedir.

Çözücünün konsantrasyonu :

Liç işleminde kullanılacak olan kimyasal çözücü reaktifin konsantrasyonu liç verimine etki eden en önemli etkenlerden birisidir. Kıymetli bir metalin liçi sırasında çözücü reaktif konsantrasyonunun mümkün olduğu kadar düşük tutulmasına çalışılır. Çözücünün konsantrasyonu gereksiz bir şekilde artırıldığında, reaktif tüketimi artmakta ve istenmeyen bileşiklerin de çözünmesi söz konusu olmakta ve ayrıca, liç veriminin az da olsa düşmesine neden olabilmektedir.

Liç süresi :

Liç süresi, çözücü reaktif ile kıymetli metal ya da element arasında oluşan kimyasal reaksiyonun hızına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca liçin uygulanış şekli ve malzemenin boyut dağılımı da bu süreyi etkilemektedir.

Pülpde katı oranı :

Bu etken özellikle karıştırma liçinde geçerli olmakta ve endüstride genellikle % 25-40 arasında tutulmaktadır. Pülpde katı oranının düşmesi liç veriminin artmasına neden olacağı gibi tank hacimlerinin büyümesi ve yatırım maliyetlerinin artmasına yol açacaktır.

1.10.1.1.3. Değerlerin Yüklü Çözeltiden Kazanılması

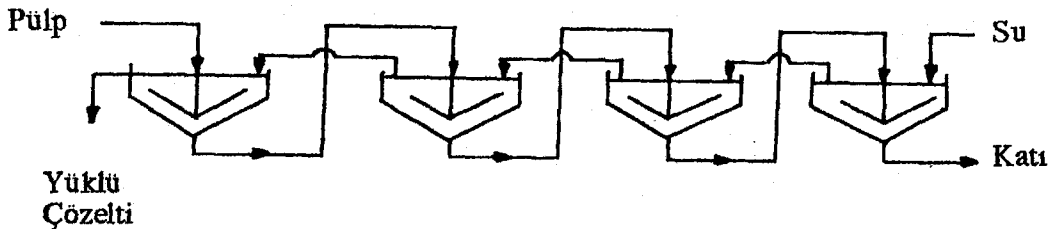
Cevherin liç çözeltisi ile muamelesi sonucu çözeltiliye geçen değerlerin kazanılmasında iki aşamalı işlem uygulanır.

- (i) Katı-sıvı ayırımı
- (ii) Berraklaştırılmış çözeltiliden değerlerin kazanılması.

(i) Katı-Sıvı Ayırımı :

Yüklü liç çözeltisini çözünmeyen katı kısımlardan ayırmak için koyulaştırma, yıkama, filtreleme ve berraklaştırma işlemleri yapılmaktadır.

Yapılan liç işlemi gereği, yığın liçi ile süzülme liçinde katı-sıvı ayırımına gerek yoktur, sadece berraklaştırma yeterli olabilmektedir. Karıştırma liçinde ise ince boyuttaki cevher ile çalışıldığından katı-sıvı ayırımı gerekli olmaktadır. Bu ayırmada temel prensip, atılacak katı cevher yüzeyinin yüklü çözeltiliden arındırılacak şekilde katı-sıvı ayırımı ve yıkamanın yapılmasını sağlamaktır. Endüstride katı-sıvı ayırımı koyulaştırıcılarda ya da çeşitli tip filtrelerde yapılmaktadır. Katı-sıvı ayırımında değişik düzenlemeler yapılabileceği gibi, endüstride en çok ters akımlı yıkama yöntemi kullanılmaktadır. Daha çok koyulaştırıcılar ile uygulanan bu yöntemde katılar bir tarafa giderken, sıvılar ters yönde hareket eder ve yüklü çözelti, pülpün beslendiği 1. tanktan taşar ; katılar ise en son tankın altından alınır. Ters akımlı yıkama yönteminin şematik görünümü Şekil 16 'da verilmiştir.



Şekil 16 : Ters akımlı yıkama yöntemi (Önal ve Ateşok, 1992).

Koyulaştırıcılarda yapılan katı-sıvı ayırımında elde edilen katı %40-50 arasında sıvı içerir ve genellikle bu katı malzeme filtre edilerek daha da susuzlaştırılır.

(ii) Berraklaştırılmış Çözeltiden Değerlerin Kazanılması :

Katı-sıvı ayırımından elde edilen yüklü çözelti berraklaştırıldıktan sonra, çözeltideki metallerin kazanılması, değerlerin metal ya da oksitleri halinde çöktürülmesi ile gerçekleştirilir. Eğer yüklü çözeltideki kıymetli metal veya elemenin konsantrasyonu düşük ise, çöktürme işleminden önce yüklü çözeltiye iyon değiştirme ve organik çözüdüürme yöntemleri uygulanarak, yüklü çözeltideki kıymetli metal veya elementlerin konsantrasyonu artırılır. İyon değiştirme ve organik çözüdüürmede geçerli prensip tamamen aynıdır. Bu iki yöntem, yüklü çözeltideki kıymetli iyonların organik bir fazdaki iyonlarla yer değiştirmesi esasına dayanır. Bu yöntemlerin 1. aşamasında organik iyon değiştirici ile yüklü çözelti temas ettirilir ve kıymetli iyonların organik faza alınması sağlanır. Bu işleme, yükleme adı verilmektedir. 2. aşamada, kıymetli iyonlar tarafından yeterli düzeyde yüklenen organik madde ile kuvvetli bir asit veya bazın çözeltisi temas ettirilerek, organik fazdaki kıymetli iyonlar tekrar sulu çözeltiye alınır. Bu işleme iyon değiştirmede boşaltma, organik çözüdüürmede ise sıyırma denilmektedir. İki aşamada yapılan yükleme ve sıyırma işlemlerinden sonra sulu çözeltideki kıymetli iyonların konsantrasyonları artırılmış olur.

İyon değiştirme yönteminde katı halde, organik reçineler kullanılmaktadır. İyon değiştirme yöntemin endüstriyel uygulamasında, yüklü çözelti içinde reçine bulunan sabit bir kolondan geçirildiği gibi, içine reçine doldurulmuş dibi elekli bir kutunun pülp içinde hareket ettirilmesi ile yüklenme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Organik çözüdüürme yönteminde, organik kökenli sıvılar kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasında karıştırıcı-çöktürücü tanklardan faydalanılmaktadır.

Çöktürme işlemi ya kimyasal ya da elektrokimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Kimyasal çöktürme, çözeltinin pH'sını ayarlamak suretiyle ya da bazı kimyasal reaktifler ilavesiyle yapılır ve değerli metallere oksit, hidroksit ve tuzlar halinde çöktürülür. Elektro kimyasal çöktürmede ise metal iyonlarının elektron alarak metale dönüştürülmesi ile sağlanır. Bu çöktürme sementasyon ve elektroliz yoluyla sağlanır.

1.10.1.2. Liç Türleri

Liç çözültisi ile cevherin temas ettirilme şekline göre yapılan liç türleri şu şekildedir:

- * Yerinde liç
- * Yığın liçi
- * Süzülme liçi
- * Karıştırma liçi

1.10.1.2.1. Yerinde Liç

Liç çözültisinin kolayca dolaşabileceği maden yataklarına veya eski maden ocaklarına uygulanmış bir liç yöntemidir. Asidik yada bazik çözülti cevher yatağına üst taraftan çeşitli şekillerde verilir. Çözülti çatlak ya da gözenek sistemlerinde dolaşarak aşağı katlara inerken temas ettiği cevherlerdeki kıymetli metalleri de çözer. Alt katlarda toplanan yüklü çözültüler yeryüzüne basılarak değerlendirilmeye tabi tutulur.

1.10.1.2.2. Yığın Liçi

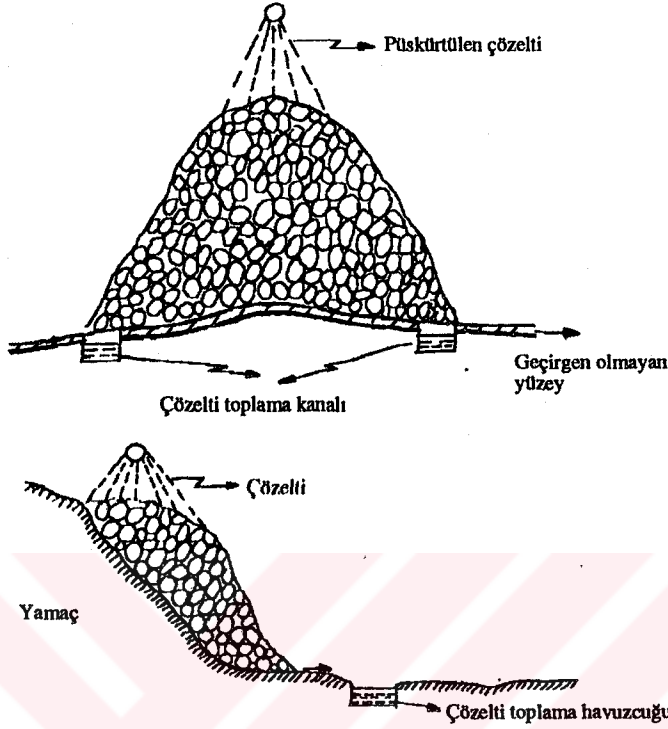
Tane iriliği 150 mm altında olan cevher, geçirgen olmayan ve özel çözülti toplama kanalları ile donatılmış zemin üzerine yeterli yükseklikte yığılır ve çözülti cevherin üzerinden yağmur biçiminde püskürtülür. Çözülti taneler arasından ve gözeneklerden süzülerek kanallarda toplanır. Yüklü çözülti kanallar yardımıyla dışarı aktarılır. Bu çözülti ya devrettirilir ya da yeterli düzeyde yüklenmiş ise bir sonraki işlem kademesine gönderilir.

Yığın liçi düz bir zeminde yapıldığı gibi geçirgen olmayan eğimli bir yamaç üzerinde yapılan yığın üzerinde de yapılabilir. Her iki tür yığın liçinin şematik gösterimi Şekil 17 'de verilmektedir.

Yığın liçi daha çok düşük tenörlü ve diğer yöntemlerle ekonomik olarak değerlendirilme imkanı olmayan, aynı zamanda çözültinin kolayca süzülmebileceği cevherlere uygulanır.

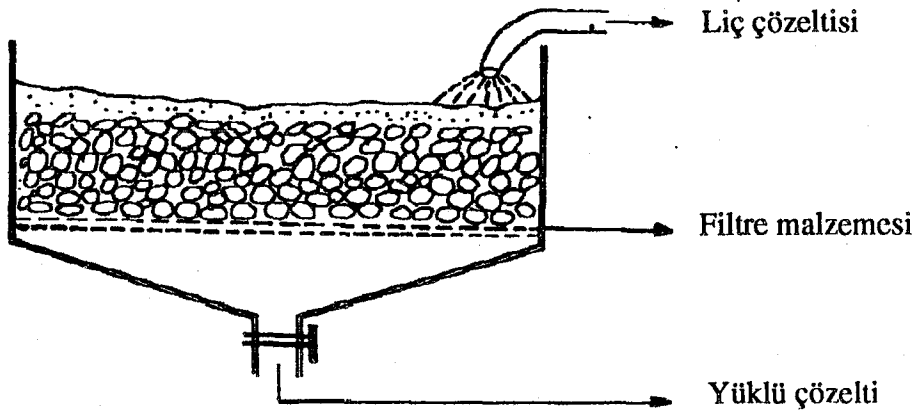
1.10.1.2.3. Süzülme Liçi

Bu yöntem yığın liçine benzer ancak ön hazırlıklardan geçmiş, tane iriliği 5-0.1 mm arasındaki ve nisbeten zengin tenörlü cevherlere uygulanmaktadır. Bu yöntemde kum boyutundaki cevher, dibi tanelerin geçemeyeceği gözeneklere sahip bir filtre



Şekil 17 : Yığın liçinin şematik gösterimi (Önal ve Ateşok, 1992).

malzemesiyle kaplı tekne yada tankın içine doldurulur. Liç çözültisi tankın alanı boyunca cevher üzerine dağılır, belirli bir hız ile aşağı doğru süzülen çözelti tankın dibinde birikir. Bu çözelti ya tekrar aynı tankta ya da paralel bir tanka gönderilerek kıymetli metal yönünden yeterli konsantrasyona gelinceye kadar devrettirilir. Sistemin basit görünümü Şekil 18 'de verilmektedir.



Şekil 18 : Süzülme liçinin şematik gösterimi (Önal ve Ateşok, 1992).

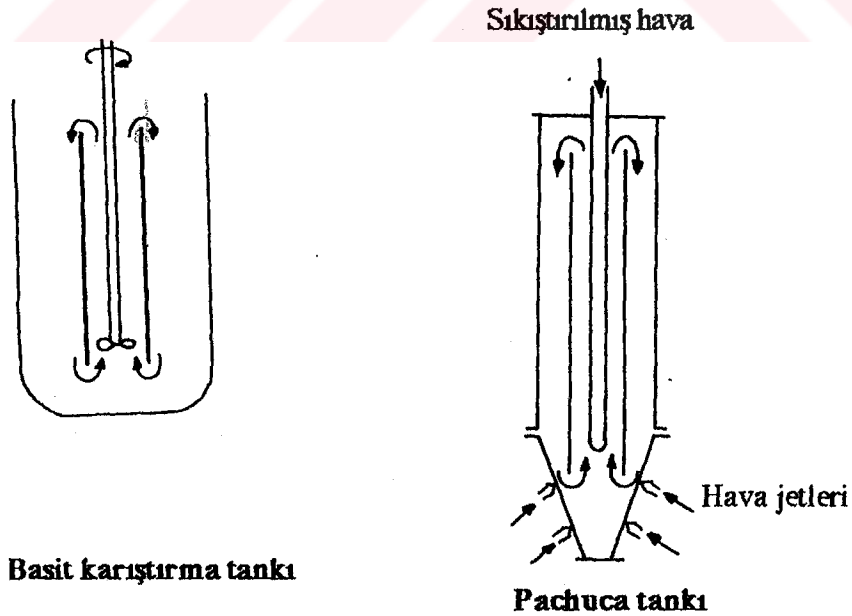
Günümüzde süzülme liçi yerini giderek karıştırma liçine bırakmaktadır.

1.10.1.2.4. Karıştırma Liçi

Tane iriliği 500 μm altında olan cevherlerin liç çözeltisiyle karıştırılması esasına dayanır. Bir tankın içindeki pülp, yüksek hızlı bir pervane veya hava ile karıştırılır. Yöntemin avantajı, çok ince boyutlarda serbest kalan kıymetli metallerin liç edilmesini ve karıştırma nedeniyle liç çözeltisinin kolayca kıymetli metal yüzeyine difüze olmasını dolayısıyla liç süresinin kısalmasını (max. 10 saat) sağlamasıdır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak yüksek liç verimi sağlaması endüstride gittikçe daha çok tercih edilen bir liç yöntemi olmasını sağlamaktadır.

Günümüzde hem hava hemde pervane ile (mekanik) karıştırma yapan tanklar da geliştirilmiştir. Havalı karıştırma yapan tanklara pachuca (paçuka) tankı denilmektedir (Şekil 19). Her ikisinde korozyon ve ısıya dayanıklıdır.

Atmosfer basıncından daha yüksek basınçlarda yapılan liç işlemlerinde kullanılan tanklara otoklav denilmektedir. Bu tanklar çoğunukla silindirik bir şekilde yapılmakta ve pülpün karıştırılması birden fazla bölmede yapılabilmektedir. Otoklavlarda uygulanan basınç 600 psi ye, sıcaklık ise 200°C ye kadar yükseltilebilmektedir. Bunlar korozyon, ısı ve basınca dayanıklıdır.



Şekil 19 : Karıştırma liçinin şematik gösterimi.

1.10.1.3. Liç Yöntemiyle Uçucu Külden Metal Kazanımı

Liç işlemlerinde ya asidik yada bazik bir çözücü kullanılır. Asit liçi için HCl, H₂SO₄ veya HNO₃ gibi inorganik asitler çok sık olarak kullanılır. Ya ham kül yada sinterlenmiş veya başka bir ön işlemde geçmiş malzeme besleme malı olarak kullanılabilir. Çözünmeden sonra metaller genellikle organik çözüldürme ve/veya iyon değiştirme yoluyla ayrılırlar. Sonra katı ürünlerdeki metal oksitler çökeltme veya kristalizasyonla elde edilir ve genelliklede kalsinasyonla devam edilir. Al, Fe, Ba, Mg, Th, Ti ve U gibi metal değerleri bu şekilde elde edilebilir.

Temel liç işleminde Na₂CO₃ gibi alkali tuzların veya NaOH in çözeltileri, yüksek sıcaklığın kullanımına izin vermek için sıkça basınç altında kullanılır. Normalde çözelti ayrılır ve çökeltmeyle kazanılır ve sonra okside bir ürün için kalsine edilir.

Bir liç prosesiyle külün değerlendirilmesi tek başına genellikle içerdiği metal bileşimlerinin tenörünü yüksek bir düzeye çıkarmaz. Metal iyon çözünürlüğü düşük olabilir, çözünebilirlik sınırlarını etkileyen iyon etkileri yaygın olarak var olabilir veya liç eriyiği kül parçacıklarının içine güçlü bir şekilde saldırmayabilir. İçerdiği metallerin tümünü varsayılan bir yüzde den daha fazla yükseltmek için ;

- * Yüksek çözücü konsantreleri
- * Yüksek sıcaklık
- * Uzun temas süreleri ve /veya
- * Düşük katı-sıvı oranları 'nın kullanıldığı bir liç işlemine gereksinim vardır (Burnet, 1986).

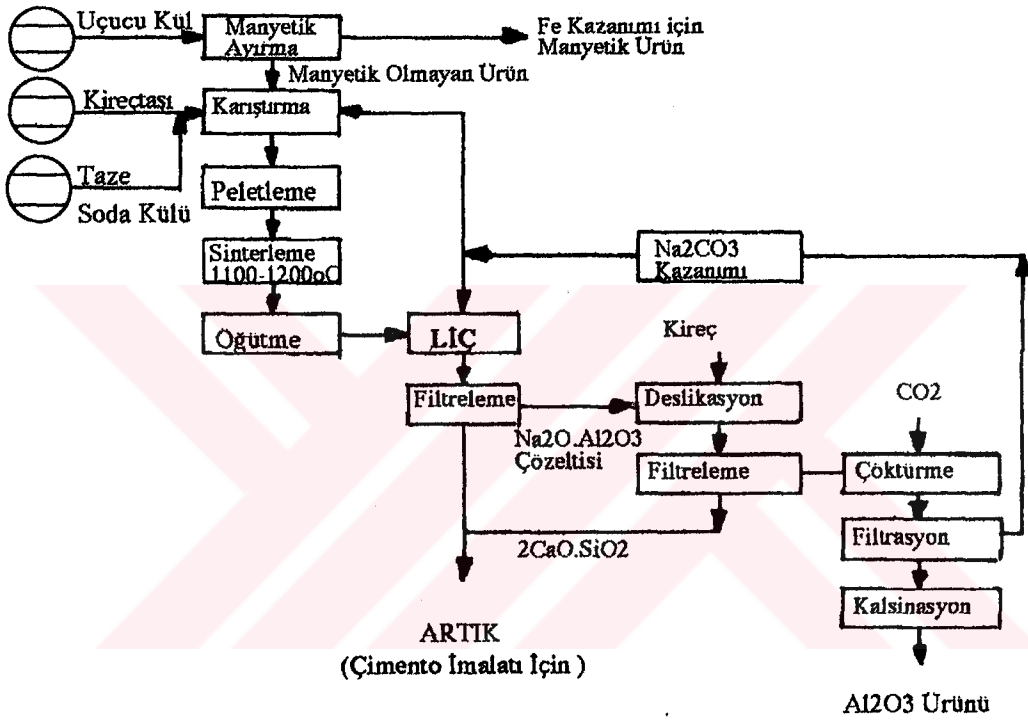
Uçucu külden Al ve Fe kazanımına ait Doğrudan Asit Liçi (DAL) proses akım şeması Şekil 20 ' de gösterilmektedir (Watson, 1985).

1.10.2. Sinter Yöntemi

Uçucu külden alüminyum kazanımı için önerilen yöntemlerden birisi de Kireç-sinter ve Kireç-soda-sinter işlemleridir.

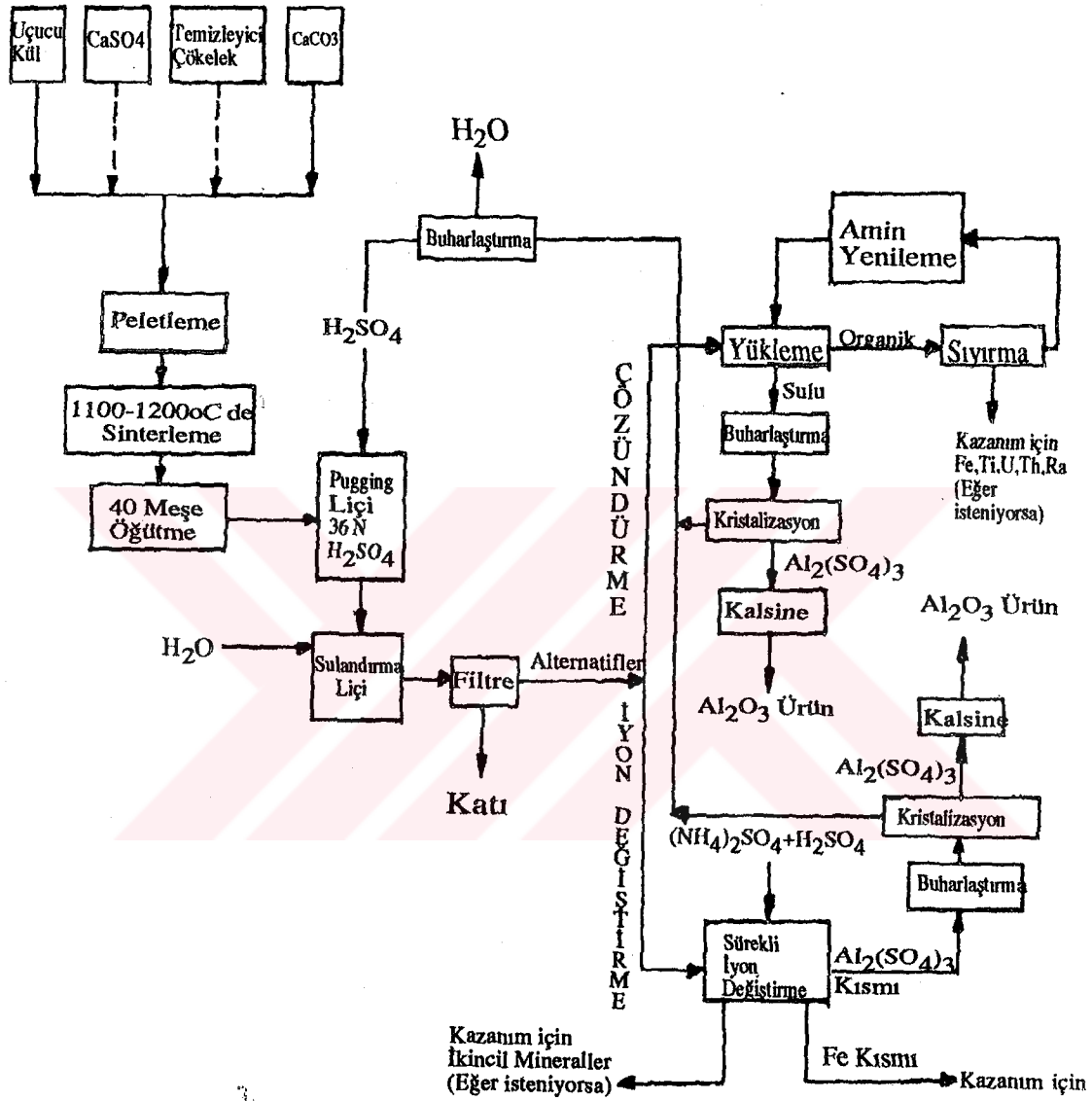
Kireç - Sinter işleminde CaCO₃ kireçtaşı olarak eklenir ve kalsiyum ortosilikat (2 CaO.SiO₂) oluşturmak için yaklaşık 1380 °C de kül içindeki silisyum ile reaksiyona girer.

Kireç-Soda-Sinter işleminde ise kireçtaşına ilaveten bir miktar Na_2CO_3 ilave edilir. Alüminyum ve çimento (kalsiyum silikat artığından) üretimi için yapılan Kireç-Soda-Sinter işlemine ait bir örnek Şekil 22' de gösterilmektedir. Çözünen metaller kristalizasyon ve ayırmayı takiben organik çözündürme ve/veya iyon değişimi ile kazanılır.



Şekil 22 : Uçucu külden alüminyum kazanımı için geliştirilen Kireç-Soda-Sinter yöntemi akım şeması (Murtha ve Burnet, 1986).

Kireç-sinter ve asit liç yönteminin bir kombinasyonu olan ORNL Calsinter prosesi akım şeması Şekil 23' de verilmektedir (Kelmers v.d., 1981).



Şekil 23 : Uçucu külden metallerin kazanımı için geliştirilen Calsinter yöntemi akış diyagramı (Kelmers v.d., 1981).

1.6.3. Gaz-Katı Reaksiyonu

Mineraller uçucu metal bileşikleri oluşturmak için gaseous reaktiflerinin reaksiyonu ile parçalanmış silikatlı cevherlerden kazanılabilir.

Phosgene kullanılarak uçucu külden metallerin kazanımı için geliştirilen HiChlor karboklorinasyon proses akış planı Şekil 24' de gösterilmektedir.

arasında fark olmadığı tesbit edilmiştir. Malzeme balansı ise çoğu kez % 10 olarak alınmıştır.

Bu çalışmalarda Al içeriği %8.4-14 arasında değişen küllerden % 62 ye kadar çıkan bir Al, %75 e varan bir Fe kazanma verimi elde edilmiştir. (Çizelge 11).

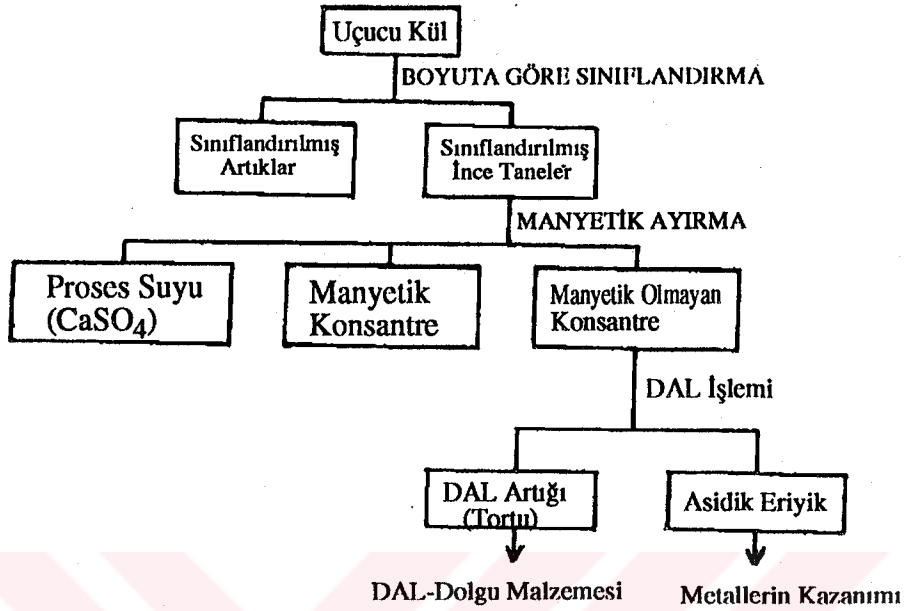
Çizelge 11. Bazı kömür küllerindeki temel bileşenlerin kompozisyonu ve çözünürlüğü (Watson, 1985).

Termik Santral	Al		Fe	
	Kül Kons. (ppm)	Metal Kazanma Verimi (%)	Kül Kons. (ppm)	Metal Kazanma Verimi (%)
Ash Management	92 700	61.8	36 000	45.3
Kansas City P and L	84 000	58.8	46 000	68.1
Penn P and L-Anthracik	110 000	50.2	47 000	56.1
South Co.	110 000	38.4	90 000	76.9
Ind Public Service	119 000	31.5	108 000	75.2
Duke Power-Belburs	140 000	23.4	43 000	60.2

HEMMINGS ve arkadaşları (1987) tarafından Georgia Bowen Santralından alınan uçucu küller üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar iki aşamada değerlendirilmiştir.

1. Ham külün boyuta göre sınıflandırılması ile kaba (artık) ve ince kısımda ürün eldesi,
2. Manyetik ve manyetik olmayan malzeme elde etmek için ince kısımda manyetik ayırmayla ürün eldesi.

Bu çalışmaların her biri 6 M HCl ve 110°C de laboratuvar ölçekli liç deneyleri ile yapılmıştır. Manyetik olmayan ince kısım bir pilot ölçekli banyoda liç işlemine tabi tutularak çözeltilen metalleri kazanmak amacıyla analiz edilmiş ve kütle balansı hesaplanmıştır. Uygulanan Doğrudan Asit Liçi (DAL) şematik akış diyagramı Şekil 25 'de gösterilmektedir.



Şekil 25 : Doğrudan Asit Liçi (DAL) şematik akış diyagramı (Hemmings v.d., 1987).

Plant Bowen Külünden alüminyum kazanma verimi % 27 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 12). Oysa tipik düşük-kalsiyumlu bazı küller için Al kazanımıyla kıyaslandığında düşüktür.

Çizelge 12 . Al ve Fe kazanımının mukayesesi (Hemmings v.d., 1987).

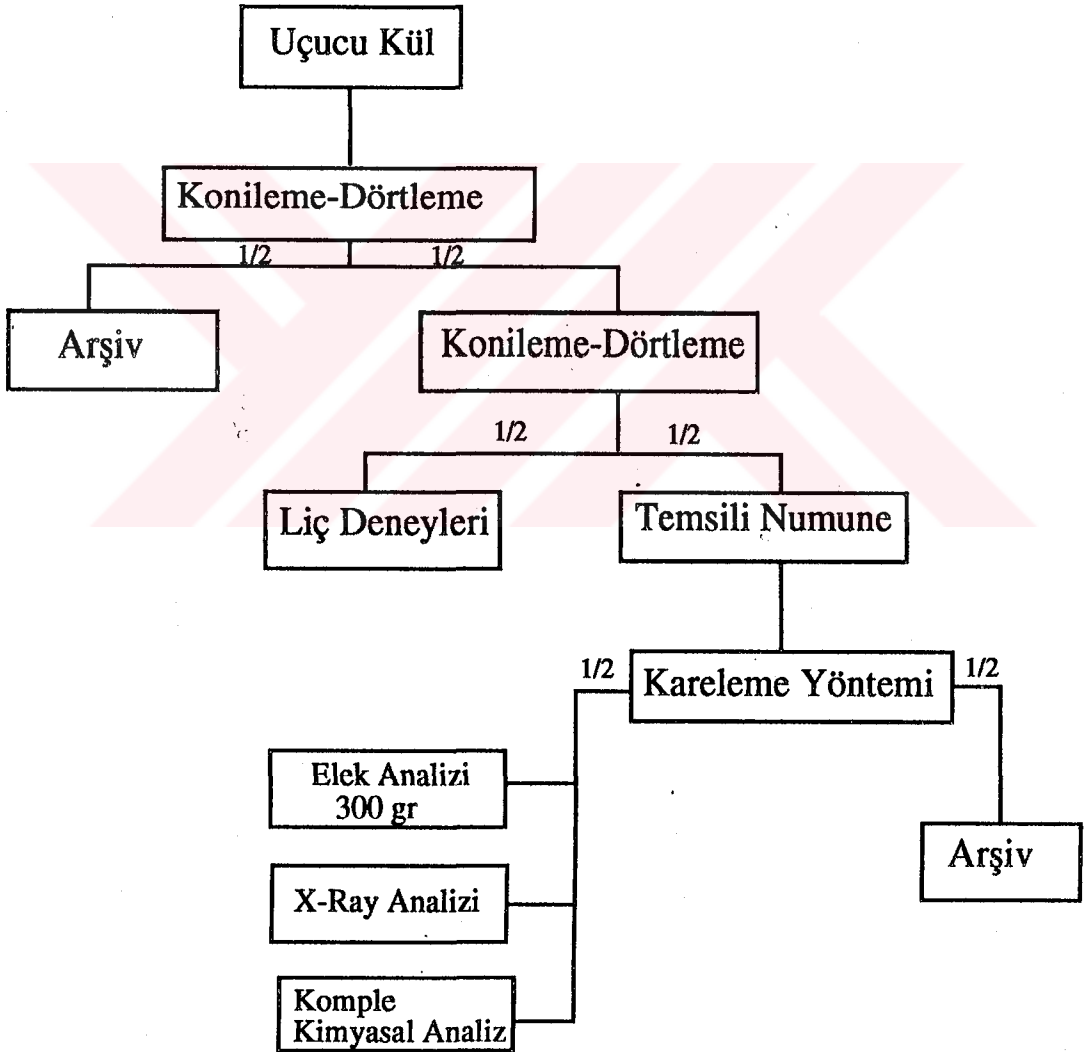
Ürünler	Kazanma Verimi (%)	
	Al	Fe
Ham kül	27	76
Sınıflandırılmış kaba ürün (artık)	15	76
Sınıflandırılmış ince ürün	39	79
Manyetik konsantre	17	48
Manyetik olmayan konsantre	37	64

ZOUTOMOU ve arkadaşları (1986) tarafından San Antonio (Texas) termik santral uçucu külü (yüksek kalsiyum oksit külü) üzerinde HCl ile liç deneyleri yapılmıştır. $\text{CaO/SiO}_2 = 3$ oranı sağlanarak $900-1000^\circ\text{C}$ de kalsinasyona tabi tutulan kül numunesi daha sonra 3 mol/dm^3 HCl konsantrasyonunda, 75°C de ve 400 D/d lık bir karıştırma hızında 4 saatlik bir çözündürme süresinde yapılan liç deneylerinde %99.6 lık bir Al kazanma verimine ulaşılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Afşin-Elbistan Termik Santralında kül tutucular tarafından toplanan uçucu külden alınan yaklaşık 15 kg temsili numune deneylerde kullanılmak üzere Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiş ve konileme-dörtleme yöntemiyle Şekil 26 ' da gösterilen numune hazırlama akım şemasına göre temsili deney numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 26.: Uçucu kül temsili numune hazırlama akım şeması.

3.2. Metod

3.2.1. Kimyasal Analiz

Kimyasal analizlerin yapılmasında PERKIN ELMER mikroprosesör gaz kontrollü, 3100 Model Atomik Absorpsiyon Cihazı (AAS) kullanılmıştır.

10-20 gram kadar örnek, laboratuvar tipi titreşimli değirmende 20 dakika süreyle öğütüldükten sonra, 105°C de bir saat kadar etüvde kurutulmuştur. Desikatörde soğutulan örnekten 0.5-1 gram tartılmış ve teflon krozede 15 ml HF (Hidroflorik asit) ve 5 ml HClO₄ ile parçalanıp sıvıya aktarılmıştır. Ortamdaki silisyum SiF halinde ortamdaki uzaklaştırılmış, daha sonra diğer elementler HCl ile çözülüp balon jode 100 ml'ye tamamlanarak Atomik Absorpsiyon cihazında bütün metaller okunmuştur.

3.2.2. Elek Analizi

Numunenin boyut dağılımını belirlemek için yapılan elek analizi laboratuvar elek serisi (250, 180, 150, 75, 63 ve 45 µm) kullanılarak yaş eleme metoduyla yapılmış, -45 µm altı ise Ç.Ü. İnşaat Müh. Laboratuvarında Hidrometre Yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. X-Ray Analizi

X-Ray çalışmaları, Ç.Ü. Ziraat Fak. Toprak Bölümünde bulunan Philips Powder Difraktometre cihazıyla yapılmıştır. Bu cihazla yapılan spektrometrik ölçümlerle, numunedeki mineral fazları tesbit edilmiştir.

Spektrometrik analizlerde uygulanan gerilim 40 kV, 30 mA dir. Tarama hızı ise 2°/dakika dır.

3.2.4. Mikroskop Analizi

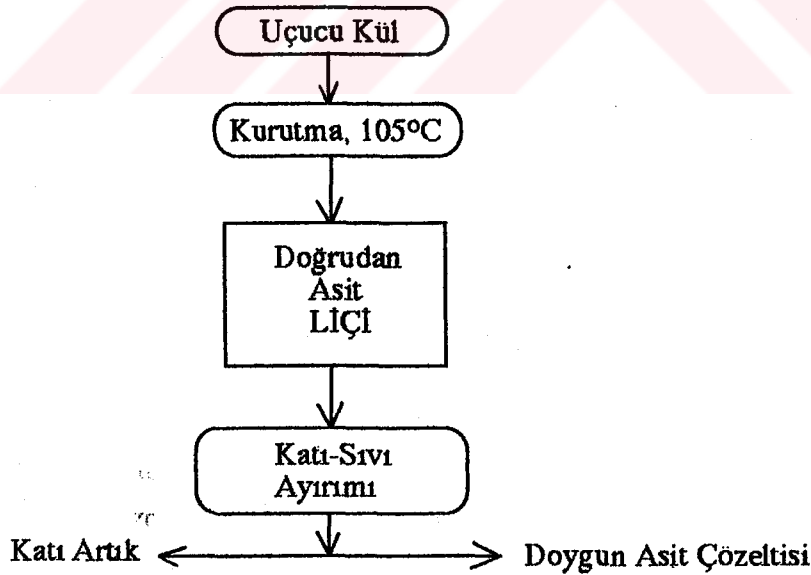
Morfolojik çalışmalar KYOWA Marka RFB-7 Model Polarizan mikroskobu kullanılarak ham uçucu kül ve bunların tane boyutuna göre sınıflandırılmış ürünleri (+250, -250+180, -180+150, -150+75 µm) için yapılmıştır.

3.2.5. Liç Yöntemi

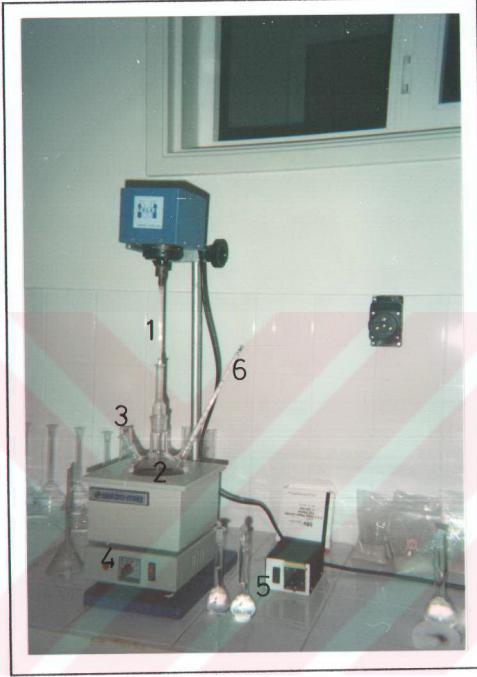
Afşin-Elbistan uçucu külünden metal oksitlerin (Al, Fe, Ti) kazanımı amacıyla Doğrudan Asit Liçi (DAL) yöntemi uygulanmış ve bu amaçla uçucu kül numunesi güçlü bir asit olan hidroklorik asit (HCl) ile muamele edilerek kimyasal çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğrudan asit liçi deney akım şeması Şekil 27' de gösterilmektedir.

Bütün liç deneyleri karıştırma hızı (D/d) ve sıcaklığın ($^{\circ}\text{C}$) sürekli kontrol edildiği 500 ml lik bir cam reaktörde yapılmıştır (Resim 1). Reaktör, liç çözeltisiyle 250 ml 'ye kadar çeşitli hidroklorik asit (HCl) konsantrasyonlarında (100-400 g/lt) doldurularak istenen sıcaklığa (30-110 $^{\circ}\text{C}$) ısıtılmıştır. Çözeltinin sıcaklığı sabitlendiğinde 20 gr ön ısıtmaya tabi tutulmuş ham uçucu kül sürekli karıştırma altında (500-1500 D/d) reaktöre yavaşça boşaltılarak liç işlemi bu şekilde başlatılmıştır.

Liç işlemi 6 saat sürdürülmüştür. Belirli zaman aralıklarında (1-2-3-4-5 ve 6 saat) her defasında 1 ml lik çözelti liç süspansiyonundan alınmış ve vakum filtrasyonundan geçirildikten sonra Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS) cihazında alüminyum, demir ve titanyum konsantrasyonları ölçülmüştür.



Şekil 27 : Doğrudan Asit Liçi (DAL) Deney Akım Şeması.



1. Cam karıştırıcı
2. 3 boyunlu cam reaktör
3. Besleme mali girişi
4. Sıcaklık ayar düğmesi
5. Karıştırma hızı ayar düğmesi
6. Termometre

Resim 1. Liç Deneş Düzenegİ.

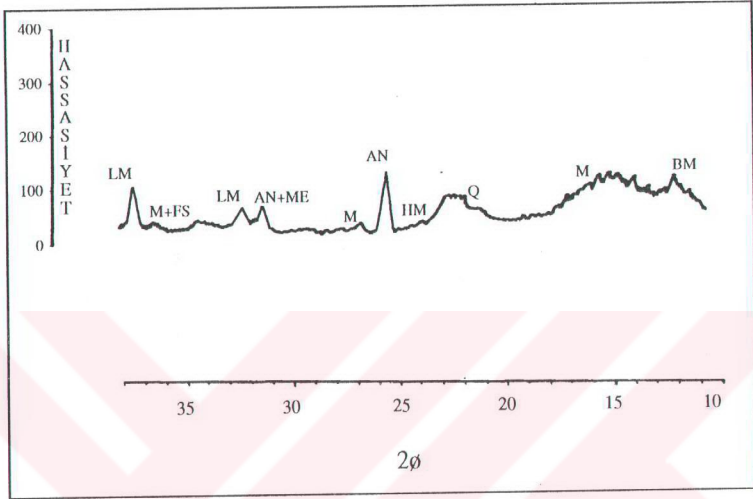
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Analiz Sonuçları

4.1.1. Mineraloji

Uçucu kül numunesi üzerinde yapılan X- Ray Difraktogramlarında (Şekil 28) belirlenen başlıca kristal fazları şu şekildedir :

- * Kuvars (SiO_2)
- * Kireç (CaO)
- * Anhidrit (CaSO_4)
- * Kahverengi Millerit (C_4AF , $\text{C}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$) (mümkün kristal faz)
- * Anhidrit (CaSO_4) + Melilit ($(\text{Ca}, \text{Na})_2 (\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}) (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_7$)

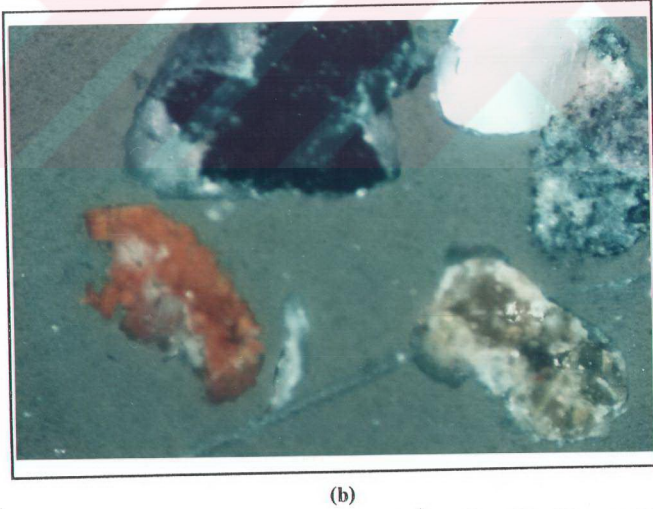
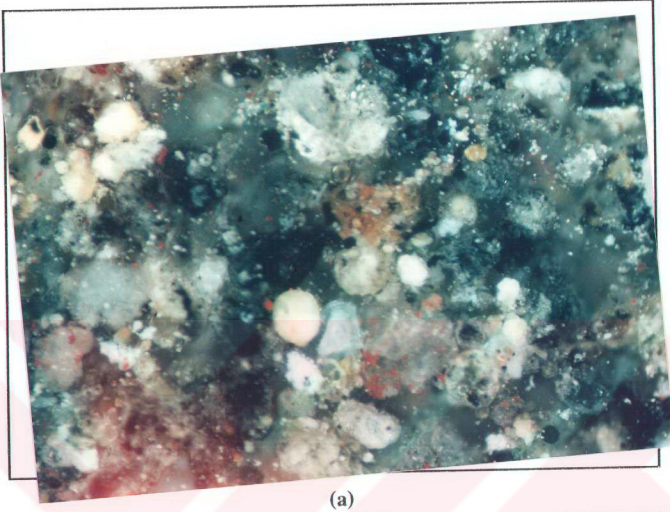


Şekil 28 : Afşin-Elbistan Uçucu kül numunesine ait X-Ray Spektrometre diyagramı .

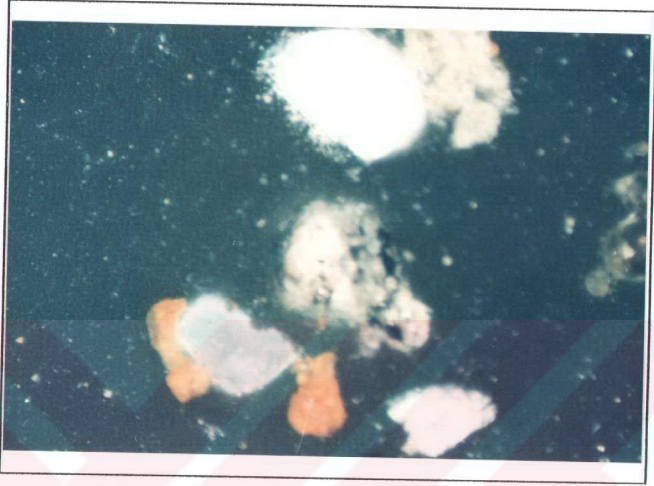
LM	: Kireç
M	: Mullit
BM	: Kahverengi Millerit (mümkün kristal fazı)
HIM	: Hematit
Q	: Kuvars
FS	: Ferrit Spinel
ME	: Melilit
AN	: Anhidrit

4.1.2. Morfoloji

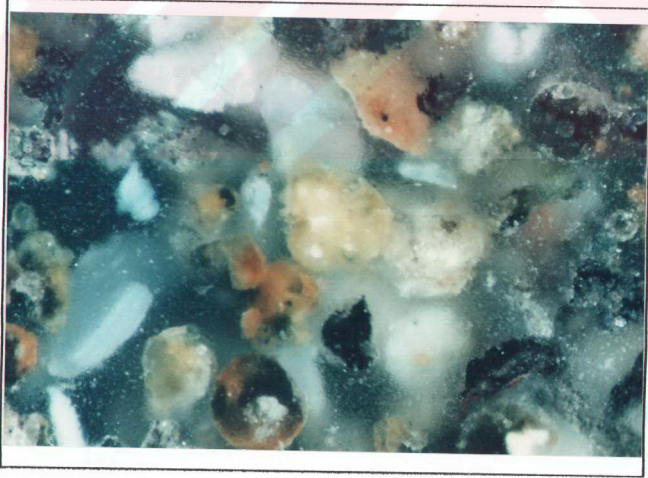
Polarizan mikroskopla yapılan morfolojik incelemelerde kül numunesinin heterojen bir yapıya sahip olduğu ve düzensiz şekilli tanelerden oluştuğu gözlenmiştir (Resim 2 a, b, c, d, e).



Resim 2 a, b. Afşin-Elbistan uçucu külünün mikroskop ile tesbit edilen morfolojik yapısı. (a) ham uçucu kül (b) +250 µm

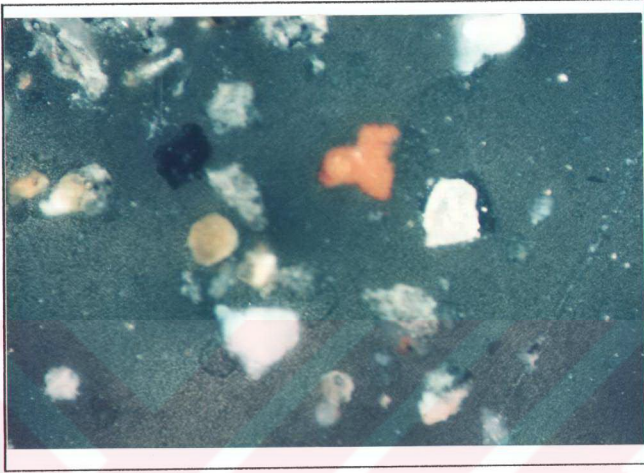


(c)



(d)

Resim 2 c, d. Afşin-Elbistan uçucu külünün mikroskop ile tesbit edilen morfolojik yapısı. (c) -250+180 μm (d) -180+150 μm



(e)

Resim 2 e. Afşin-Elbistan uçucu külünün mikroskop ile tesbit edilen morfolojik yapısı. (e) -150+75 μm

4.1.3. Kimyasal Bileşim

Uçucu kül numunesine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 13'te verilmektedir. Buna göre numunenin büyük bir kısmı CaO , SiO_2 ve Al_2O_3 'ten oluşmaktadır. Uçucu külün ağırlıkça yaklaşık 1/4 ünü oluşturan CaO ile bu uçucu kül numunesi tipik bir yüksek kalsiyumlu uçucu kül olarak nitelendirilebilir. Bu tür küllerin bir özelliği de MgO oranının genellikle yüksek oluşudur (Bumet, 1986). Çizelgeden de görüldüğü gibi malzemenin kızdırma kaybı % 2.31 kadardır.

Çizelge 13 . Uçucu kül numunesine ait kimyasal bileşim.

Kimyasal Bileşim	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	TiO_2	SO_3	KK
İçerik (%)	15.06	7.54	4.02	0.57	0.28	23.66	4.55	1.02	13.22	2.31

4.1.4. Tane İrilik Dağılımı

Uçucu küle ait tane irilik dağılımını ortaya çıkarmak amacıyla 300 gr numune üzerinde yaş elek analizi yapılmıştır. Bu analizde 250, 180, 150, 75, 63 ve 45 μm lik laboratuvar elek serisi kullanılmıştır. -45 μm altı malzemenin boyut analizi ise Hidrometre yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 29 'da gösterilmektedir. Buna göre uçucu kül numunesinin maksimum tane boyutu 300 μm civarındadır. Numunenin yaklaşık % 65 inin -45 μm , ve % 40 ının da -13 μm altında olduğu tesbit edilmiştir.

4.1.5. Yoğunluk

Uçucu kül numunesine ait kaba yoğunluk değerinin 1.05-1.10 g/cm^3 arasında olduğu tesbit edilmiştir.

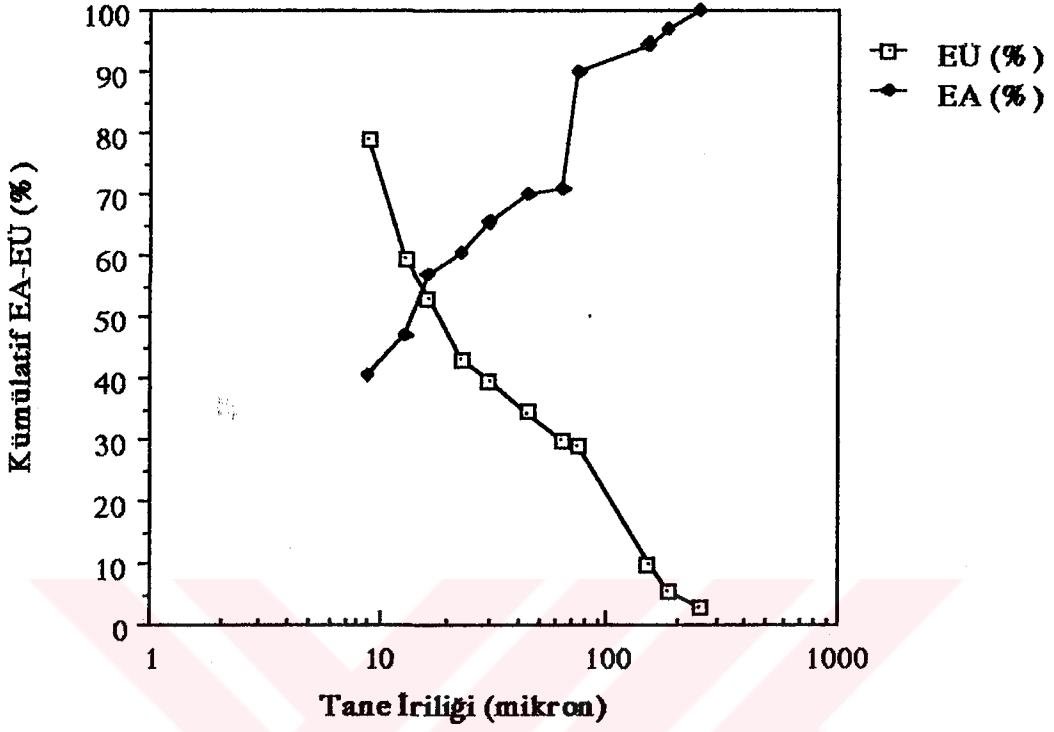
Piknometre ile yapılan yoğunluk ölçümünde uçucu küle ait özgül ağırlık değeri ise 2.85 g/cm^3 olarak belirlenmiştir.

4.2. Liç Deney Sonuçları

Kuvvetli bir asit olan Hidroklorik asit (HCl) ile uçucu kül numunesi üzerinde yapılan asit liçi deneylerinde optimum şartları belirlemek amacıyla asit konsantrasyonu (g/lt), sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), karıştırma hızı (D/d), pülpte katı oranı (%) ve çözündürme süresi (saat) gibi temel parametreler uygulanmıştır. Aşağıda bu parametrelerin çözünmeye olan etkileri sırasıyla verilmektedir.

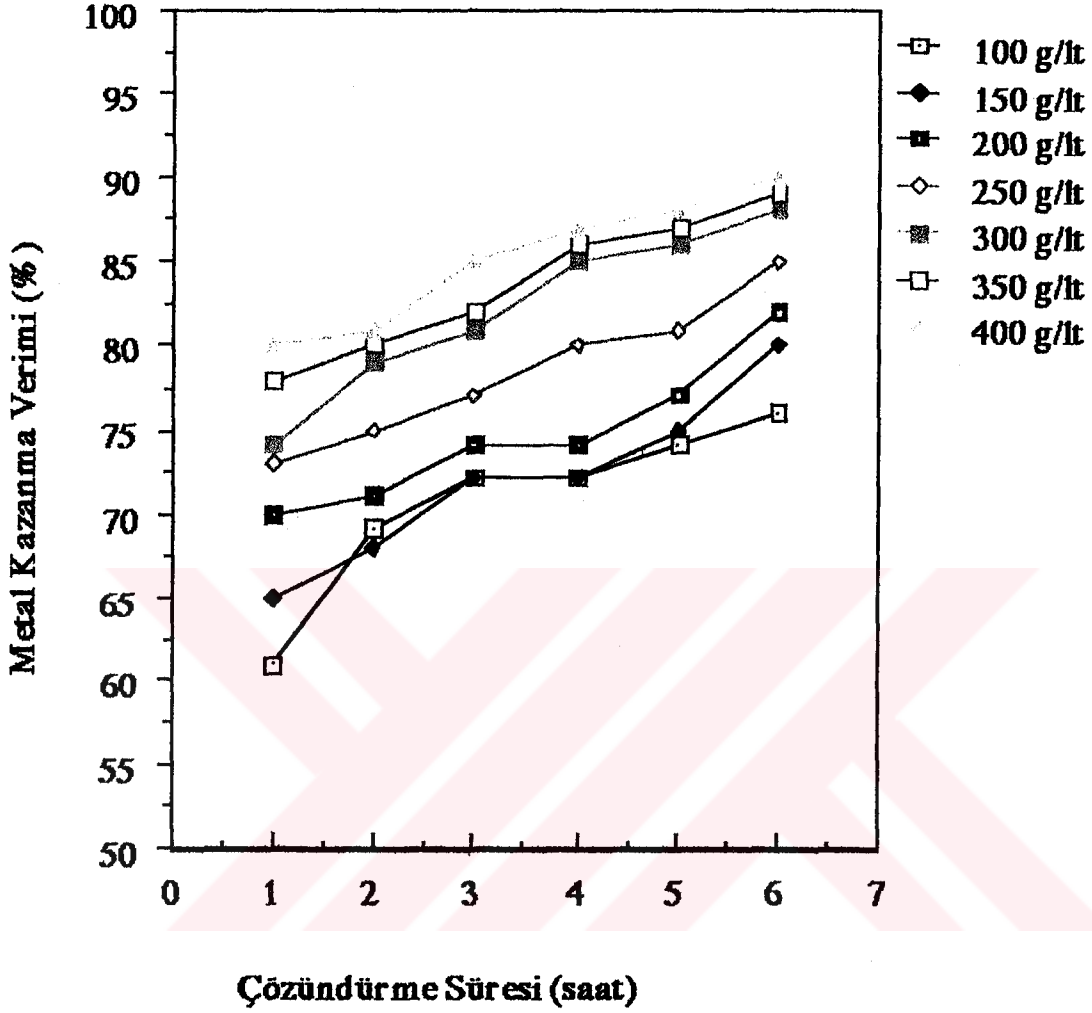
4.2.1. Asit miktarının Çözeltme Verimine Etkisi

Kimyasal çözücü konsantrasyonu liç verimine etki eden en önemli etkenlerden birisidir. HCl miktarının 100-400 g/lt arasında değiştirilerek yapılan çözeltme deney sonuçları Şekil 30, 31 ve 32' de verilmiştir. Asit miktarının artışı ile birlikte, alüminyum çözeltme verimi de artarak 300 g/lt lik derişimde % 88 çözeltme verimi değerine ulaşılmaktadır. 300 g/lt nin üzerindeki asit derişimlerinde kazanma veriminde en fazla % 2 'lik bir artış sağlanabilmiştir. Aşırı asit kullanılması hem ekonomiklik açısından, hemde çözeltinin diğer metal iyonları ile kirlenmesi sebebiyle uygun olmadığı düşünülerek 300 g/lt lik asit miktarı Al çözeltmesi için yeterli olacaktır. Aynı şartlarda % 78 Fe, % 95 Ti kazanma verimi elde edilmiştir.



Tane İriligi (μm)	Miktar (%)	Kümülatif	
		EU (%)	EA (%)
+250	3.05	3.05	100.00
-250 +180	2.30	5.35	96.95
-180 +150	4.58	9.93	94.65
-150 + 75	19.08	29.01	90.07
- 75 + 63	1.14	30.15	70.99
- 63 + 45	4.58	34.73	69.85
- 45 + 30	4.96	39.69	65.27
- 30 + 22.7	3.44	43.13	60.31
-22.7+ 16.5	9.93	53.06	56.87
- 16.5+ 13	6.48	59.54	46.94
- 13 + 9	19.47	79.01	40.46
- 9	20.99	100.00	20.99
TOPLAM	100.00		

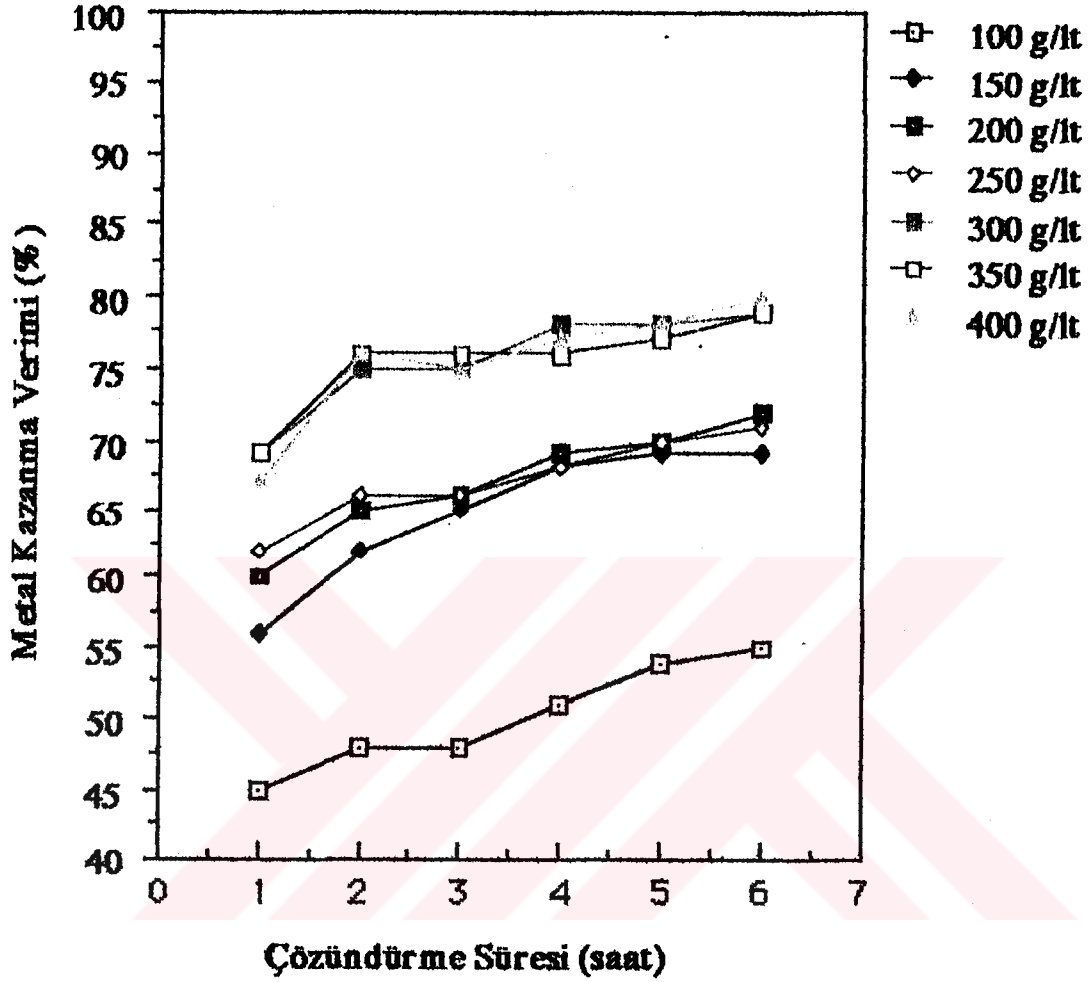
Şekil 29 : Uçucu kül numunesinin elek analiz sonuçları ve boyut dağılım eğrisi.



Şekil 30 : Asit Miktarının Alüminyum Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

Sıcaklık	: 90 °C
Numune Miktarı	: 20 gr
Pülp-te Katı Oranı	: % 10
Karıştırma Hızı	: 500 D/d
Çözeltme süresi	: 1- 6 saat
Asit Miktarı	: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 g/lt



Şekil 31 : Asit Miktarının Demir Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları:

Sıcaklık : 90°C

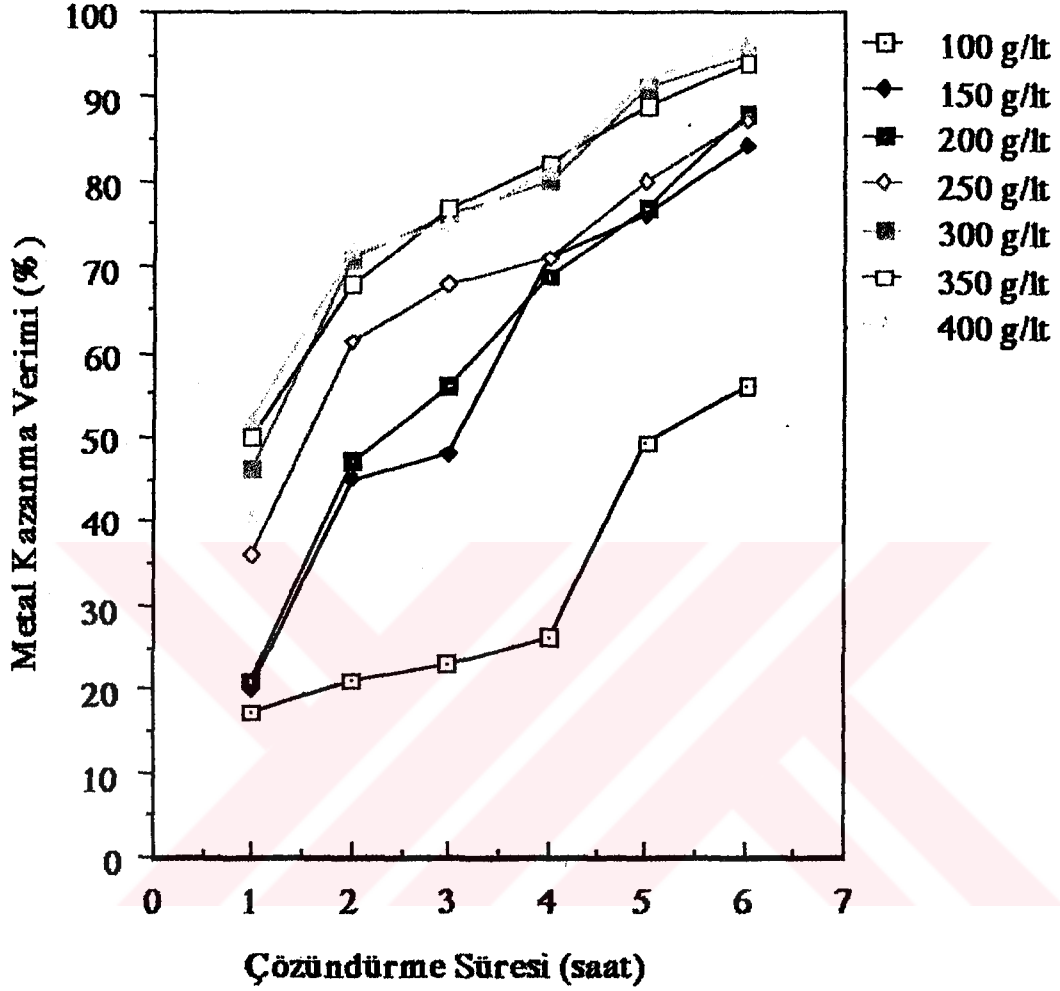
Numune Miktarı : 20 gr

Pülpte Katı Oranı : % 10

Karıştırma Hızı : 500 D/d

Çözeltme süresi : 1- 6 saat

Asit Miktarı : 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 g/lt



Şekil 32 : Asit Miktarının Titanyum Çözültme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

Sıcaklık : 90°C

Numune Miktarı : 20 gr

Pülpte Katı Oranı : % 10

Karıştırma Hızı : 500 D/d

Çözültme süresi : 1- 6 saat

Asit Miktarı : 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 g/lt

4.2.2. Sıcaklığın Çözeltme Verimine Etkisi

Sıcaklığın çözeltme verimine olan etkisini ortaya çıkarmak amacıyla 30-60-90 ve 110°C de gerçekleştirilen asit liçi deneylerinin sonuçları sırasıyla Şekil 33-34 ve 35 te verilmektedir.

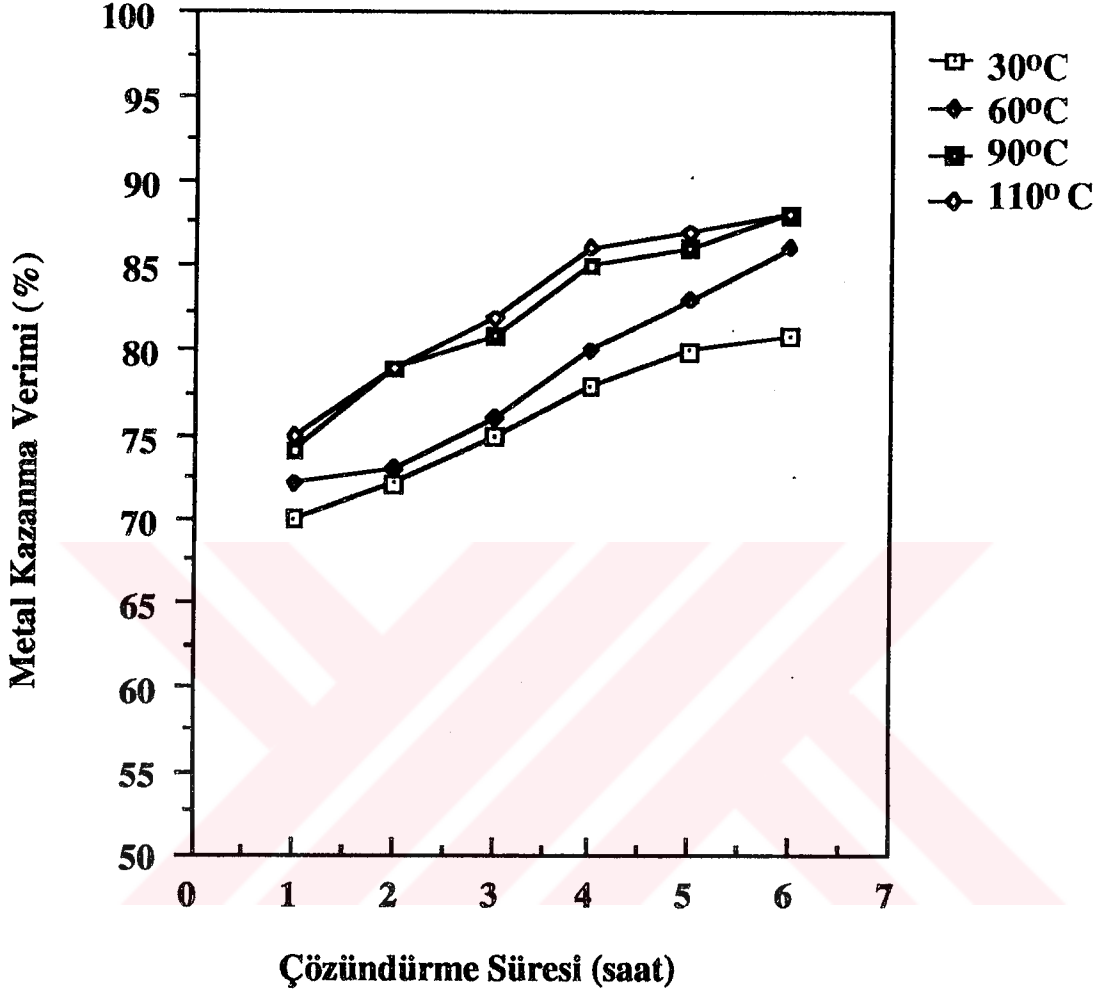
Şekil 33' ten görüleceği gibi sıcaklığın etkisi ile daha kısa sürede daha yüksek Al çözeltme verimine ulaşılmıştır. Sıcaklık ile tepkime hızı arttığından 90°C de 2 saat içinde % 79 olan Al kazanma verimi 6 saatlik çözeltme süresinde % 88 değerine yükselmiştir. Sıcaklığın 110°C ye kadar çıkarılması Al verimini arttırmamıştır. Aynı şartlarda yapılan liç deneylerinde Fe % 78 ve Ti % 95 gibi yüksek verimle kazanılmıştır.

4.2.3. Karıştırma Hızının Çözeltme Verimine Etkisi

Karıştırmanın katı-sıvı reaksiyonunda önemli bir yeri olduğu bilinmektedir. En etkili karıştırma hızı, katı tanelerin etrafını saran çözeltiye ait tabaka kalınlığını minimuma indiren değerdir. Bu karıştırma hızının 950 D/d civarında olduğu bilinmektedir. Bu amaçla üç değişik karıştırma hızlarında (500-1000-1500 D/d) ve 90°C de yapılan liç deneylerin sonuçları Şekil 36-37-38 de verilmektedir. Karıştırma hızının çözeltme veriminde etkili olduğu şekilden de görülmektedir. Buna göre 500 D/d lık karıştırma hızında % 88 olarak elde edilen Al kazanma verimi 1500D/d da % 95 e kadar çıkmıştır. Aynı şartlarda Fe % 85, Ti % 97 metal kazanma verimi ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar karıştırma hızının çözeltme veriminde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

4.2.4. Katı Oranının Çözeltme Verimine Etkisi

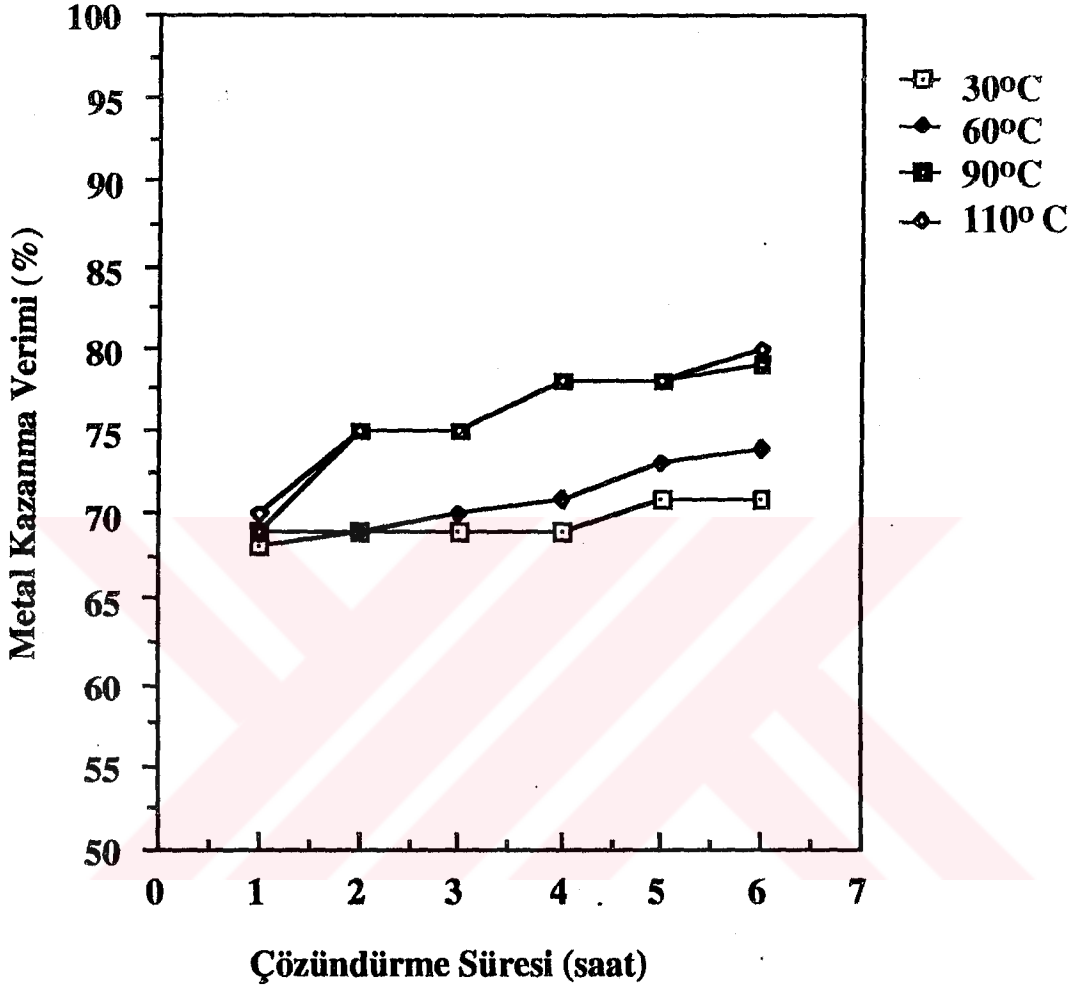
Çözeltme verimine etki eden parametrelerden birisi de katı oranıdır. % 5-10-15 ve 20 katı oranlarında yapılan çözeltme deneylerinde elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 39-40-41' de verilmektedir. Katı oranı arttıkça metal kazanma verimi düşmektedir. Fakat buna karşılık kullanılan asit miktarıda azalmaktadır. En yüksek metal kazanma verimi % 5 katı oranında elde edilmiştir. Buna göre Al % 97, Fe % 89, Ti % 98 kazanma verimiyle elde edilmiştir.



Şekil 33 : Sıcaklığın Alüminyum Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

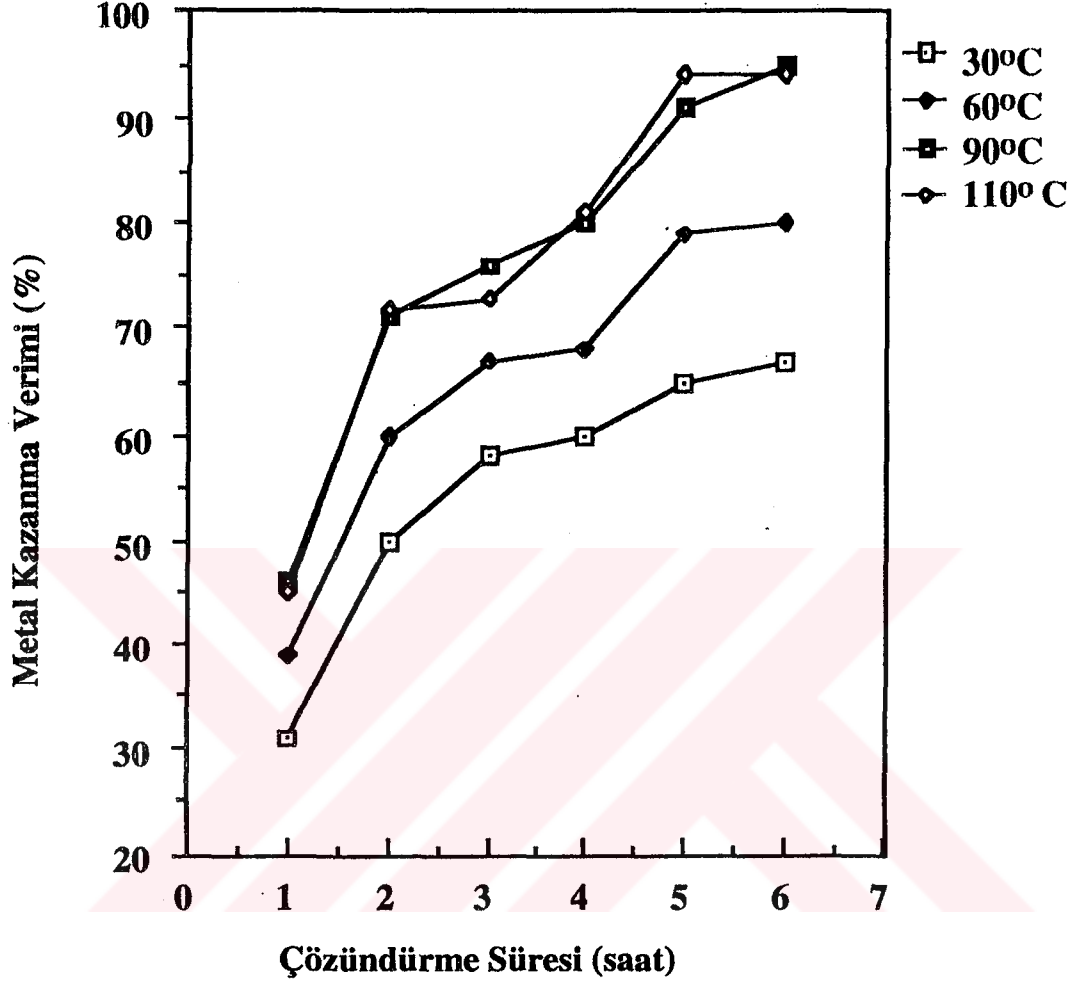
Numune Miktarı : 20 gr
 Pülpte Katı Oranı : % 10
 Karıştırma Hızı : 500 D/d
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Çözeltme Süresi : 1- 6 saat
 Sıcaklık : 30, 60, 90 ve 110°C



Şekil 34 : Sıcaklığın Demir Çözeltilme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

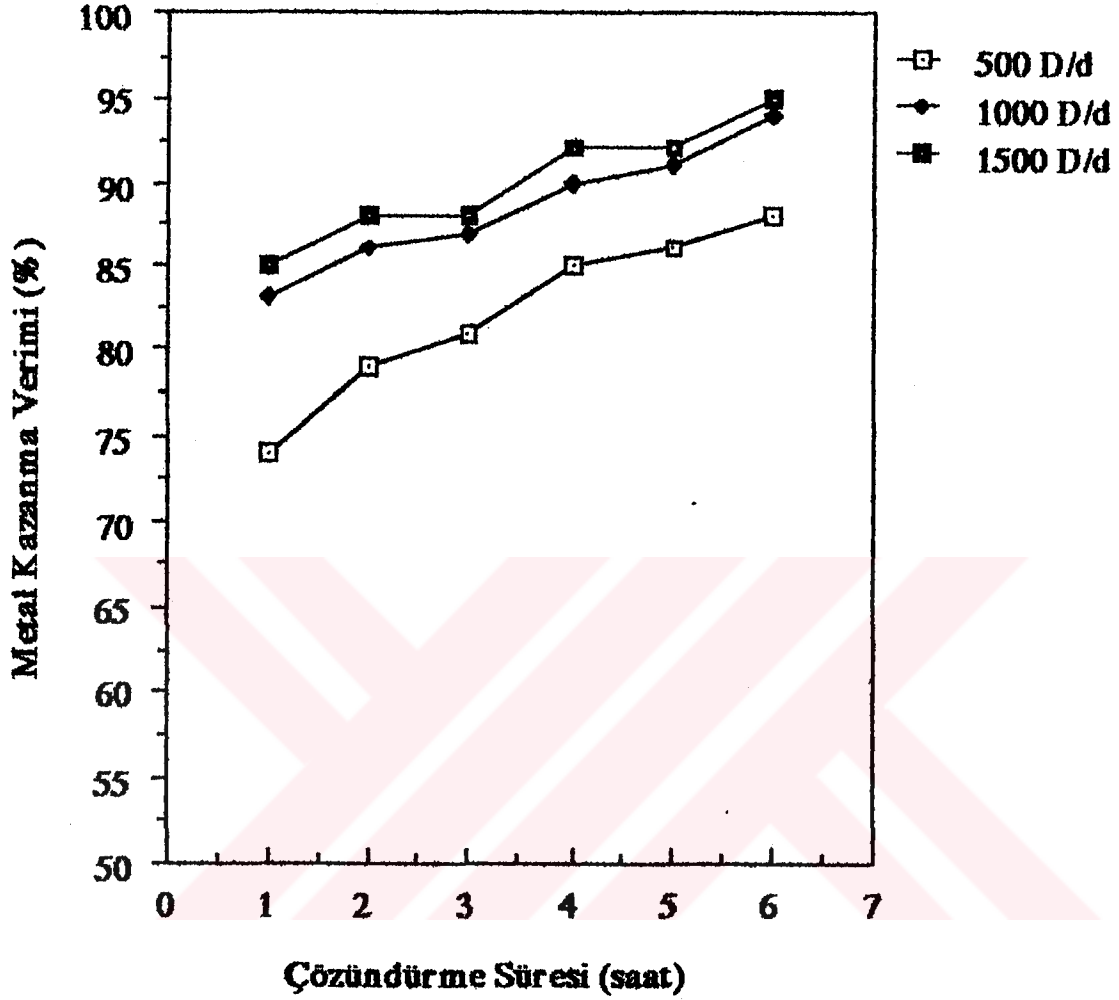
Numune Miktarı : 20 gr
Pülpte Katı Oranı : % 10
Karıştırma Hızı : 500 D/d
Asit Miktarı : 300 g/lt
Çözeltilme Süresi : 1- 6 saat
Sıcaklık : 30, 60, 90 ve 110 oC



Şekil 35 : Sıcaklığın Titanyum Çözeltilme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

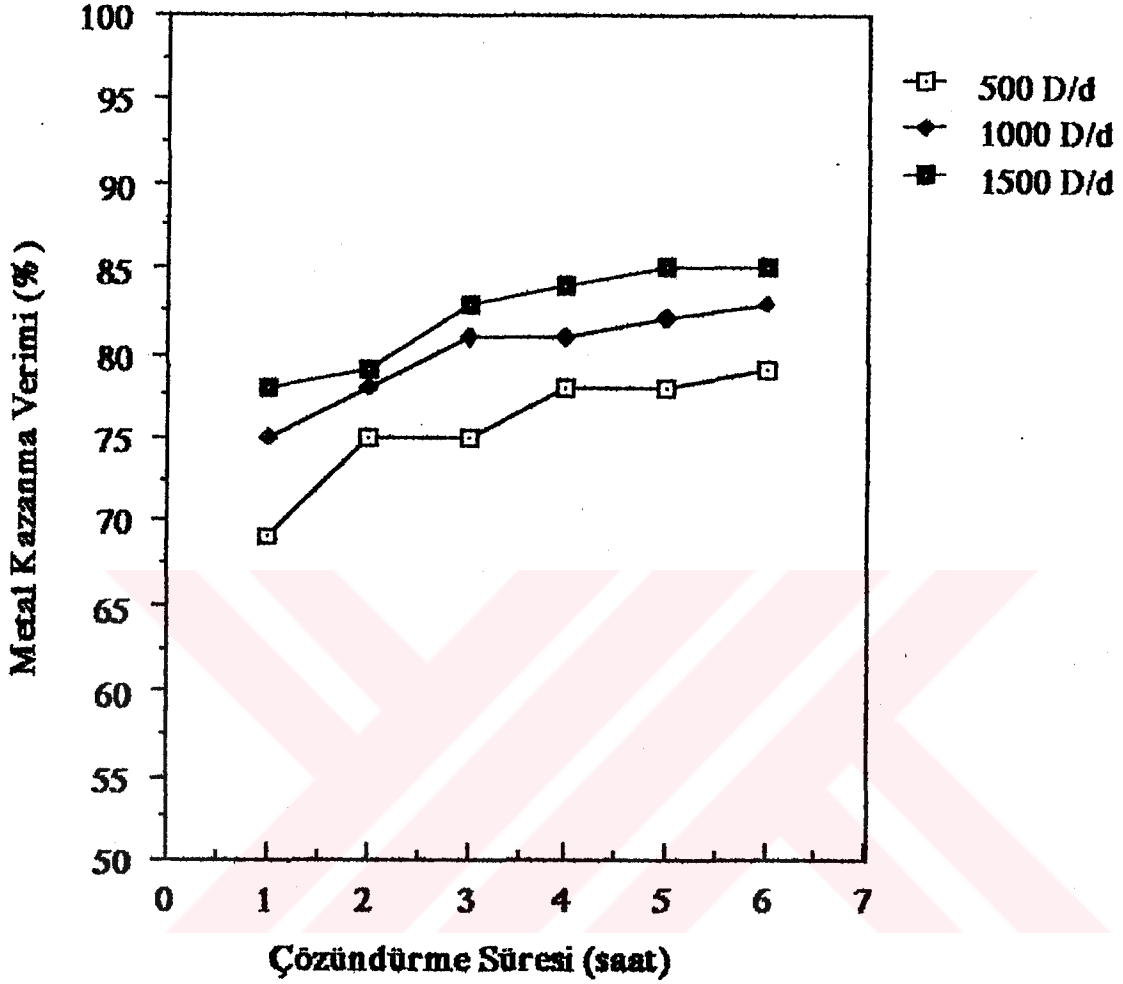
Numune Miktarı : 20 gr
 Pülpte Katı Oranı : % 10
 Karıştırma Hızı : 500 D/d
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Çözeltilme Süresi : 1- 6 saat
 Sıcaklık : 30, 60, 90 ve 110°C



Şekil 36 : Karıştırma Hızının Alüminyum Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

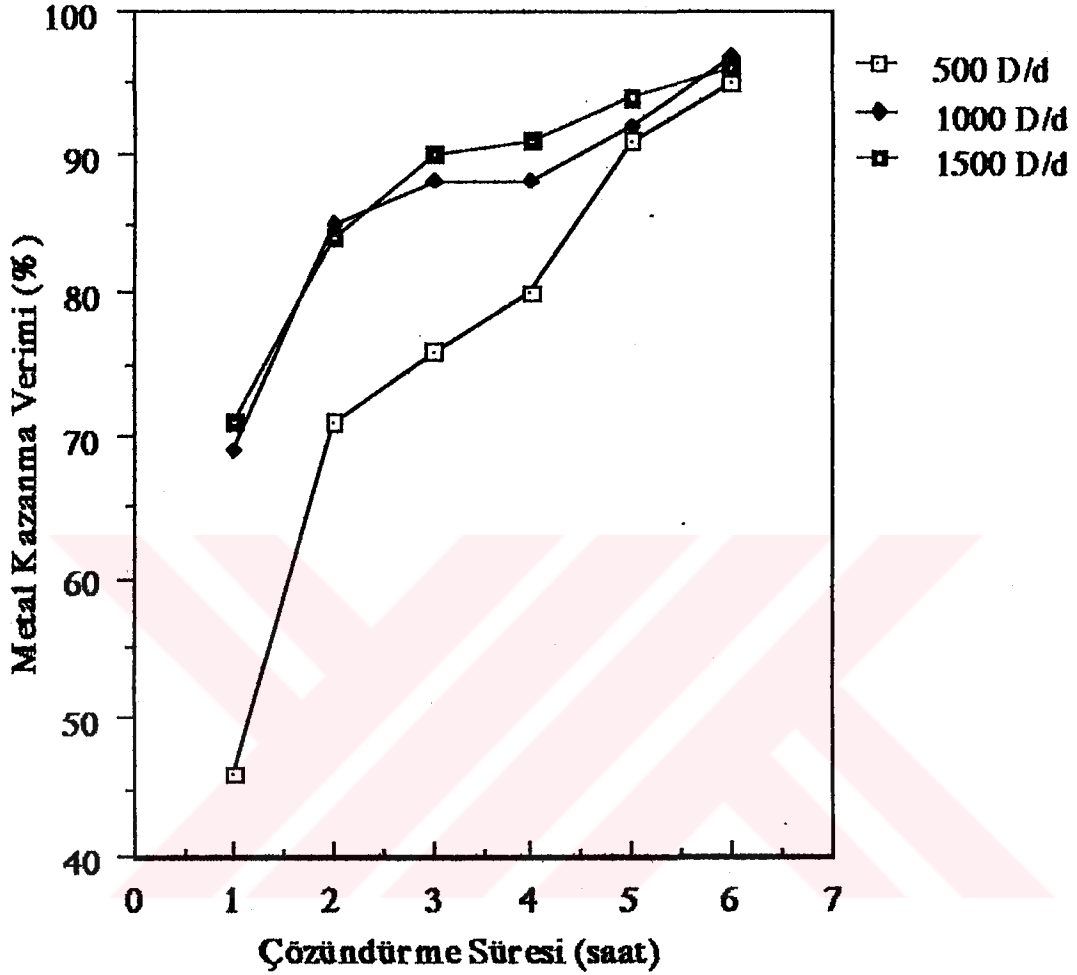
Numune Miktarı : 20 gr
 Pülpte Katı Oranı : % 10
 Sıcaklık : 90°C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Çözeltme süresi : 1- 6 saat
 Karıştırma Hızı : 500 , 1000, 1500 D/d



Şekil 37 : Karıştırma Hızının Demir Çözeltilme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

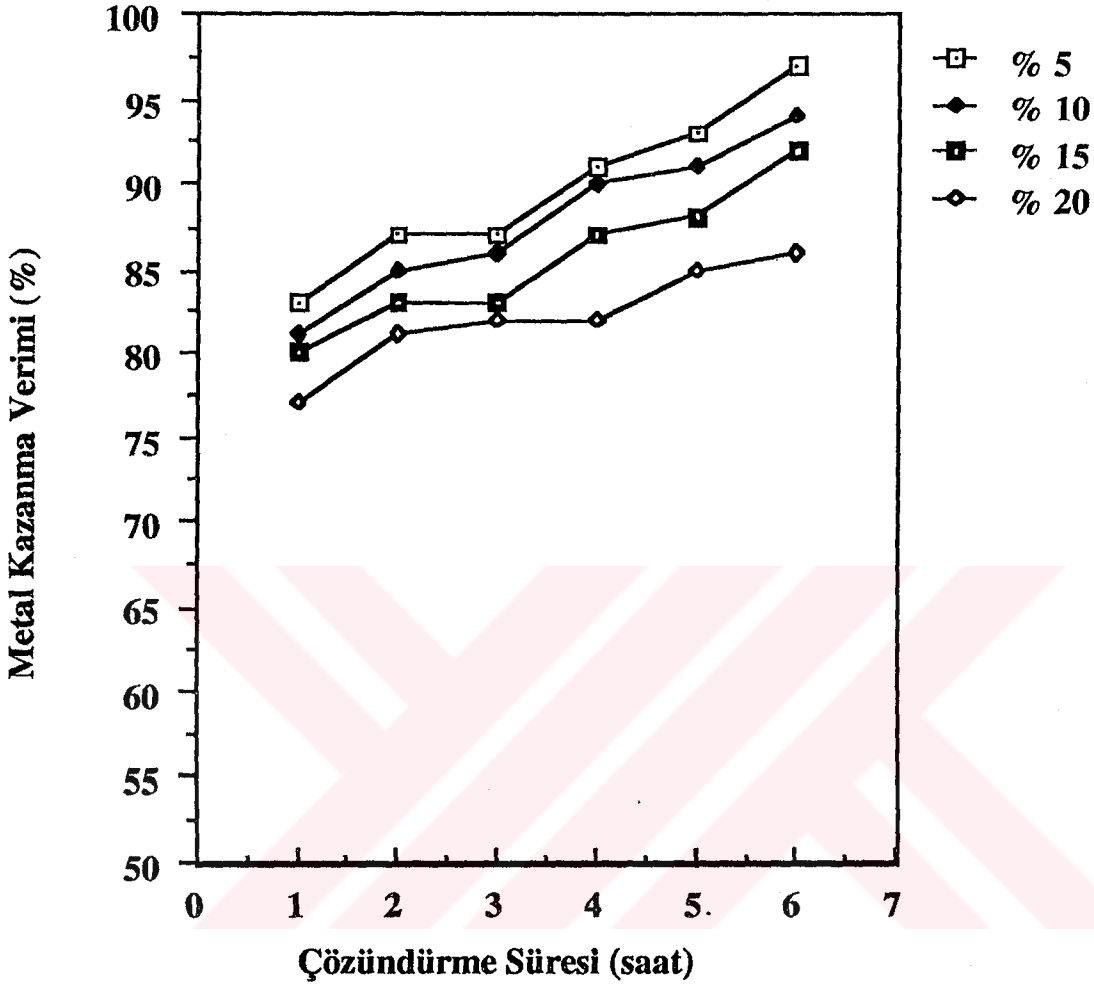
Numune Miktarı : 20 gr
 Pülpte Katı Oranı : % 10
 Sıcaklık : 90°C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Çözeltilme süresi : 1- 6 saat
 Karıştırma Hızı : 500 , 1000, 1500 D/d



Şekil 38 : Karıştırma Hızının Titanyum Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

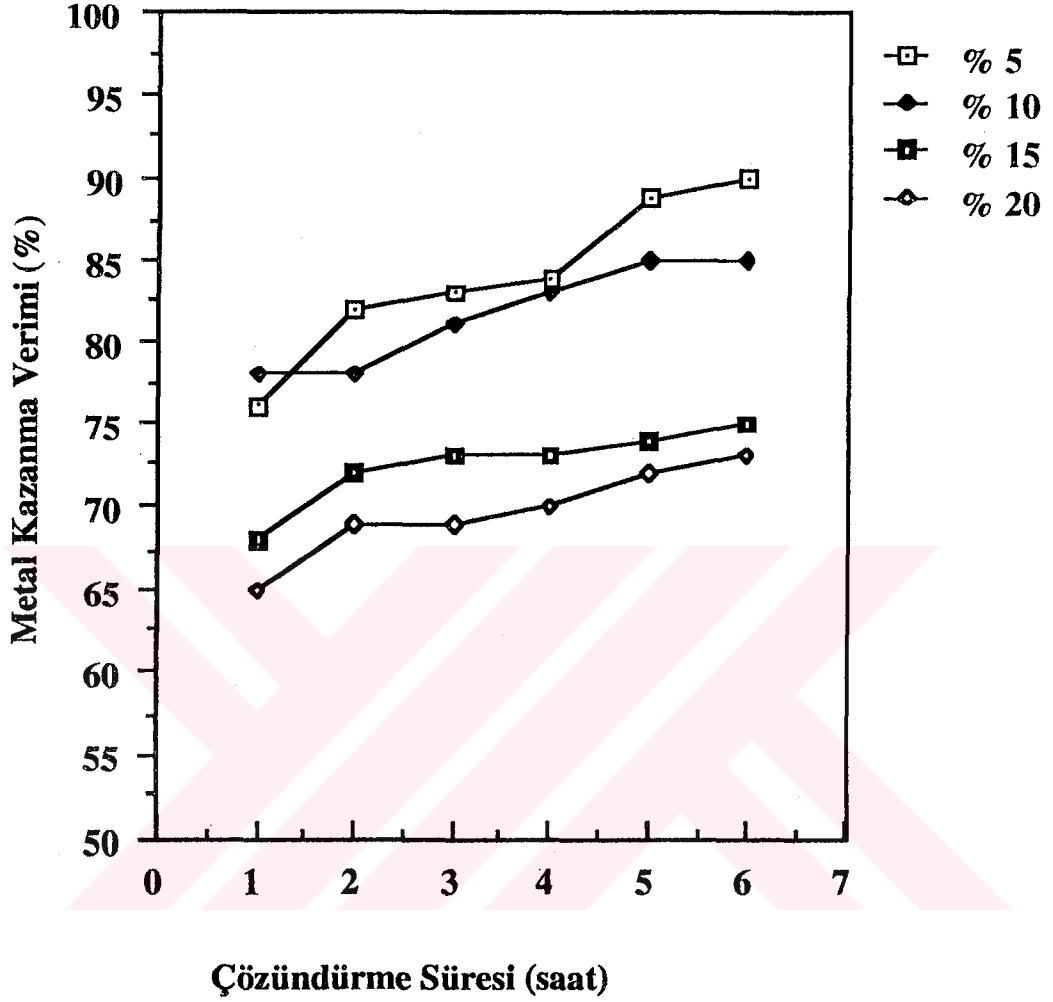
Numune Miktarı : 20 gr
 Pülpte Katı Oranı : % 10
 Sıcaklık : 90°C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Çözeltme süresi : 1- 6 saat
 Karıştırma Hızı : 500 , 1000, 1500 D/d



Şekil 39 : Pülpte Katı Oranının Alüminyum Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

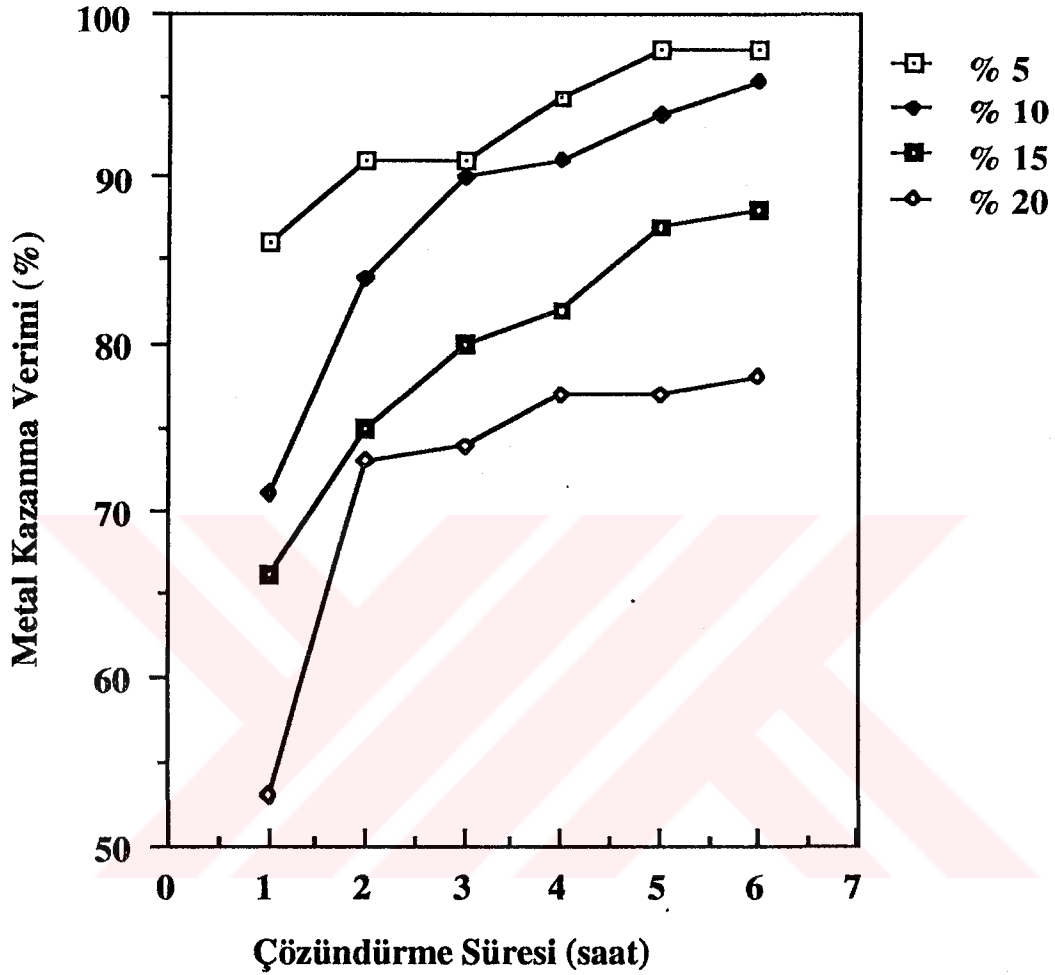
Numune Miktarı : 20 gr
 Sıcaklık : 90 °C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Karıştırma Hızı : 1500 D/d
 Çözeltme Süresi : 1- 6 saat
 Pülpte Katı Oranı : % 5, 10, 15, 20



Şekil 40 : Pülpte Katı Oranının Demir Çözeltilme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

Numune Miktarı : 20 gr
 Sıcaklık : 90 °C
 Asit Miktarı : 300 g/l
 Karıştırma Hızı : 1500 D/d
 Çözeltilme Süresi : 1- 6 saat
 Pülpte Katı Oranı : % 5, 10, 15, 20



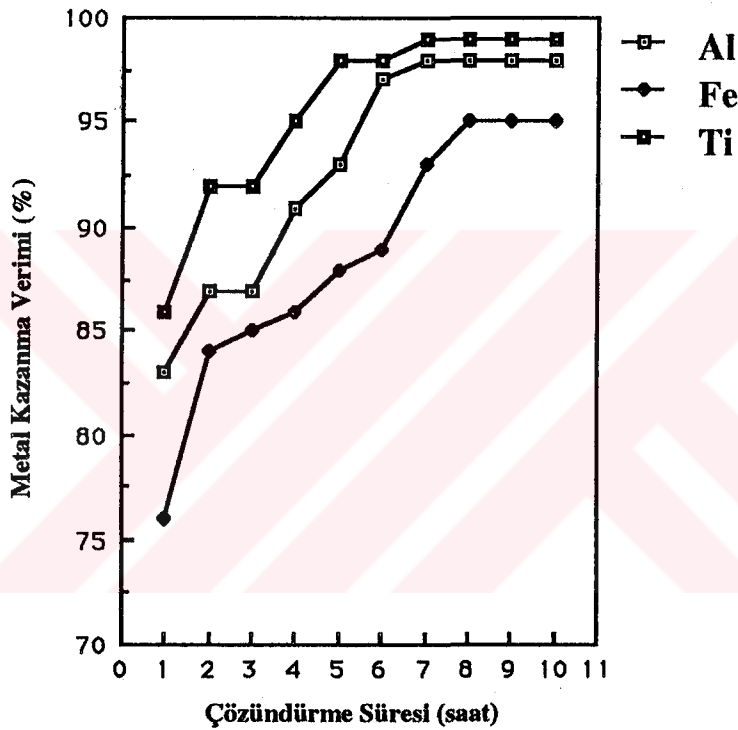
Şekil 41 : Pülpte Katı Oranının Titanyum Çözültme Verimine Etkisi.

Deney Şartları:

Numune Miktarı : 20 gr
 Sıcaklık : 90°C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Karıştırma Hızı : 1500 D/d
 Çözültme Süresi : 1- 6 saat
 Pülpte Katı Oranı : % 5, 10, 15, 20

4.2.5. Çözündürme Süresinin Çözeltme Verimine Etkisi

Çözündürme süresinin metal (Al,Fe ve Ti) kazanma verimlerine olan etkisi Şekil 42 de gösterilmektedir. Çözündürme süresinin 6 saatin üzerindeki artışlarında Al ve Ti kazanma verimlerinde çok az bir artış (%1) görülmekte, ancak Fe kazanma verimi çözündürme süresine paralel olarak artmakta ve 8 saatlik bir sürede yaklaşık % 6 lık bir Fe kazanma verim artışı gerçekleşmektedir.



Şekil 42 : Çözündürme Süresinin Al, Fe ve Ti Çözeltme Verimine Etkisi.

Deney Şartları :

Numune Miktarı : 20 gr
 Sıcaklık : 90°C
 Asit Miktarı : 300 g/lt
 Karıştırma Hızı : 1500 D/d
 Pülpte Katı Oranı : % 5
 Çözeltme Süresi : 1- 10 saat

SONUÇLAR

Bu çalışmada Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu küllerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinin yanısıra içerdiği Al, Fe ve Ti gibi değerli metallerin doğrudan asit liçi yöntemiyle kazanımı deneysel olarak incelenmiş ve sonuçları irdelenmiştir.

Kül numunesine ait belirlenen karakteristik özellikler şu şekilde özetlenebilir :

* X-Işını difraktogramlarında yapılan mineralojik incelemelerde kül numunesinin Kuvars, Kireç, Anhidrit, Kahverengi Millerit ve Anhidrit+Melilit kristal fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.

* Yaş metoduyla yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre uçucu kül numunesinin % 23.66 CaO, % 15 SiO₂, % 7.54 Al₂O₃, % 4.02 Fe₂O₃ ve % 1.02 TiO₂ içerdiği tesbit edilmiştir. Numune ayrıca % 2.3 karbon içermektedir.

* Numunenin maksimum tane iriliğinin 300 µm ve yaklaşık % 65 inin -45 µm altında olduğu yapılan yaş elek analizlerinde elde edilmiştir.

Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalarda doğrudan HCl Asit Liçi yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla değerli metallerin çözeltiye alınmasında çözünme verimine etki eden belli başlı parametreler (çözücü konsantrasyonu, karıştırma hızı, çözünme süresi, çözünme sıcaklığı ve katı oranı) denenmiş ve optimum sonuçlar şu şekilde elde edilmiştir :

* Çözünme verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi olan asit miktarı, 100-400 g/lit arasında değişen miktarlarda kullanılmış ve 6 saatlik bir çözüldürme sonunda 300 g/lit lik asit miktarında % 88 lik bir Al, % 78 Fe ve % 95 lik Ti kazanma verimine ulaşılmıştır.

* Sıcaklığın çözünme verimine olan etkisini belirlemek amacıyla 30-110°C arasında değişen sıcaklıklarda liç deneyleri yapılmış ve optimum sonuçlar 90°C lik sıcaklıkta elde edilmiştir. Bunun üzerindeki sıcaklık değerinde metal kazanma veriminde değişme olmamıştır.

* 500-1000-1500 D/d lık karıştırma hızlarında yapılan çözdürme deneylerinde karıştırma hızının artmasıyla çözünme veriminin de arttığı gözlenmiştir. 1500 D/d lık karıştırma hızında % 95 lik Al, % 85 lik Fe ve % 97 lik Ti metal kazanma verimine ulaşılmıştır.

* Pülpte katı oranı liç işlemini etkileyen bir diğer parametredir ve katı oranının artmasıyla çözünme veriminde önemli oranda azalma olmaktadır. % 5-10-15 ve 20 katı oranlarında yapılan deneylerde % 5 lik katı oranında en yüksek metal kazanma verimine ulaşılmıştır. Bu şartlarda alüminyum kazanma verimi % 97, demir kazanma verimi % 89 ve titanyum kazanma verimi % 98 olarak elde edilmiştir.

* Çözdürme süresinin metal kazanma verimine olan etkisi 1-10 saat arasında yapılan liç deneylerinde en iyi sonuçlar Al ve Ti için 6, Fe için ise 8 saatlik bir çözdürme süresinde elde edilmiştir. Bu şartlarda Al %97, Fe %95 ve Ti %98 metal kazanma verimine ulaşılmıştır.

* Tesbit edilen deneysel en iyi çalışma koşulları şu şekildedir :

Sıcaklık : 90°C

Asit Miktarı : 300 g/lt

Karıştırma Hızı : 1500 D/d

Pülpte Katı Oranı : % 5

Çözeltme süresi : Al ve Ti için 6, Fe için 8 saat

ÖZET

Termik santrallerdeki elektrik üretme kazanlarındaki kömürün yakılması sonucu açığa çıkan kül, endüstri tarafından üretilen belli başlı artıklardan birisidir. Bu malzemeler (curuf, taban külü ve uçucu kül) önemli uzaklaştırma problemi ve masraf oluştururlar. Fakat bu atıklar aynı zamanda potansiyel olarak faydalı malzelerdir.

Uçucu kül taneleri kömürdeki inorganik maddelerden oluşur. Bunlar 1-150 µm tane iriliğinde, düzensiz şekilli taneler halindedirler ve toplam külün % 80 ini oluştururlar. Uçucu külün özellikleri ;

- Kömürün özelliklerine,
- Yanma sürecindeki şartlara,
- Toz tutma ünitelerinin hassasiyetine ve
- Taşıma ve stoklama şartlarına bağlıdır.

Bu çalışma Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu külünün karakteristik özelliklerinin (fiziksel, kimyasal ve mineralojik) belirlenmesi ve doğrudan asit liçi (DAL) yöntemiyle alüminyum, demir ve titanyum değerlerinin kazanılmasını amaçlamaktadır. Güçlü bir asit olan Hidroklorik asit (HCl) ile yapılan asit liçi deneylerinde şu 5 temel faktörlerin çözünmeye olan etkileri araştırılmıştır :

- Asit konsantrasyonu (g/lt),
- Sıcaklık (°C),
- Karıştırma hızı (Devir/dakika),
- Pülpte katı oranı (%) ve
- Çözündürme süresi (saat).

Laboratuvarda yapılan liç deneylerinde en iyi sonuçlar 300 g/lt asit miktarında ; 90 °C sıcaklık, 1500 D/d karıştırma hızı, Al ve Ti için 6, Fe için ise 8 saatlik çözündürme süresi ve % 5 katı oranında elde edilmiştir. Bu şartlarda alüminyum % 97, demir % 95 ve titanyum % 98 metal kazanma verimi ile elde edilmiştir.

SUMMARY

Ash from combustion of coal in electric utility boilers of Power Plants is one of the major wastes produced by industry. These materials (slag, bottom ash, and fly ash) present significant disposal problems and expense, but they are also potentially useful materials.

Fly ash particles are formed from inorganic materials in the coal. The properties of fly ash are dependent on :

- the composition of the coal,
- conditions during combustion,
- efficiency of emission control devices and
- storage and handling of the byproducts.

This study has been made of resource recovery of aluminum, iron and titanium values by direct acid leaching (DAL) of coal fly ash from Afşin-Elbistan Power Plant. There are five important factors to be applied as follows :

- Acid concentration (g/l)
- Temperature (C°),
- Agitation of the fluid (rpm)
- Solid rate (%)
- Extraction time (hour)

The best results are acid concentration : 300 g/l, temperature : 90C° , mixing rate : 5% solids, extraction time : 6 hours for Al and Ti, 8 hours for Fe.

Using best conditions 97% Al, 95% Fe and 98% Ti extraction recoveries were obtained.

KAYNAKLAR

BURNET G., Murtha M.J., 1978, "Recovery of minerals from coal fly ash" . Quarterly Technical Progress Report. . Division of Fossil Energy.

BURNET G., 1986, "Newer Technologies for Resource Recovery from Coal Combustion Solid Wastes" Energy Vol.11, No.11/12 pp. 1363-1375.

BUTLER W.B., MEARING M.A., 1986, "Fly Ash Benefication and Utilization in Theory and in Practise" Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 65. Materials Research Society.

DIAMOND S., 1984, "The utilization of fly ash" Cement and Concrete Research . Vol.14, pp.455-462.

EL-MOGAZI D., LISK D.J., WEINSTEIN L.H., 1978, "A Review of Physical, Chemical, and Biological Properties of Fly Ash and Effects on Agricultural Ecosystems" The Science of the Total Environment, 74 , 1-37. Amsterdam-Netherlands.

ELY F.G., and BARNHART D.H., 1963, " Coal Ash-Its Effect on Boiler Availability " In: Chemistry of Coal Utilization, H.H. Lowry (Ed.), John Waley and Sons Inc., London, pp 820-892.

ERDOĞ AN T., AR G., KOMAN K., 1982, "Türkiye Uçucu Külleri (Üretim, Kullanım Alanları, Sorunlar, Öneriler)" . AEL Mües. Müd. Çalışma Grubu Raporu.

FABER J.H., 1978, "Disposal and Potential Uses of Fly Ash". Coal Technology.

FERRAILOLO G., ZILLI M. and CONVERTI A., 1990, "Fly Ash Disposal and Utilization". J. Chem. Tech. Biotechnol. ,47, 281-305.

FISCHER G.L., and NATUSCH D.F.S., 1979 " Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Fly Ash" Anal. Methods Coal Prod., Vol.3, 489-541.

HARRIS W.R., SLIBERMAN D., 1983, "Time-Dependent Leaching of Coal Fly Ash by Chelating Agents" Env. Sci. Tech.,17,139-145.

HEMMINGS R.T., BERRY E.E., 1987 "Speciation in Size and Density Fractioned Fly Ash II : Characterization of a Low-Calcium, High-Iron Fly Ash", Proc.Mat.Res. Soc. Symp., Vol.86, pp 81-98.

HULET L.D., WEINBERGER A.L., NORTHCUTT K.J. and FERGUSON M.. (1980). "Chemical species in Fly Ash from coal-burning Power Plants " Science, 210 . 1356-1358.

HUNT F., 1984, "Practical Implications of Sampling Pulverized Fuel Ash from

Power Station Systems", Ash. Tech. "84" 2nd Int. Conf. on Ash Tech. and Marketing, London, pp.73-77.

KELMERS A.D., ve arkadaşları, 1982 " Chemistry of the Direct Acid Leach, and Pressure Digestion-Acid Leach Methods for the Recovery of Aluminum from Fly Ash " Resources and Conservation, 9, 271.

KÖSEBALABAN A., 1994 "Kömür" Türkiye Enerji Bülteni (Energy Bulletin of Turkey),1994, Cilt 1, Sayı 1, p. 27-30. TBMMOB-Jeoloji Müh. Odası Yayını.

LOWRY H.H., 1963 , Chemistry of Coal Utilization, John Wiley and Sons Inc., New York, 1846 p.

Mc CALN J.D., ve arkadaşları, 1984, " Electrostatic Enhancement of Fabric Filter Performance", Env. Sci. Tech., Vol. 18, pp. 635-641.

Mc CARTY G.J., 1988 " X-Ray Diffraction for Studying the Minerology of Fly Ash" Math. Res. Soc. Symp. Vol.113, 75-89.

MINNICK L.j., 1985 " New Oppurtunities of Fly Ash as a Usable Resourge ", Proc. of the 7th Int. Ash Utility Symp., National Ash Association, Orlando, Fla.

MODY V., and JACHETE R., 1988, Dust Control Handbook, Noyes Data Corp, USA, 199p.

ÖNAL G., ATEŞOK G., Cevher Hazırlama El Kitabı, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını.

ÖNAL G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Yayını. Maçka-İstanbul.

PEDLOW J.W., 1973 " Cenospheres" Proc. 3rd Int.Ash Util. Symp., pp 33-44.

PİŞKİN S., KURAL O., 1989 "Kömürlerin Yakma Teknikleri " KÖMÜR. Sayfa 537-629.

PIRANI M., SMITH W.D., "Utilization of fly ash" Fuel XXVIII , pp.73-76.

SEELEY F.G., FELKER L.K, and KELMERS A.D., 1981 " Dissolution and Recovery of Alumina and Other Metals for Calsinter Process Product ", Symp. on General Hydrometallurgy, Proceedings of the 110th American Inst. of Min. Engineers Meeting, Chigago, III.

STORCh O., 1979, Industrial Seperators for Gas Cleaning, Elsevier, 383 p.

TEIXERA E.C., SAMAMA J., BRUN A., 1992 " Study of Different Leaching Methods of Metallic Elements from Coal Fly Ash" Environmental Technology Vol.13 pp. 1187-1192.

TETRA TECH, INC., 1983 " Physical and Chemical Characterization of Utility Solid Wastes " Vol. 1 EPRI Rep. EA-3236.

WADGE A., HUTTON M., 1987, "The leachability and chemical speciation of selected trace elements in fly ash from coal combustion and refuse incineration" Environmental Pollution 48 , 85-99 England.

WATSON, J.S.,1985, " Potential Resources from Coal Fly Ash ". Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.43 pp. 151-161.

WHITE H.J., 1963 , Industrial Electrostatic Precipitation, Pergamon Press, Oxford, 375p.

ZOUTOMOU E.K., 1986, " Kinetics of aluminum extraction from fly ash by hydrochloric acid ", Erzmetall 39 Nr. 10 , p.493-500.



TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1994-1995 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yard. Doç. Dr. Oktay BAYAT yönetiminde YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Beni bu konuda çalışmaya yönlendiren, çalışmalarımın her aşamasında yapıcı eleştirileri ve yardımlarıyla büyük katkıları gördüğüm Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Oktay BAYAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü kolaylığı ve uygun çalışma ortamını sağlayan Maden Müh. Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a teşekkür ederim.

Ayrıca, laboratuvar çalışmalarım sırasında kimyasal analizleri büyük bir titizlik ve sabırla gerçekleştiren Jeokimya Lab. Teknisyeni Sayın Ertuğrul ÇANAKÇI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Erzurum'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi burada tamamladım. 1984 yılında Erzurum Lisesinden mezun oldum ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdim. Buradan 1989 yılında Maden Mühendisi olarak mezun oldum. 1991 yılında askerlik görevimi kısa dönem er olarak tamamladım. 1992 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladım ve 1993 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi oldum. Halen bu görevi sürdürmekteyim.

1993
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ