



TUNÇBİLEK TERMİK SANTRALİ UÇUCU KÜLÜNDEN METALLERİN LIÇ EDİLEBİLİRLİĞİ VE Ni KAZANIMI

Haldun KURAMA*

ÖZET

Bu çalışmada, yanma işlemi sırasında elektrostatik filtrelerde toplanan Tunçbilek termik santralî uçucu külü içerisindeki metal iyonlarının (Ni, Cd, Mn) potansiyel hareketliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde farklı pH değerlerinde gerçekleştirilen kolon liçi deneyleri sonunda, pH'taki azalmanın uçucu külden metal iyonlarının çözündürülmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ni ve Cd, çözündürme işleminin ilk 20 dakikası içerisinde hızlı bir şekilde katı partikülden uzaklaşırken, matriks elementi olan Mn için çözünme hızı daha yavaştır. Çalışmanın ikinci kısmında kül partikül içerisinde farklı kimyasal bileşimlerde bulunan Ni'in kazanımı için üç liç yöntemi uygulanmıştır. Liç testleri sonrası Ni %72 oranında katı partikülden çözeltiliye geçirilebilmektedir.

1. GİRİŞ

İnsan aktivitelerinden kaynaklanan toksik metal element hareketliği üzerindeki çalışmalar genellikle demir-dışı metal endüstrileri üzerinde yoğunlaşırken, yüksek ısı aktiviteleri için ilgi istenilenden daha azdır (Wadge ve arkadaşları, 1986). Oysa ki yanma sonucu oluşan atık malzemeler, kirletici parametrelerin atmosferik depolanmasında ana kaynaklardan biridir. Bu malzemelerin atmosfer içerisinde

* Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Türkiye

dağılması ile biyosferde meydana gelen kirlenme artmaktadır. Örneğin tarih öncesi zamanlarda havadaki Pb konsantrasyonu $0,4 \text{ ng/m}^3$ düzeylerinde iken günümüzde bu oran kırsal kesimler için 10 ng/m^3 , yerleşim bölgelerinde ise $500-1000 \text{ ng/m}^3$ düzeylerine yükselmiştir (Bodog ve arkadaşları, 1996).

Yakıt olarak kömür kullanan termik santraller ve kent çöp yakma üniteleri büyük miktarlarda katı atık üretirler. Özellikle 1970'li yıllarda yağ ve gaz talebinde karşılaşılan sorunlar, gereksinim duyulan enerji miktarının karşılanabilmesi için kömür kullanımına olan ilginin daha da artmasına neden olmuştur. Artan kömür tüketimi ile orantılı olarak yanma sonucunda ortaya çıkan kül malzeme miktarında da bir artış meydana gelmektedir. Yanma esnasında akışkan gaz içerisinde sürüklenerek elektrostatik filtrelerce tutulan uçucu kül, kömür külünün en bilinen tipidir. Uçucu kül temel olarak silika, alümina ve demir, kalsiyum, magnezyum oksitten oluşur (McCarthy ve arkadaşları, 1988). İnce boyutlu ($<250 \mu\text{m}$) bu partiküllerin, atık sahalarında toplanmaları esnasında oldukça uzak mesafelere kadar yayılabilme özellikleri, bu malzemeleri çevresel açıdan daha da önemli hale getirmektedir.

Uçucu küller toksik metaller için önemli bir taşıyıcıdırlar. Yakıcı sistem içerisinde buharlaşan bu metaller kül partikülleri yüzeyine birikerek, partikül ile birlikte taşınmaktadır. Gerek yüzeyde birikme gerekse de kullanılan kömür türüne bağlı olarak matris elementle birlikte bulunabilen zararlı metallerin hareketliliği ve biyolojik toplanabilme kabiliyeti büyük ölçüde elementin kimyasal yapısına ve yanma esnasındaki oksidasyon aşamalarına bağlıdır. Toplam metal içeriği her ne kadar kirlenme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılırsa da, doğal ve antropojenik çevresel değişimler metal iyonlarının davranışı üzerinde etkilidir. Ortam pH'ı, redoks potansiyeli, organik ve inorganik kompleks yapıcı reaktif varlığı, farklı parçacıkların yüzey tarafından adsorbsiyonu gibi dış etkilerin yıkanma, yağmur, yeraltı suyu liçi gibi faktörlerle değişimleri ile hareketli hale geçebilen metal iyonu içeriği oldukça önemlidir. Katı fazın yüzey analizinin gerçekleştirilmesi için, elektron mikroprob x-ray spektroskopisi (EMP), x-ray floresans spektroskopisi (XRF), vs gibi aletli analize dayanan metotlar kullanılabilirse de, bu metotlar toksik metallerinin hareketliliği konusunda yeterli bir bilgi sağlamaz. Uçucu kül ile birlikte eser miktarlarda bulunan metallerin hareketliliğinin belirlenmesinde en etkin yöntem farklı liç çözeltileri ile gerçekleştirilen kademeli liç testleridir (Bodog ve arkadaş., 1977). Literatürde katı madde içerisindeki metal iyonunun özelliğine bağlı olarak bir çok kimyasal liç metodu mevcuttur (Austin ve Newland, 1985; Wadge ve Hutton, 1987; Bodog ve arkadaşları, 1996; Piekos, R., Paslawska, S., 1997).

Ülkemizde üretilen elektriğin büyük bir kısmı termik santrallerden sağlanmaktadır. 1998 yılı itibari ile 11 termik elektrik santrali yılda 13 milyon ton uçucu kül ortaya çıkarmaktadır. Bu büyük miktarın yalnızca % 0,36 sı farklı endüstriler (çoğunlukla çimento sanayii) için katkı malzemesi veya hammadde olarak pazarlanabilirken geri kalan kısım atık toplama alanlarında stoklanmaktadır (Tokyay ve Erdoğan., 1998). Ülkemizdeki çeşitli kömür külleri üzerinde yapılan analiz çalışması sonucunda en çok rastlanılan iz elementler; Ni, Cr, V, W, Zn olarak tespit edilmiştir (Bürküt ve arkadaş., 1991).

İki bölümden oluşan bu çalışmanın ilk kısmında, Tunçbilek termik santrali uçucu külü içerisindeki eser element dağılımı ve belirli metal elementlerinin (Ni, Cr

ve Mn) atmosferik etkilerle oluşturabilecekleri potansiyel kirletme etkisi araştırılmıştır. Kolon - liçi çözündürme testlerinde çözündürücü reaktif olarak 0,5 N asetik asit (CH₃COOH) kullanılmıştır. İkinci kısımda ise uçucu kül içerisinde az miktarlarda bulunmakla birlikte ekonomik bir potansiyel olarak kabul edilebilecek Ni'in asidik ve bazik ortamlarda kazanılması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE METOT

2.1 Malzeme ve Saha Tanımlaması

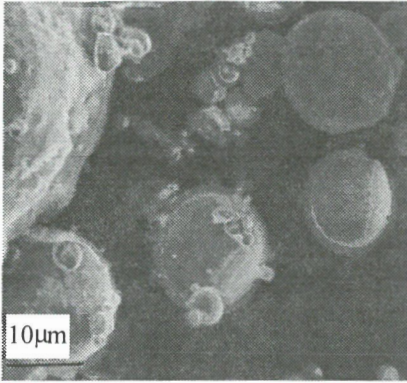
Deneylerde kullanılan uçucu kül , Kütahya Tunçbilek termik santral elektrostatik filtresinde tutulan baca tozlarının toplandığı stok bölümünden temsili olarak kuru formda alınmıştır. Termik santral 5 güç ünitesinden oluşmaktadır. İlk üç ünite de yılda 329 000 ton kömür kullanılarak 453 milyon Kw/s elektrik üretilmektedir. Sonradan eklenen 4. ve 5. ünitelerde ise yılda 2 milyon ton kömür kullanılarak 1 780 milyon Kw/s elektrik üretilmektedir. Toplam olarak bakıldığında yılda 2 329 000 ton kömür elektrik üretmek amacıyla yakılmakta ve yanma sonrası 855 000 ton kömür külü stok sahasında stoklanmaktadır. Yanma sonrası oluşan külün %65'i elektrostatik filtrelerde tutulan uçucu küldür. Stok sahasında toplanan bu büyük miktarın yalnızca %1,36'sı satılmaktadır (E.İ.E.İ., 1999).

Uçucu kül toksik metal içeriğinin ve minerolojik kompozisyonunun belirlenmesi için temsili olarak alınan örnekler üzerinde kimyasal, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve x-ray toz difraktometrisi (XRD) analizleri yapılmıştır. Kimyasal analiz için örnek öncelikle optik spektrografik yarı kantitatif analiz işlemine tabii tutulmuştur. Analiz işlemi sonrası diğer metal elementlerine oranla daha yüksek metal iyon konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenen Ni, Mn ve Cr elementleri ayrıca atomik absorpsiyon spektrometresinde (AAS) analiz edilmiştir. Yarı kantitatif olarak saptanabilen ve seçilen metal elementleri için elde edilen analiz sonuçları Tablo 1 de verilmiştir.

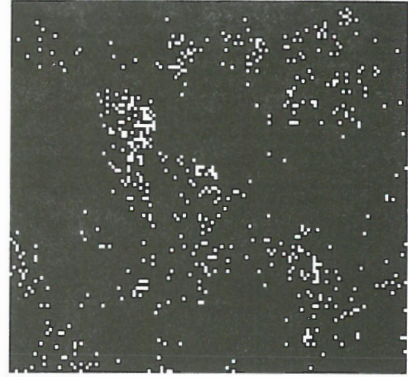
Çizelge 1. Kimyasal analiz sonuçları

	Konsantrasyon mg/100 g					
	Ni	Mn	Cr	Cu	Co	V
Optik Y.K.	150	100	30	15	4	10
AAS	150,90	97.1	28,2	-	-	-

Uçucu kül, kristal kimyasının belirlenmesi için XRD-SEM analizleri yapılmıştır. XRD analiz işlemi sonrası kül örneğin temel olarak alümina silikat camı faz ve kuvars, mullit, magnetit ve hematit kristal faz topluluklarından oluştuğu belirlenmiştir. Genel olarak sodyum, potasyum ve kalsiyum sülfat kristallerinden oluşan senosferler kül partikülün yüzeyinde toplanarak ince boyutlu kömür külünün karakteristik iç yapısını oluştururlar (Şekil 2). Tamamen yuvarlak şekilli bu parçacıklar yanma işlemi esnasında buharlaşma özelliğine sahip bir çok eser elementi de bünyesine alarak, kül partikülün yakıcı sistemi terk etmesinden sonra partikül üzerinde yoğunlaşır.

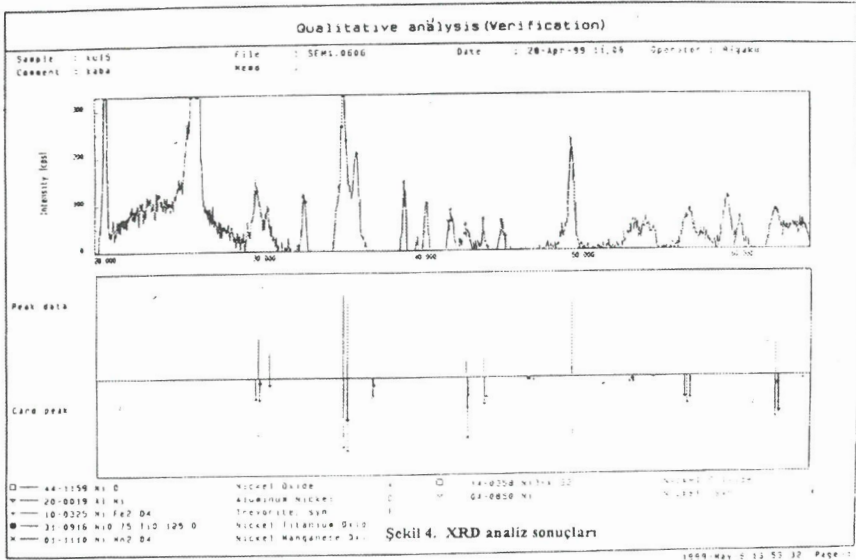


Şekil 2. Uçucu kül içerisindeki senospherler haritası (1280)



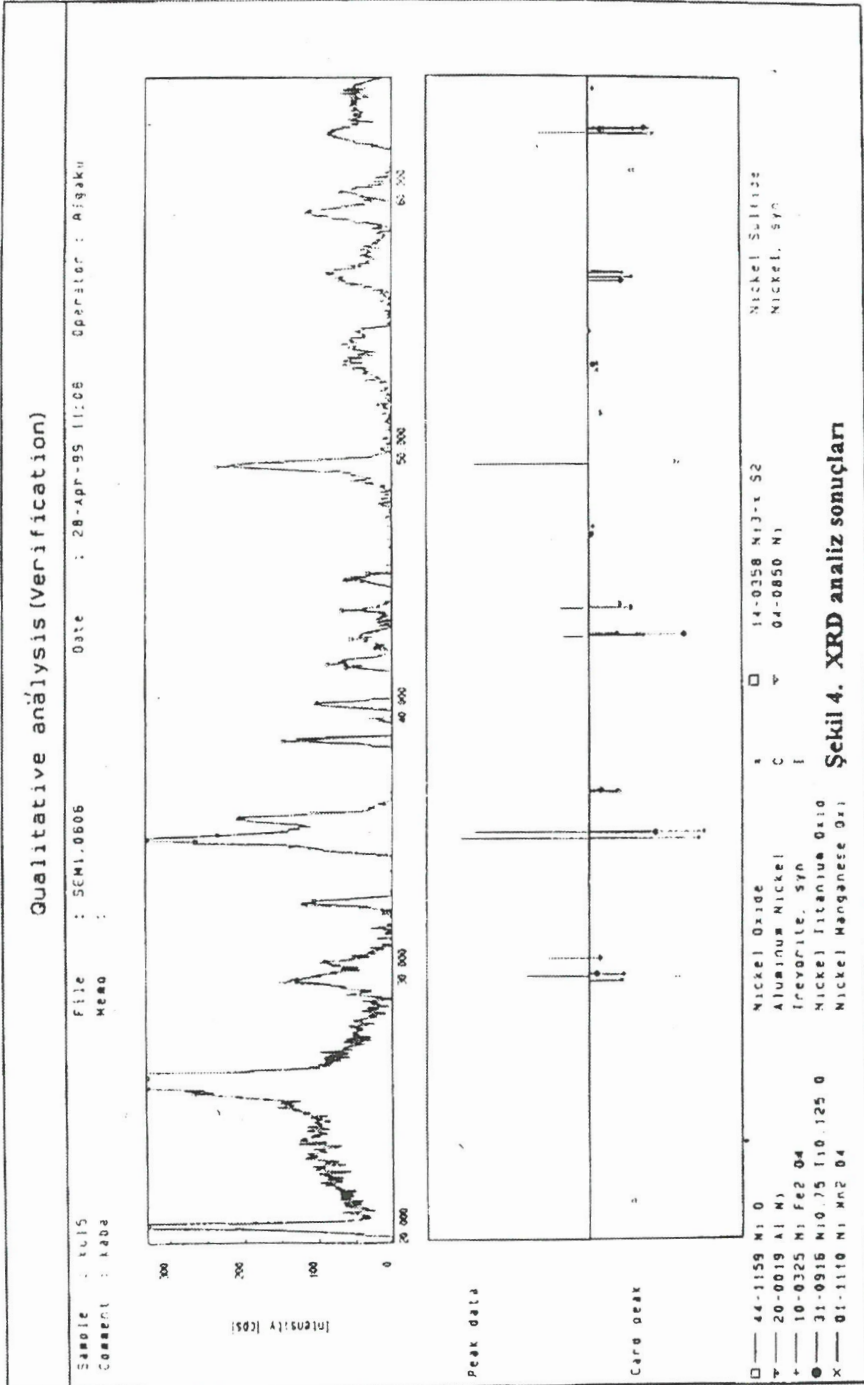
Şekil 3. Ni toplanım büyütme

Kimyasal analiz işlemi sonrası en fazla konsantrasyona sahip eser element olarak saptanan Ni için mikroskop altında belirlenen nikel toplanım haritası Şekil 3 de, XRD faz dağılımı ise Şekil 4'de görülmektedir. Ni için belirlenebilen hakim fazlar nikel oksit (NiO), nikel-titanyum oksit (NiTiO), nikel-manganez oksit (NiMnO₂) ve az miktarda da nikel-sülfür (Ni₃S₂) dür.



Şekil 4. XRD analiz sonuçları

Parçacık boyut dağılımının belirlenmesi için, örnek yaş eleme işlemine tabii tutulmuştur. Kümülatif elek altı eğrisine göre D₅₀ ve D₈₀ boyutu sırasıyla 75 ve 45µm olarak hesaplanmıştır.



2.2. Cihazlar ve Yöntem

2.2.1. Kolon-Liçi

Atmosferik şartlarda seçilen metal iyonlarının (Ni, Mn ve Cr) hareketliğinin belirlenmesi için yapılan kolon liçi deneyleri 1,06 cm çaplı cam kolon içerisinde üst akım beslemesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kolon içerisinde sentetik cam yünü ile desteklenen 1gr uçucu külden oluşan yatak, farklı pH değerlerine sahip 100 ml liç çözeltisi ile 0,5 ml/dak. akış hızında temas ettirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi esnasında çıkış çözeltisi 10 ml'lik cam örnek toplama kapları içerisinde ayrı ayrı toplamış ve işlem sonrası AAS'de analiz edilmiştir. Ekstraksiyon testleri için çözücü olarak 0,5 N asetik asit çözeltisi (CH₃COOH) ve pH kontrol reaktifi olarak da 0,1M sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

2.2.2 Karıştırma liçi ve Ni Ekstaksiyonu

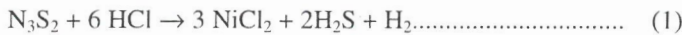
Karıştırma liç testleri için 2 g (daha önce yapılan kolon liçi testleri ile karşılaştırmanın yapılabilmesi için) uçucu kül numunesi 250 ml'lik kapalı bir kapalı bir cam kap içerisine alınmış, kap içerisine 200 ml liç çözeltisi ilave edilerek 20 saat süre ile manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi esnasında her 2 saatte bir 5 ml örnek alınarak karıştırma zamanına bağlı olarak çözeltiliye geçen Ni iyon konsantrasyonu AAS analiz edilerek belirlenmiştir. Kül bünyede kolaylıkla yer değiştirebilir, karbonat, Fe/Mn oksit ve sülfür bileşenlerine bağlı olarak bulunan Ni'in kazanımı için 3 farklı yöntem kullanılmıştır;

1- Yer değiştirebilir / karbonat / Fe/Mn bağlı Ni ekstraksiyonu için; hidroklorik asit (HCl) liçi,

2- Yer değiştirebilir / karbonat / Fe/Mn bağlı ve sülfürlü Ni bileşenleri için 0.2 M NH₃ - 0.05 M NH₃HCO₃ liçi; pH >10 (Caron Prosesi);

3- Sülfürlü Ni bileşenleri için %30'luk 32 ml H₂O₂ - 0,02 M HNO₃ kullanımı ile pH<2 için 85°C de 5 saat karıştırılarak oksidasyon.

Doğada yalnızca meteorlar içerisinde demir ve kobalt ile birlikte bulunan Ni, aynı zamanda bazı silikat ve fosfat kayaçlarında çinko, bakır, krom ile birlikte bulunabilmektedir (Bodog ve arkadaşları, 1995). Nikelin kristalin oksitleri ve N₃S₂ kuvvetli asitlerde çözünürler. Bu çalışmada gerek sülfürlü mineraller üzerindeki çözücü etkisi (Denklemler 1) gerekse de ekonomik olması nedeniyle teknik kalite (%39) HCl çözücü reaktif olarak seçilmiştir (1.Yöntem). Kül partikül yapısındaki sülfürlü nikel bileşiklerinin de çözündürülebilmesinin sağlanması için reaktif miktarı minimum 1ml ile maksimum 2ml sınır değerleri arasında kullanılmıştır. Çözündürme işlemi üzerinde önemli bir parametre olan sıcaklığın, çözünme üzerindeki etkisinin incelenmesi için asit-liçi işlemleri sırasıyla 40°C, 60°C ve 85°C de tekrarlanmıştır.



Ni₃S₂'nin asit tüketimini artıran gang mineralleri veya Fe-oksit matris'le ile birlikte bulunması halinde Fe-oksitin asidik koşullarda bir miktar çözünerek, nikelin benzer çözünme davranışı gösterdiği Cu, Co'tan ayrılmasının zorlaştığı durumlarda Ni kazanımı "Caron prosesi" ile mümkündür (Habashi, 1993). Bu proseste ilgili

metal iyonu (M) sulu amonyak (NH₄OH) çözeltisi ile oksijenin varlığında denklem 1 de verilen şekilde amin kompleksleri oluşturarak çözünürler.



n değeri çözeltideki serbest NH₃ konsantrasyonuna bağlı olarak seçilen bir değişkendir. Amonyum iyonları tek başına metal iyonunu çözmezler. Ancak çözeltiye bir miktar amonyum karbonat çözeltisi eklenmesi halinde ortak iyon etkisi ile amonyak iyonlaşması engelleneceğinden çözünme artacaktır. İşlem esnasında amin komplekslerinin oluşum için istenilen oksijen, karıştırma kabının dip kısmından peristaltik pompa ile hava verilerek sağlanmıştır.

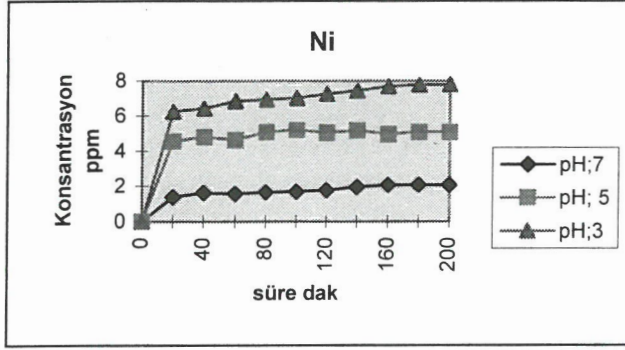
Yer değiştirebilir / karbonat / Fe/Mn bağlı Ni bileşiklerinin çözündürülmesinden sonra arta kalan katı fazdaki N₃S₂ çözündürülmesi için uygulanabilir bir başka proses oksidasyon işlemidir. 0,02 M HNO₃ pH kontrol reaktifi olarak kullanılırken, H₂O₂ oksitleyici olarak kullanılır (3. Yöntem).

Kimyasal ve fiziksel analizler için Cam Scan S4 taramalı elektron mikroskobu, Rigaku Ring 2000 serisi x-ray difraktometresi ve Perkin-Elmer 1100 atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılmıştır. Liç testlerinde kullanılan tüm reaktifler distile su kullanılarak hazırlanmıştır. Çözündürme işlemi sonrası elde edilen örnek çözeltiler AAS analiz öncesi 0,02 N HNO₃ çözeltisi ile pH 2'nin altına indirilmiştir.

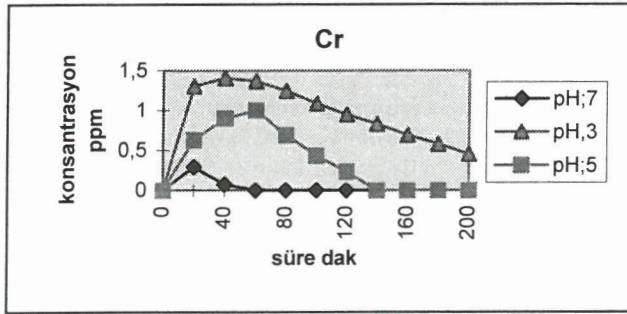
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Kolon Liç

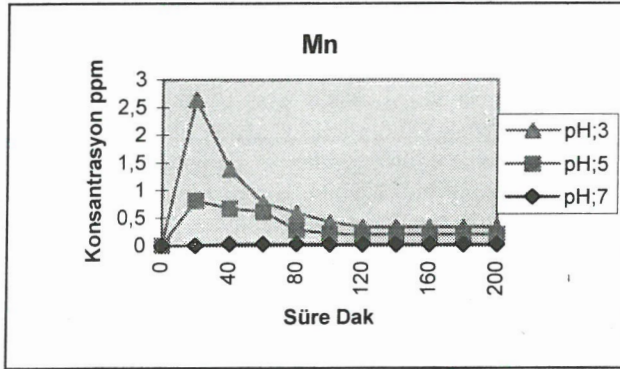
pH : 3, 5 ve 7 değerleri için hazırlanan asetik asit çözeltileri ile liç işlemi sonrası elde edilen sonuçlar şekil 5, 6 ve 7 de sunulmuştur. Üç metal iyonu için azalan pH değerleri için çözeltiye geçen metal iyonu miktarı artış göstermektedir. 200 dakikalık uçucu kül-asit teması sonrası pH : 3, 5 ve 7 değerleri için elde edilen ortalama çözünme yüzdeleri sırasıyla Ni için, %8.6, %33.17 ve %48.06; Cr için %3.2, %17.2 ve %34.8; ve Mn için %0.2, %3.6 ve %7.6 olarak hesaplanmıştır. En yüksek çözünme pH 3'de Ni için elde edilirken, matriks elementi olan ve ancak kuvvetli asitlerde çözülebilen Mn düşük bir çözünme göstermektedir. Uçucu kül içerisinde genellikle oksitli yapıda bulunan Cr içinde çözünme Ni çözünmesine oranla düşük değerlerdedir.



Şekil 5. Uçucu kül içerisindeki Ni'in zamana ve pH bağlı olarak çözünürlüğü



Şekil 6. Uçucu kül içerisindeki Cr'un zamana ve pH bağlı olarak çözünürlüğü



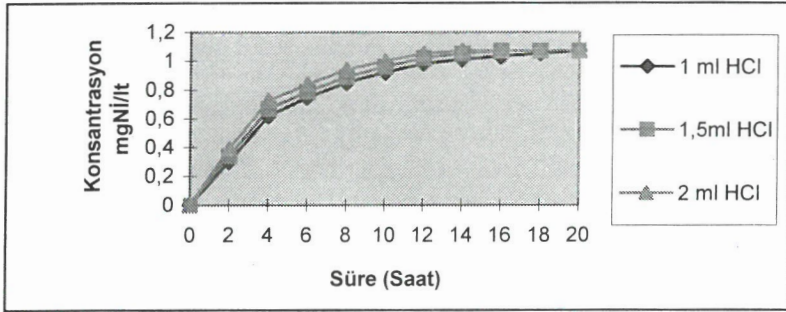
Şekil 7. Uçucu kül içerisindeki Mn'm zamana ve pH bağlı olarak çözünürlüğü

Tüm metal elementleri için çözeltiye geçen metal iyon konsantrasyonu ilk 20 dakika içerisinde doğrusal bir artış göstermektedir. Bu durum kül partikülün yüzeyinde toplanan eser metal elementlerinin zayıf bir asitle liç işlemi sonrası çok kısa bir sürede dış ortama geçebilmesi şeklinde açıklanabilir. 1500°C nin altında buharlaşabilen Ni, Cr yanma esnasında kül partikülün dış kabuğunda toplanırken matris elementi olan Mn için aynı durum geçerli değildir. Yanma esnasında Mn çok az

miktarda buharlaşır. Bu nedenle ekstraksiyon işlemi ancak matrisin çözünmesi ile gerçekleşecektir.

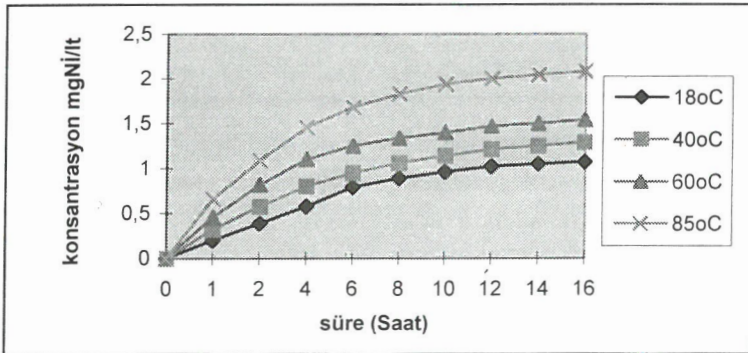
3.2.Karıştırma Liçi

HCl kullanılarak yapılan liç deneylerinde asit konsantrasyonunun çözündürme üzerindeki etkisinin belirlenmesi için 1, 1,5 ve 2ml HCl /200ml çözelti şartlarında çözündürme testleri yapılmıştır (Şekil 8). Asit konsantrasyonu arttıkça çözeltiliye geçen Ni iyon konsantrasyonunda (1.7 mg Ni /lt) bir değişim gözlenmezken, çözünme süresi azalmaktadır. 2 ml HCl kullanımı için çözündürme işlemi 14 saat içerisinde tamamlanırken, 1,5 ml için 16 saat ve 1ml içinde 18 saatte tamamlanmaktadır.



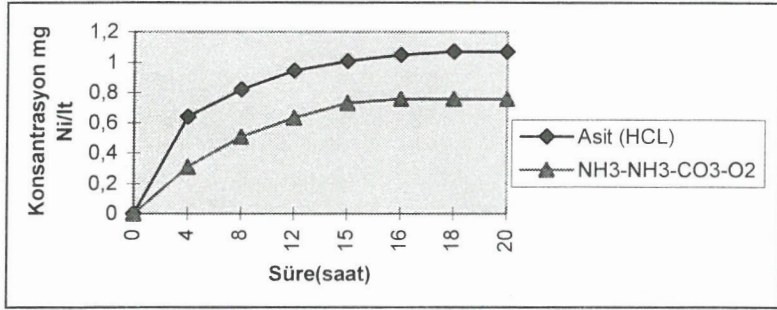
Şekil 8. HCl asit konsantrasyonunun Ni çözünürlüğü üzerindeki etkisi

Çözündürme üzerinde etkili olan bir başka parametrede liç işlem sıcaklığıdır. 1,5 ml HCl kullanımında gerçekleştirilen testler sonucunda, sıcaklık artışına bağlı olarak çözeltiliye geçen Ni miktarında da bir artış tespit edilmiştir (Şekil 9). 40°C, 60°C ve 85°C için 16 saatlik işlem süresi sonunda çözeltiliye geçen Ni konsantrasyonları sırasıyla 1.23, 1.54 ve 2.00 mg/Lt dir.



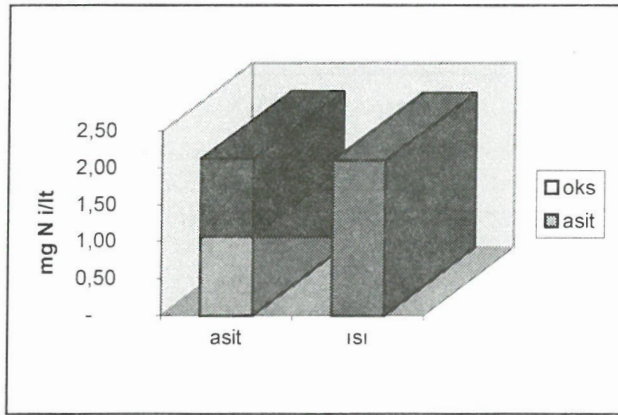
Şekil 9. Farklı sıcaklık değerleri için çözeltiliye geçen Ni miktarı

2. yöntemde tanımlanan şekilde gerçekleştirilen NH₃ liçi ile asit liçi karşılaştırılması Şekil 10 da verilmiştir. 1ml HCl asit ve 0.2 M NH₃'ün çözündürücü reaktif olarak kullanıldığı çalışmalarda, asit liçi için çözeltiliye geçen Ni konsantrasyonu daha yüksektir. NH₃ ile liç işlemi sonrası çözeltiliye geçen maksimum Ni konsantrasyonu 0,76 mg Ni/lt olarak tespit edilmiştir.



Şekil 10. Asit ve bazik ortamda gerçekleştirilen Ni ekstraksiyonu

Sülfürlü nikel bileşiklerinin çözünürlüğünün artırılması amacıyla kademeli olarak gerçekleştirilen (asit liçi + oksidasyon) çözündürme test sonuçları Şekil 11'de sunulmuştur. İlk aşamada HCl kullanımı ile 2 gr uçucu kül için 1,07 mg Ni/lt olarak elde edilen konsantrasyon değeri, oksidasyon işlemi sonucu 1,10 mg Ni/lt bir artışı ile 2,17 mg Ni/lt değerine yükselmektedir..



Şekil 11. Kademeli (asit+ oksidasyon) ve Asit liç (85°C) sonuçlarının karşılaştırılması

Çözündürme üzerindeki oksidasyon etkisinin daha iyi belirlenebilmesi için gerek pH kontrol reaktifi gerekse de sülfürlü bileşenler dışındaki Ni bileşiklerinin çözündürülmesi için HCl kullanımı ve aynı işlem süresi içinde istenilen oksidasyonun sağlanabilmesi amacıyla H_2O_2 'in birlikte kullanımı ile yapılan 16 saatlik liç işlemi sonucunda, çözeltiliye geçen Ni konsantrasyonu 2 mg/lt olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç çözündürme işleminin kademeli olarak yapılması halinde çözeltiliye geçen metal miktarının daha fazla olduğu göstermektedir.

3.3 Değerlendirme

Tunçbilek termik santrali atık sahasına her yıl eklenen yaklaşık 855 000 ton kömür külünün büyük bir bölümünü (555 000 t ve yaklaşık olarak 833 ton Ni) uçucu kül oluşturmaktadır. Uçucu küller toksik metaller için iyi bir taşıyıcıdır. Bu ne-

denle, katı partikülün, farklı özelliklerdeki çözelti ile teması sonrası çözeltiye geçebilen metal iyonlarının yol açabileceği çevre kirliliğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Bu amaçla 0.5 M asetik asit kullanımı ile gerçekleştirilen kolon liç testleri sonucu, Ni'in oldukça hızlı ve çözelti pH'ındaki azalma ile ters orantılı olarak yüksek miktarda (%48) çözeltiye geçtiği tespit edilmiştir. Bir başka yaklaşımla bir yılda atık malzeme içerisinde bulunan toplam 833 ton Ni' in nötral çözelti ile teması sonrası 72 tonu, asidik (pH: 3) bir çözelti içinse 400 tonu çözeltiye geçerek alıcı ortama karışmaktadır. Cr için nispeten daha düşük bir çözünme (%43.8) gözlenirken, Mn için elde edilen çözünme hızı oldukça yavaştır.

Ni kazanımının hedeflendiği karıştırma testleri sonunda ;

- 20°C çözelti sıcaklığında HCl liçi ile %56.7 verimle,
- 85°C çözelti sıcaklığında HCl liçi ile %66.7 verimle,
- 85°C çözelti sıcaklığında kademeli liç (asetik liçi + oksidasyon) işlemi sonrası %72.3 verimle Ni'in kazanılabileceği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bir yılda uçucu kül ile birlikte stok sahasına atılan 833 ton Ni'in 600 ton'unun kazanılması mümkündür. Bununla birlikte, Çözündürmenin tek işlem kademesinde tek bir reaktif kullanımı ile gerçekleştirilmesi halinde dahi reaktif maliyeti, Ni kazanım maliyetinden yaklaşık 10 kat daha pahalıdır. Ancak bu çalışmada çözündürme süresinden çok çözündürülecek maksimum metal miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak çözeltiye geçen Ni'in fiziksel ve kimyasal yöntemlerle (iyon değişimi, elektroliz, solvent ekstraksiyon vs.) çözümlenmesi ile kazanılmasından sonra geri kalan asidik çözeltinin yeniden kullanılabilmesi ile reaktif miktarının azaltılması mümkündür. Böyle bir uygulama ile hem alıcı ortam çevresel kirliliği önlenecek, hem de reaktif maliyetinde önemli oranlarda bir indirim sağlanmış olacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Austin, D.E., Newland, L.W., 1985, **Time -resolving leaching of cadmium and manganese from lignite and incinerator fly ash: Chemosphere.** 14, No.1, 41-51.
- Bodok, I., Polyak, K., Haryanyi, Z.C., Hlavay, J., 1996, **Sequential extraction procedure for the speciation of elements in fly ash sample: Microchemical Journal.** Article No: 0107. 54, 320-330.
- Bodok, I., Polyak, K. Hlavay, J., 1996, **Determination of chemical species in fly ash collected at different sources: Chemical speciation and Bioavailability.** 6 (4), 113-118.
- Bürküt, Y., Kırıkoğlu, S., Suner, F., 1991 **Kömürlerin jeokimyasal özellikleri: Editör : Orhan Kural, Kömür kitabı Bölüm: 5** 117-124.
- E.İ.E.İ., 1999 Kişisel görüşme
- Piekos, R., Paslawska, S., 1997, **Leaching characteristic of floride from coal fly ash:** www Floride-journal.com /98-31-4/314/188html
- Habashi, F. 1993, **A Textbook of Hyrometallurgy: Metallurgie Extractive: Quebec, Enr.Quebec,** 689 p.

- McCarthy, G. J., Johansen, D. M., Steinwand, S. J., Thedchanamoorthy, A., 1988, **X-Ray diffraction analysis of fly ash: Advance in X-Ray Analysis**, Vol. 31, 331-342.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., 1998 **Uçucu Küllerin Karakterizasyonu; TÇMB / ARGE/Y98.3**, 70 p
- Wadge, A., Hutton, M., Peterson, P. J., 1986, **The concentration and partical size relationships of selected trace elements in fly ashes from U.K. coal-fired power plants and refuse incinerator: The Science of the Total Environment**, 54, 13-27.
- Viktor, L.R., Shcherban, A.S., Dworkin, S.R., 1997, **Technology for chemical-metallurgical coal ashutilization: Energy&Fuels**. 11, 761-773
- 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.