

**KÖMÜR KÜLÜ ATIK SAHALARINDAN
OLUŞACAK OLAN AĞIR METAL
KİRLENMESİNİN BELİRLENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

109607

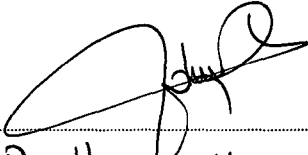
Gül AKAR

Temmuz, 2001

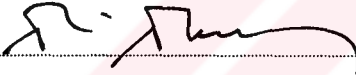
İZMİR

Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

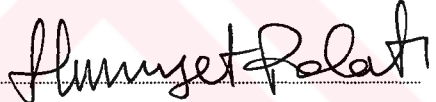
Gül AKAR, tarafından Prof. Dr. Hasan MORDOĞAN yönetiminde hazırlanan “KÖMÜR KÜLÜ ATIK SAHALARINDAN OLUŞACAK OLAN AĞIR METAL KİRLENMESİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Hasan MORDOĞAN

Yönetici


Prof. Dr. Ali AKAR

Jüri Üyesi


Yrd. Doç. HÜRİYET POLAT

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan MORDOĞAN'a teşekkür ederim. Konu ile ilgili bilgilerini benimle paylaşan ve tüm çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mehmet POLAT ve Sayın Prof. Dr. Üner İPEKOĞLU'na sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Analizlerim sırasında bana her türlü yardım ve kolaylığı sağlayan Sayın Prof Dr. Uğur KÖKTÜRK'e, Sayın Uzman Hatice YILMAZ'a, Sayın Kimyager M. Emin SOLAK, Sayın Kimyager Necmettin AYÇELİK ve Sayın Kim. Tek. Fatih TURAN'a teşekkür ederim.

Deneyleerin yapılması sırasında her zaman yanımda olan ve çalışmalar süresince maddi ve manevi destek sağlayan başta Sayın Araş. Gör. Erkan GÜLER olmak üzere, Uzm. Dr. Abdullah SEYRANKAYA, Araş. Gör. Doğan KARAKUŞ ve Araş. Gör. Sezai ŞEN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımız süresince İsrail Ben-Gurion Üniversitesi ile yapmış olduğumuz ortak proje kapsamında İsrail'e gitmemizde büyük yardımları olan Sayın Prof. Dr. Halil KÖSE'ye, bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Mevlüt KEMAL'e ve Sayın Doç. Dr. Turgay ONARGAN'a, İsrail'de olduğumuz sürece çalışmalarımızı sürdürürken yardımcı olan Sayın Yard. Doç. Dr. Hürriyet POLAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm çalışmalarım boyunca bana sabır gösteren ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürü borç bilirim.

31.07.2001

Gül AKAR

ÖZET

Türkiye'deki Termik santrallerde yaygın olarak linyitler kullanılmaktadır. Kömürün oluşumu sırasında B, Cr, Cu, Ni, Mo, S, V gibi pek çok elementi yapısında topladığı bilinmektedir. Yakıldığında bu elementler külde yoğunlaşabilir. Bu çalışmada Ege Bölgesi'nde bulunan Soma, Yatağan, Kemerköy, Yeniköy kömür yakan termik santrallerinden üretilen ağır metallerin neden olduğu çevresel kirlilik saptanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda kül sahalarından alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve TCLP, ASTM, CEN yöntemleri kullanılarak küllerin zehirlilik potansiyelleri tespit edilmiştir. Laboratuvar koşullarında bombada kömürün yanması sonucunda ortaya çıkan gaz fazın içerdiği toksik elementler saptanmıştır. Yüksek sıcaklık ve alkali ortamda oluştuğu bilinen Cr^{6+} 'nın termik santral küllerindeki varlığı ve sulu ortamda Cr^{3+} 'ün oksidasyonu incelenmiştir.

ABSTRACT

Lignite's are utilized predominantly in the power plants in Turkey. Coal is known to concentrate many elements such as B, Cr, Cu, Ni, Mo, S, V, etc. entrained in its structure during the coalification process. When burnt, further enrichment of these elements occurs in the ash. Distribution of the elements within the ash structure is different. The amounts of fly ash produced are about 15 million tons in Turkey. In this study, heavy metal pollution probability resulted from power stations named Soma, Yatağan, Kemerköy and Yeniköy, which are located at Ege Region was investigated. After the determination of physical and chemical characterizations of the samples, the toxicity potential of the fly ashes and the toxic element components in the coal combustion gases were researched by using TCLP, ASTM, CEN methods. The toxic elements that the gas phase – which came out with the burning of coal- contain were found in the bomb under the laboratory conditions. The existing of the Cr^{6+} which is known that it took form in high temperature and alkali conditions in the power plant ashes and the oxidation of the Cr^{3+} in the liquid environment, were examined.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii

Bölüm Bir **GİRİŞ VE AMAÇ**

Bölüm İki **KÖMÜR KÜLÜ VE KÖMÜR YAKAN** **TERMİK SANTRALLER**

2.1. Kömür ve Yanma Sonucu Oluşan Atıklar	2
2.1.1. Kömür İçindeki İz Elementler ve Yanma Sırasındaki Davranışları	3
2.1.2. Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Küller	11
2.1.2.1. Küllerin Özellikleri	11

2.1.2.1.1. Uçucu Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	12
2.1.2.1.2. Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği	13
2.1.2.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları	14
2.1.2.4. Uçucu Küllerin Çevresel Etkileri	16
2.2. Türkiye'deki Kömür Yakan Termik Santraller	17
2.2.1. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Linyitin Yeri	18
2.2.2. Soma Termik Santrali	21
2.2.3. Yatağan Termik Santrali	23
2.2.3. Yeniköy Termik Santrali	25
2.2.4. Kemerköy Termik Santrali	27

Bölüm Üç

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme	29
3.1.1. Tane Boyut Dağılımı	30
3.1.2. Mineralojik Yapı	33
3.1.3. Kimyasal Kompozisyon	33
3.2. Yöntem	34
3.2.1. Kimyasal Analiz Yöntemleri	36
3.2.2. Mineralojik Analiz Yöntemleri	36
3.3. Test Yöntemleri	37
3.3.1. Adyabatik Bomba Testleri	37
3.3.2. Zehirlilik Testleri	38
3.3.2.1. Toksik Özellik Liç Prosedürü (EPA-TCLP 1311)	39
3.3.2.2. CEN/TC 292/WG2	39
3.3.2.3. Metot-A Ekstraksiyon Prosedürü (ASTM American Society of Testing and Materials)	40
3.3.2.4. Sulu Çözeltilerden Cr ⁶⁺ Tayini	41

Bölüm Dört
BULGULAR VE İRDELEME

4.1. Kömür-Küllerin ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimlerinin Saptanması.....	42
4.1.1. Soma Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri.....	43
4.1.2. Yatağan Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri.....	46
4.1.3. Kemerköy Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri.....	49
4.1.4. Yeniköy Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri.....	52
4.2. Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metallerin Tespiti	55
4.2.1. Soma Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları.....	56
4.2.2. Yatağan Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları.....	60
4.2.3. Kemerköy Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları.....	64
4.2.4. Yeniköy Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları.....	68
4.3. Cr ⁶⁺ Testleri.....	72

Bölüm Beş
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kömür Yakan Termik Santrallerde Kazandan Çıkan Ürünlerin Dağılımı	7
Şekil 2.2 Yanma Sırasında ve Sonrasında İz Elementlerin Durumu	8
Şekil 3.1 Soma Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri	31
Şekil 3.2 Yatağan Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri	31
Şekil 3.3 Kemerköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri	32
Şekil 3.4 Yeniköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri	32
Şekil 3.5 Deneyler Sırasında Uygulanacak Yöntemin Akım Şeması	35
Şekil 3.6 Termik Santral Kömür Numunelerinin Analizlere Hazırlanması Deney Akım Şeması	38
Şekil 4.1 Tane Boyut Aralığına Göre Soma Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri	43
Şekil 4.2 Tane Boyut Aralığına Göre Soma Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri	45
Şekil 4.3 Tane Boyut Aralığına Göre Yatağan Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri	46
Şekil 4.4 Tane Boyut Aralığına Göre Yatağan Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri	48
Şekil 4.5 Tane Boyut Aralığına Göre Kemerköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri	49

Şekil 4.6 Tane Boyut Aralığına Göre Kemerköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri.....	50
Şekil 4.7 Tane Boyut Aralığına Göre Yeniköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri	52
Şekil 4.8 Tane Boyut Aralığına Göre Yeniköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri.....	53
Şekil 4.9 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri	56
Şekil 4.10 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri	57
Şekil 4.11 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri.....	58
Şekil 4.12 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri.....	60
Şekil 4.13 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri	61
Şekil 4.14 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri.....	62
Şekil 4.15 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri.....	64
Şekil 4.16 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri.....	65
Şekil 4.17 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri	66
Şekil 4.18 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yeniköy Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri.....	68
Şekil 4.19 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yeniköy Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri.....	69
Şekil 4.20 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri	70
Şekil 4.21 Küllerden Zamana Bağlı Olarak Cr^{6+} Çözünmesi.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 İz Elementlerin Çevresel İlgilerine Göre Gruplandırılması.....	6
Çizelge 2.2 Elementlerin Sınıflarına Göre Dağılımı	9
Çizelge 2.3 Küllerin Cinslerine Bağlı Olarak Elementlerin Sınıflandırılması	9
Çizelge 2.4 Grup III Elementlerinin Buharlaştırma Yüzdeleri.....	10
Çizelge 2.5 TS 639’da Belirtilen Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri.....	14
Çizelge 2.6 Türkiye Linyit Rezervleri	18
Çizelge 2.7 Türkiye’nin Linyit Kimliği	19
Çizelge 2.8 Türkiye’de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri	19
Çizelge 2.9 Ege Bölgesi Termik Santrallerinin Tasarlandığı Kömür Özellikleri.....	20
Çizelge 3.1 Deneylerde Kullanılan Kömür ve Kül Numunelerinin Nominal Elek Altı Değerleri	30
Çizelge 3.2 XRD Analiz Sonuçları.....	33
Çizelge 3.3 Ana Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu	34
Çizelge 4.1 Yöntemlerin Element Derişimlerine Olan Etkisi	76

BÖLÜM BİR

GİRİŞ VE AMAÇ

Linyitle çalışan termik santraller sadece gaz emisyonları ile değil ayrıca katı atıkları (uçucu küller ve curuf) ile de önemli çevresel problemler oluşturabilirler. Birçok toksik element içerdikleri bilinen uçucu küller güvenli yöntemlerle bertaraf edilmelidir (Egemen ve Yurteri, 1994). Yanma artığı olan bu küller genellikle geniş hacimli havuzlar veya düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Bütün bertaraf yöntemlerinde, küllerin su ile teması söz konusudur. Çeşitli kül liçi deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre, uçucu küllerde bulunan toksik eser elementler, külün suyla teması sonucu suya geçebilmektedir (Eisenberg vd., 1986). Bu bağlamda uçucu küllerde bulunan bazı eser, elementler yüksek çözünürlükleri nedeniyle, olumsuz çevresel etkiler yaratma potansiyeline sahiptir.

Bu proje kapsamında kullanılmak üzere ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olan ve düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan Soma Termik Santrali (Soma B-6x165 MW), Yatağan Termik Santrali (3x210 MW), Yeniköy Termik Santrali (2x210 MW), ve Kemerköy Termik Santrallerinden (3x210 MW) kül ve kömür örnekleri alınmıştır. Sırasıyla; yıllık kömür ihtiyaçları 7.2 milyon ton , 5.4 milyon ton, 3.7 milyon ton, 5.7 milyon ton olan bu santrallerde yaklaşık olarak günde 60.250 ton kömür yakılmakta ve atık depolama sahalarına günde 25.000 ton ve yılda 10 milyon tona varan kül atılmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmanın amacında, termik santrallerden alınan kömür ve kül örneklerinin fiziksel-kimyasal karakterizasyon çalışmaları, toksik karakteristiklerini belirlemek üzere ASTM, TCLP, CEN gibi liç yöntemleri kullanılarak toksik testler yapılmış ve Ege bölgesinde bulunan ve kömürle çalışan bu santrallerden kaynaklanan ağır metal kirlenmesi saptanmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

KÖMÜR KÜLÜ VE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLAR

2.1. Kömür ve Yanma Sonucu Oluşan Atıklar

Kömür; havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, %55 ile %95 arasında , serbest veya bileşim halinde karbon ihtiva eden, katı organik kökenli kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. (Nakoman, 1971)

Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya verdikleri katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek atmosferin kirlenmesinde gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol alırlar. Yetmişli yıllarda termik santrallerin üretimini arttırmak amacıyla yeni tekniklerin uygulanması, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi olanaklarını arttırmış ve yanma sonucunda da düşük kaliteli linyit kömürlerinin oluşturduğu gaz ve toz emisyonları ile büyük miktardaki katı atıklar (uçucu ve taban külü, curuf ve baca gazı) meydana gelmiştir (Baba, 2000).

Curuf olarak tanımlanan iri kül taneleri 100 µm den daha iri boyutta kazanda yanmaya uğramamış artık maddelerdir. Genel olarak, kazanın çıkışında hemen altında bulunan su ile dolu ve periyodik olarak boşaltılan curuf oluklarına boşaltılır. Curuf katı olarak ya da su içerisinde çöktürülerek taşınır. Curuf/uçucu kül oranı, kömür içerisindeki kül miktarına ve curuf/elektro filtrede tutulan kül oranına bağlıdır.

Bu oran genelde 5/95 ile 20/80 arasında değişmektedir. Ancak bu oran tam olarak kesin değildir. (Moulton, 1974; Seals, 1977; Usmen, 1978)

Geri kalan katı maddeler ise uçucu kül ve taban külü olarak tanımlanırlar. Uçucu küller 10-200 µm çapa sahip, camsı yapıda ve çoğunlukla küresel tanelerdir. Bunlar kazanı hava akımı ile terk ederler ve bacadan atılmadan önce elektrostatik veya bez filtrelerde tutulur. Çok ince uçucu kül tanelerinin bir kısmı da baca gazı ile atmosfere salınırlar. Taban külleri ise uçucu küllerden daha büyük ve ağır, yerçekimi ile kazan tabanına çökelen küllerdir.

2.1.1. Kömür İçindeki İz Elementler ve Yanma Sırasındaki Davranışları

Termik santrallerde toz kömürün yanması sırasında kömür bünyesinde bulunan karbon, nitrojen ve kükürt oksitlenerek karbon oksit (CO_x), nitrojen oksit (NO_x) ve kükürt oksite (SO_x) dönüşür. Bu dönüşüm sırasında bir miktar da su buharı ortaya çıkmaktadır. Curuflar yakma kazanlarının altında toplanırken, uçucu küller elektro filtrelerde tutulmakta bir kısmı ise baca gazı ile taşınmaktadır. Yapılan çalışmalar iz elementlerin daha çok uçucu küller üzerinde toplanmakta olduğunu göstermiştir. (Davison vd., 1974; Swaine 1977).

Kömür madenciliği, hazırlanması ve kullanımı sırasında, kömür içerisindeki iz elementlerin tanınmış olması son derece önemlidir. Aynı zamanda bu iz elementlerin bilinmesi ve tespiti son zamanlarda giderek çoğalan çevre bilincinin yarattığı bir zorunluluktur.

Kömürler içerisinde, inorganik kökenli, inorganik veya organometalik bileşikler oluşturulan ve ekonomik düzeylerde olduğu takdirde üretilebilen bazı elementler mevcuttur. Kömür tabakalarının yer aldığı sedimanlarda ve bizzat kömür oluşumları içerisinde, ekonomik oranlarda Ge, Ga, U ve Cu bulunduğu bilinmektedir. (Kural, 1991). Bunlardan ayrı olarak kömürün bünyesinde; Be, Mo, V, Zn, W, Co, Cd, As, Pb, Se, Cr gibi kirliliğe sebep olma potansiyeline sahip toksik iz elementler mevcuttur (Zouboulis ve Tzimou-Tsitouridou, 1990; Finkelman, 1996).

☞ *Kömür İz Elementlerinin Genetik Kökeni*

Kömür içeren formasyonların polifasiyes karakterli ve farklı kökenden gelen kayalardan ibaret olmaları, kömürler içerisinde bulunan iz elementlerin dağılımının incelemesine yönelik araştırmaların yapılmasına yol açmıştır. Bu araştırmalar neticesinde aşağıda kısaca değinilen genel değerlendirmelere gidilebilmiştir. (Kural, 1991; Bayram, 1994).

☞ Kömür damarlarının yüksek iz element içerikleri, genellikle, geçirgen kumlu ve siltli sedimanların bulunduğu bölgelerde yer alırlar. Bu husus kesin bir kural olmamakla beraber, çoğu iz elementin bu özelliği gösterdiği belirtilmektedir.

☞ Kömür damarlarının bulunduğu sedimanları kesip, kanal yapan nehir sedimanları içerisinde de iz elementler yoğunlaşmaktadır.

☞ Maksimum iz elementlerin konsantrasyonlarına, genellikle kömür damarlarının ya tavan ya da taban kesimlerinde ulaşılmaktadır. Bu seviyeler ile iç kısımlar arasında zenginleşme oranı %50 ile %70 arasında değişmektedir.

☞ Düşük kül yüzdesine sahip kömürlerde iz element konsantrasyonu çoğunlukla daha yüksek ve daha yayımlıdır. Yüksek kül yüzdesine sahip kömürlerde, özellikle Ge için yüksek değerler elde edilmiş olup bu küllerde Fe yüzdesi de genellikle yüksek olarak bulunmuştur.

☞ Belirli bir kömür tipine özgü iz element parajenezi, yapılan çalışmalarda tespit edilmemiş; ancak, bazı elementlerin lineer davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca, kömür içeren sedimanların ve bölge jeolojik yapısının, iz element parajenezi açısından bir korelasyonu da söz konusu değildir. Ancak bölge genelinde etkili olan magmatik, volkanik ve metamorfik kayaların, dolaylı olarak kömür içermesinde ya da kömürlü formasyonlarda iz element

konsantrasyonları yaratmaları mümkündür. Özellikle Ge, As, U, Cu ile S; volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içerisinde yüksek düzeylerde tespit edilmiş olup, bu durumunu en çarpıcı örnekleri Rusya, Japonya ile Pasifik kuşağının genç linyitik yataklarında gözlenmiştir. Bazı durumlarda ise, kömür tabakalarının iz element içerikleri o denli yüksek olmaktadır ki, bu oluşumlar ekonomik değeri olan formasyonlardan daha yüksek önem taşıyor hale gelebilirler.

Belirtilen iz element konsantrasyonlarının kömürler ve kömür taşıyan formasyonlar içerisinde yükselmeleri, kömür birikimi ile eş zamanlı (senjenetik) olabildiği gibi, daha sonraki işlevler ile geç zamanlı (epijenetik) olarak da söz konusu olmaktadır. Bu ise, değişen iz element konsantrasyon seviyelerinin ve depolanma şekillerinin farklılıklarını ortaya çıkarmaktadır. İz element sabitleşmesi ise bazı koşullar çerçevesinde olmaktadır. Bu olay, özellikle SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} ve Cl^- gibi anyonlar ile aktive olma ve çözelti halinde absorpsiyon ve redoks reaksiyonları ile gerçekleşir. İz elementlerin kömürlü sedimanlar içerisinde geniş ölçüde konsantre olması da, bu sedimanlar ve formasyonlarda, belirtilen olaylar ile mümkün olur. Sonuç olarak, iz elementler, genelde organometalik bileşikler halinde ya da demir oksitli veya karbonlu maddelere absorbe olmuş olarak görülürler (Kural, 1991).

☞ *Kömürlerde Mevcut Bazı Önemli İz Elementler*

Çeşitli tarihsel evreler boyunca doğal bir cevher olarak kabul edilen kömürün başlıca 66 adet iz elementi içerdiği belirtilmiştir (Swaine, 1990). Bunlardan 24 tanesi çevresel ilginin yoğunlaştığı elementlerdir. Kömürde mevcut bu elementler kendi aralarında, Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi çevresel ilişkilerine bağlı olarak dört grupta toplamıştır.

Çizelge 2.1 İz Elementlerin Çevresel İlgilerine Göre Gruplandırılması

Grup	I	II A	II B	III
Element	As Cd Cr Hg Se	B Cl F Mn Mo Ni Pb	Be Cu P Th U V Zn	Ba Co Sb Sn Ti

Birinci grup olarak adlandırılan elementler kömür içerisinde düşük konsantrasyonlarda bulunmalarına rağmen son derece tehlikeli ve çevresel açıdan zararlı elementler olarak bilinmektedir. Özellikle bunlardan As ve Se kontrol altında olmalıdır. Grup IIA elementleri Mn, Mo, Ni, Pb gibi elementleri içermektedir. Yüksek klorlu kömürler bazı korozyonlara ve atmosferdeki asiditenin artmasına sebep olurlar. Bu yüzden mutlaka miktarları tespit edilmeli ve kontrol altında olmalıdır. Grup II B'de gösterilen ve özellikle uçucu küllerde yüksek konsantrasyonlarda bulunan U ve Th'un radyoaktif etkisi minimize edilmelidir. Grup III olarak adlandırılan elementler ise kömürün bünyesi içerisinde fazla oranda bulunmadıklarında problem yaratacak etkiler doğurabilecekleri beklenmemektedir.

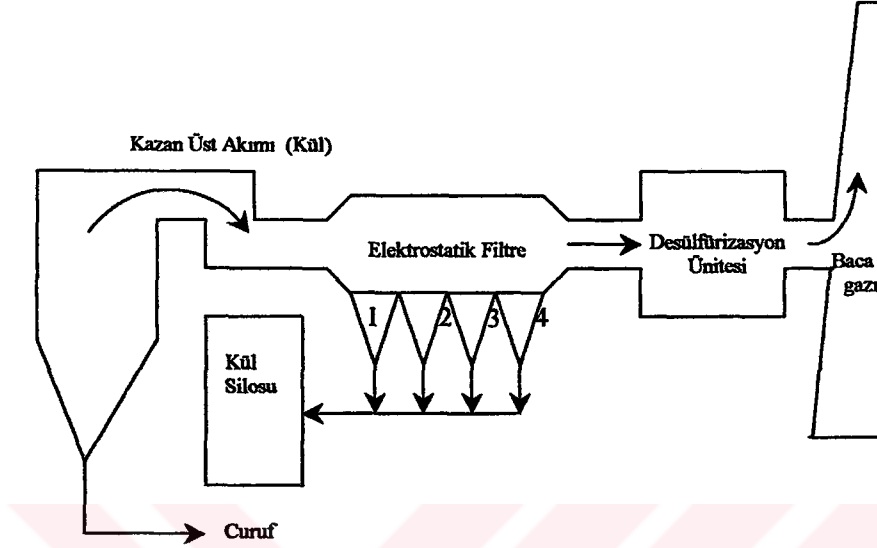
İz elementlerin konsantrasyonları genellikle milyonda bir (ppm, 10^6 $\mu\text{g/g-mg/kg}$) veya milyarda bir (ppb, 10^9 $\mu\text{g/kg-ng/g}$) olarak ifade edilir.

İz elementlerin sağlık üzerine etkileri yıllardan beri incelemektedir. Kömür içinde bulunan bu iz elementler ancak bazı koşullar altında ters etki vermekte ve tehlike oluşturmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda etkisi zararsız halde bulunan iz elementler optimum bir konsantrasyona ulaştığında ve ötesinde toksik etki göstermeye başlarlar. Optimum konsantrasyonun hangi sınırlar içerisinde olduğu ise ancak deneysel çalışmalar sonucunda saptanabilir.

☞ *Kömür İz Elementlerinin Yanma Sırasında Davranışları*

Günümüzde termik santrallerde elektrik üretimi sırasında genellikle pulverize kömürün yakıldığı kuru dip şarjlı kazanlar kullanılmaktadır. Bu tip termik santrallerde kömürü yakmak için genellikle fuel-oil tercih edilmektedir. Yanma

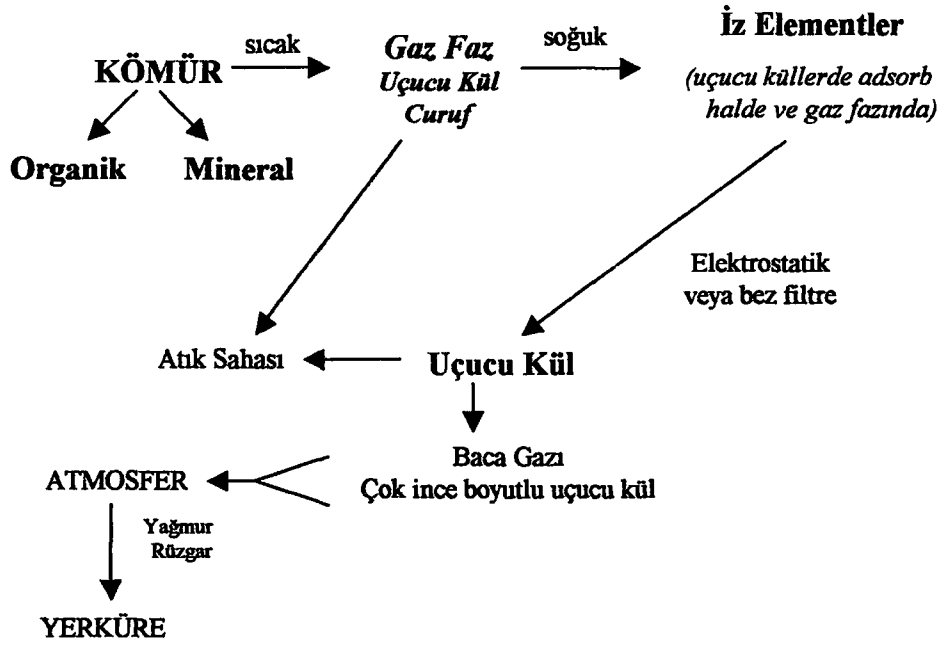
sonrası oluşan uçucu gazlar yüksek verimlerde çalışan elektrostatik filtrelerde tutulmakta ve desülfürizasyon ünitelerinde kireç ile muamele edilmektedir. Şekil 2.1.'de yanma sonrasında oluşan ürünlerin yanma kazanından hangi bölümlere gittikleri gösterilmektedir (Meij, 1995).



Şekil 2.1 Kömür Yakan Termik Santrallerde Kazandan Çıkan Ürünlerin Dağılımı

Kömür yakan termik santrallerde yanma kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900-1400°C arasında gerçekleşir. Kömür parçaları kazan içerisinde ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Mineraller yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar.

Kömür içindeki iz elementlerin yanma sırasında ve sonrasında ne şekilde bir davranış gösterdikleri Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2 Yanma Sırasında ve Sonrasında İz Elementlerin Durumu

Kömür kullanılan termik santrallerde, kömürün bünyesinde olan iz elementlerin ve atmosfere verilen iz element emisyonunu çevresel açıdan son derece önemlidir. Kömürün yanması ile birlikte, kömürün içerisinde bulunan As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sr, Mo, Zn, Ba gibi toksik iz elementler atıklara (curuf; kül ve gaza) transfer olurlar. Bu atıklardan özellikle uçucu küller; kül yapısına sahip oldukları, yüksek ısıya dayandıkları ve yüksek yüzey alanına sahip oldukları için sıvı ve gaz ortamlarda, elementlerin yüzeyde tutunabileceği çok uygun ortamlar oluştururlar (Zouboulis ve Tzimou, 1971; Wangen, L.E., 1978).

Meij (1995) tarafından yapılan gruplandırmada elementler, yanma sırasındaki davranışlarına göre üç gruba ayrılmış, hangi elementin hangi gruba düştüğü, kantitatif bir ölçüte bağlanmıştır. Bu ölçüt zenginleştirme oranı (Z.O.) adını alır ve şu şekilde ifade edilir.

$$ZO = \frac{(\text{Külün element konsantrasyonu})}{\text{Kömürün element Konsantrasyonu}} \times \frac{\text{Kömürün kül içeriği (\%)}}{100}$$

Meij'e göre I. grup elementler yanma sırasında buharlaşmaya uğramazlar ve bu elementlerin zenginleştirme oranları, Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi tüm kül tipleri için aynıdır.

Çizelge 2.2 Elementlerin Sınıflara Göre Dağılımı (Meij, 1995)

Grup	Elementler
I	Al, Ca, Ce, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Mg, Sc, Sm, Si, Sr, Th, Ti
IIc	Ba, Cr, Mn, Na, Rb, Sr
IIb	Be, Co, Cu, Ni, P, U, V, W
IIa	As, Cd, Ge, Mo, Pb, S, Tl, Zn
III	B, Br, C, Cl, F, Hg, I, N, S, Se

II. grup elementleri farklı buharlaşma derecelerine sahip oldukları için kendi aralarında üç grupta toplanırlar. Bu grup elementler yanma boyunca ve yanma sonrasında oluşan ürünlerde (curuf, kül, baca külü) farklı dağılımlarda ve konsantrasyonlarda birikirler. Bu elementler kazan içinde buharlaşırlar ve kazandan elektrostatik filtreye doğru ilerler (Lee, 1982; Clarke 1995). Bu sırada hafif gazın ilerlediği yönde sıcaklık gittikçe düşmektedir (1600°C'den 120°C'ye). Kimyasal kompozisyona bağlı olarak çığ damlacıkları halinde yoğunmalar oluşur ve oluşan bu yoğunmalar yüzey alanı daha büyük olan küçük taneler üzerinde birikirler. Burada yoğunlaşan elementlerin tümü II. grup altında toplanmaktadır. Bunların curuftaki zenginleşme oranları, curuf tanelerinin iri boyutta oluşundan dolayı, 0.7'den küçüktür (Çizelge 2.3'e göre). Aynı sebeplerden dolayı bu elementlerin siloda toplanan uçucu küllerdeki zenginleşme oranı yaklaşık 1 dir.

Çizelge 2.3 Küllerin Cinslerine Bağlı Olarak Elementlerin Sınıflandırılması (Meij, 1995)

Grup	Zenginleştirme Oranı			Özellik
	Curuf	Uçucu Kül (Siloda Toplanan)	Uçucu Kül (Baca gazında)	
I	< 0.7	≈1	≈1	Gaz halinde değildirler.
IIc	< 0.7	≈1	1.3 – 2	Uçucu küller üzerinde yoğunlaşmış veya kül partiküllerinin içerisine girmiş halledirler.
IIb	< 0.7	≈1	2 – 4	
IIa	< 0.7	≈1	>4	
III	<< 1	<1	>4	Oldukça gaz halindedirler.

Filtrelerin son iki silosunda ve alt akımındaki baca gazında mevcut olan daha ince tanelerdeki zenginleştirme oranı ise 1'e yaklaşık ya da 1.3 – 2 arasındadır.

III. grup elementleri, oldukça yüksek buharlaşma gösteren elementlerdir. Bu elementler genelde uçucu küllerde ve baca gazlarında yoğunlaşır. Bu grup elementler, Grup II elementlerinden zenginleştirme oranlarının farklı olmaları ile ayrılmaktadırlar. Zenginleştirme oranı 1'e eşit ve ± 0.3 ise Grup I elementi olarak 1'den küçük ise Grup III elementi olarak tanımlanmaktadır.

Meij (1995), Grup III elementlerinin buharlaşma yüzdelere bağlı olarak kabaca 3 gruba ayrılmıştır.

Çizelge 2.4 Grup III Elementlerinin Buharlaşma Yüzdeleri

Element	Kömür içindeki Konsantrasyon ppm	Uçucu Gaz içindeki Konsantrasyon $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Buharlaşma Derecesi (%)
B	36	1700	± 16
Br	6	400	55 ± 27
Cl	600	60.000	87 ± 15
F	80	7.000	81 ± 31
I	~2.3	~200	$\sim 85 \pm 57$
Hg	0.15	7	40 ± 28
Se	2.3	30	13 ± 10

Bunlardan ilki hemen hemen buharlaşmanın tamamlandığı elementler (Cl, F, I), diğeri yaklaşık %50 buharlaşma olan (B, Br, Hg) ve sonuncusu da düşük buharlaşma olan (As, Se) elementlerinden oluşmaktadır. Ancak bazı durumlarda $B > Br >> Se$ için bu durum yanlış olabilmektedir.

Civa, buharlaşma yüzdesi farklılık gösteren elementlerden biridir. Civa kömürün bünyesinde hangi formda olursa olsun her durumda kömürün yanması sonucunda ortaya çıkar. Elementer civa oldukça uçucudur ve buharlaşma yüzdesi yaklaşık %90 civarındadır. Yine de HCl varlığında Hg^0 HgCl_2 'ye dönüşerek kül üzerine adsorbe olabilir (Hall, 1991).

2.1.2. Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Küller

Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'ini, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar. Santrallerde, baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektrofiltreler kullanılmaktadır (Morrison, 1970). Baca gazından elektro filtreler vasıtasıyla tutulan uçucu kül, kül atma bunkerlerine pnömatik veya mekanik yöntemlerle taşınır ve bu noktada kuru olarak temin edilebilir. Eğer uçucu kül başka amaçlarla kullanılmıyorsa gerektiğinde tozlanmayı önlemek amacıyla su eklenerek kül atma sahasına bantla taşınır. Bazı santrallerde ise uçucu kül tamamen hidrolik yöntemle kapalı borular içinde kül barajlarına aktarılır (Kefelioğlu, 1998). Külün kalan kısmı ise "kazan dibi curufu" adı verilen daha kaba bir artığı oluşturur. Curuf; cam, metalik objeler ve %2-10 arası karbon gibi inert artıklardan oluşmuştur. Curuf, genelde su ile söndürülse de kuru bir yerde de toplanabilir. Ateşleyici kazan içinde kalan yanma artıkları, curufla beraber toplanır. Bunlar içinde yanmamış organik maddeler içerebilirler.

2.1.2.1. Küllerin Özellikleri

Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzalonik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir.

Bu değişkenlik;

- ↳ Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- ↳ Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine,
- ↳ Kazan türüne,
- ↳ Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- ↳ Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine,

↳ Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Kefelioğlu, 1998; Hycnar, 1983).

2.1.2.1.1. Uçucu Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir.

Uçucu külün inceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütölme derecesine bağlıdır. İnceliğe etki eden ikinci faktör, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Spesifik yüzeyleri 1800 - 5000 cm²/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm²/gr dolayındadır.

Uçucu külün yoğunluğu; inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2.2 – 2.7 gr/cm³ arasındadır (EİE, 1979 ve 1982).

Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin, SiO₂, Fe₂O₃ ve MgO'in yer aldığı bileşiklerden ve diğer komponentlerden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Türkiye'de bu tür bir sınıflandırma mevcut olmamakla birlikte, bazı ülkelerin standartlarında, %10'dan daha fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır (Kefelioğlu, 1998).

Mineralojik ve kimyasal özellikler açısından uçucu küller, içi boşluklu ve boşluksuz, camsal kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kimyasal yapılarında temel element olarak Si, Al, Ca ve S bulunur. Uçucu küllerin matriksi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrise girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar (Çancı vd., 1997).

2.1.2.1.2. Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği

Puzolanlar, kendileri hidrolik bağlayıcı olmamalarına karşın ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal veya yapay malzemelerdir.

Puzolanlar, gerek çimento yapımı sırasında klinkerle birlikte öğütülerek, gerekse şantiyede çimentoya yapının özelliğine göre değişik oranlarda katılarak beton yapımında kullanılmaktadır. Puzolanların kullanılması ekonomi dışında çimento ve betona pek çok iyi özellikler kazandırmaktadır. Diğer bir deyimle puzolanlı çimentolara, hataları düzeltilmiş portland çimentoları denebilir.

Uçucu küller de puzolanik özellikleri nedeni ile puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir. Ancak, çimento veya klinkere katılacak puzolanların belirli bir özellikte olması gerekmektedir. Klinker ve beton uçucu küllerinin sahip olması gereken özellikler “Türk Standartlarında” TS - 639 ve TS - 640’da verilmiştir.

Gerek çimento fabrikasında klinkere, gerekse şantiyede çimento içerisine katılacak uçucu külün mutlaka puzolanik özelliğinin tespit edilmesine ihtiyaç vardır. İstenen düzeyde puzolanik aktivitesi olmayan uçucu kül bu iki amaç için kullanılamaz. Gerekli puzolanik aktiviteye ek olarak, uçucu külün kimyasal özelliklerinin ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, SO_3 kızdırma kaybı, nem, alkaliler) ve fiziksel

özelliklerinin (incelik, basınç dayanımı, büzülme, su alma kapasitesi, çimento alkalinitesi ile şişme) de bilinmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerin standartlarında bu sayılan fiziksel ve kimyasal özelliklerin bazıları veya tümü istenmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, uçucu küllerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü'nce hazırlanmış olan iki standart bulunmaktadır.

☞ TS 639 “Uçucu Kül”: Uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, deney yöntemleri ve kalite kontrolü ile ilgilidir. Uçucu küllerin kimyasal özellikleriyle ilgili olarak getirilen sınırlandırmalar aşağıda Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5 TS 639’da Belirtilen Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Özellikler	Standart Sınırları
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	en az %70
MgO	en çok %5
SO_3	en çok %5
Rutubet	en çok %3
Kızdırma Kaybı	en çok %10

TS 640 “Uçucu Küllü Çimento”: Bu standart; uçucu küllü çimentoların tarifine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine, muayene ve deneylerine, piyasaya arz şekilleri ile denetleme esaslarına aittir (Kefelioğlu, 1998).

2.1.2.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Uçucu kül üzerinde yapılan araştırmalar son 25 yılda büyük yoğunluk kazanmıştır. Önceleri daha çok uçucu külün genel yapısı ve özellikleri ile kullanım olanaklarına yönelik çalışmalar, zamanla laboratuvar ve arazide gerçekleştirilen analizlerle geliştirilmiş, sonuçta uçucu külün inşaat alanında, özellikle yol yapımında kullanılmasının, termik santrallerde büyük miktarlarda atık madde olarak oluşan bu malzemenin uzaklaştırılması veya değerlendirilmesi sorununa çözüm getireceği açığa kavuşmaktadır. Yapılan çalışmaların sonucunda, uçucu külün özellikle yol yapımında, zemin stabilizasyonunda, ayrıca dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde kullanılması öngörülmüştür (Seals, 1977).

Çeşitli nedenlerle uçucu külün yapısı ve özellikleri zamana ve yere göre büyük değişkenlik gösterdiğinden, birçok gelişmiş ülke külün farklı alanlarda kullanılmasını geçerli kılacak standartlara ihtiyaç duymuştur. Bu nedenle uçucu külle ilgili standartların belirlenmesi için yoğun çalışmalar yapılmıştır (Ovens, 1979; Morisson, 1970). Ülkemizde bu konuda Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS-639 “Uçucu Küller” ve TS-640 “Uçucu Küllü Çimento” standartları çıkarılmıştır. (EİE., 1979; 1982)

Uçucu küller dünyada, çimento ve beton olarak baraj duvarları, köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pekçok inşaat yapılarında; tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında; agrega olarak otoyol, köprü, yol ve briket yapımında, endüstride hafif mineral dolgu maddesi, asfalt içinde dolgu maddesi, yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır. Örneğin Frankfurt'ta 130 m yükseklikteki Castor ve Pollux gökdelenleri ile Madrid'te 171 m yükseklikteki Picasso gökdeleninin değişik bölümlerinde %20 ile %40 arasında, Lizbon'da Caixa Geral Depositos bankasının binasında, Danimarka'da Great Belt East köprüsünün yapımında, Finlandiya'da Permantokoski hidroelektrik santrali yapımında, Fransa'da Puylaurent barajında, Hollanda'da Eindhoven Havaalanı iniş pistinde, Avusturya'da yeraltı trenyolu tünellerinde, İtalya'da yerüstü elektrik direkleri yapımında, İskoçya'da Torness Nükleer Enerji Santrali yapımında, İngiltere'de denize yapılmış, B.P.'ye ait 570,000 varil ham petrol depolama kapasitesine sahip yapıda, Belçika'da 43.60 m yükseklikteki 4 adet uçucu kül depolama kulelerinin yapımında ve İngiltere ile Fransa'yı birbirine bağlayan ve 100 yıllık kullanım için dizayn edilen hızlı tren hattının tünel inşasında uçucu kül kullanılmıştır (Ecoba, 2001).

1960'lardan bu yana yapılan çeşitli araştırmalarda, Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalitede olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabileceği ortaya konmuştur (Kimya ve Maden Müh. Odası, 1999). Ancak malzeme, ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta; kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısıyla kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kül özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin ötesinde kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi,

taşıma ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin incelenmesi zorunludur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak Türkiye uçucu küllerinin, çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılması önerilmiştir (Kefelioğlu, 1998; DSİ, 1977).

Bu atıkların bir taraftan yarattığı sorunlar ve bu sorunların enerji üretimine paralel olarak artışı, diğer taraftan endüstriyel artık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme niteliği taşıması, çeşitli alanlarda değerlendirilmesi olanaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Gerçekten uçucu kül ve termik santralde onunla birlikte oluşan curuf, içerdiği toksik maddelerin bir şekilde zararsız hale getirilmiş olması koşuluyla, mühendisliğin çeşitli dallarından, endüstride çeşitli metallerin eldesine, hatta tarım alanına kadar çok geniş uygulama sahası bulabilir. Termik santral atıklarının bu şekilde değerlendirilmesi, depolama sorununu büyük ölçüde ortadan kaldıracığı gibi, çevresel sorunları bertaraf edecek, özellikle kısıtlı diğer doğal hammaddelerden tasarruf edilmesini sağlayacak, bunların da ötesinde nitelik ve nicelik açısından daha iyi ürünler elde edilebilecektir.

2.1.2.4. Uçucu Küllerin Çevresel Etkileri

Bölüm 2.1.1.'de belirtildiği gibi kömürün yanmasıyla birlikte, içeriğinde bulunan, kirliliğe sebep olma potansiyeline sahip As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Mo, Ti ve Zn gibi toksik iz elementler atıklara (curuf, kül ve gaza) transfer olur. Bu atıklardan özellikle uçucu küller, kil yapısına sahip oldukları, yüksek ısıya dayandıkları ve yüksek "yüzey alanı/hacim" oranına sahip oldukları için sıvı ve gaz ortamlarda, elementlerin yüzeylerinde tutulabileceği çok uygun ortamlar oluştururlar. Bütün bertaraf yöntemlerinde, küllerin su ile teması söz konusudur. Çeşitli kül liçi deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre, uçucu küllerde bulunan toksik eser elementler, külün suyla teması sonucu suya geçebilmektedir (Eisenberg vd., 1986). Uçucu küller, toprak örtüsü, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesinin yanı sıra, atmosfere karışan genellikle 10 µm'den küçük kül parçacıklarının insanların solunum sistemlerine ulaşması sebebiyle sağlık açısından tehdit edici sonuçlar yaratabilmektedir (Baba, 2000).

Birçok toksik element içerdikleri bilinen uçucu küller güvenli yöntemlerle bertaraf edilmelidir (Egemen & Yurteri, 1994). Yanma artığı olan bu küller genellikle geniş hacimli havuzlar veya düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Az olmakla birlikte, deniz deşarjı uygulamasına da rastlanmaktadır.

Döküm alanlarındaki atıkların yeryüzünü etkilemesi, toprak, akifer ve doğal drenaj konturlarının bozulması ve bunun sonucu olarak toprak erozyonu, seller ve kara parçalarının çökmesi şeklinde gerçekleşirken, sulu ortamların etkilenmesi, yeraltı ve yerüstü sularının kalitelerinin düşmesi şeklinde görülür. Atmosferin etkilenmesi ise, hava kalitesinin partikül ve gaz yayılımları nedeniyle bozulması ve iklimin değişmesi şeklinde ortaya çıkar. Bu olası, hava, kara ve su kirliliği, canlıların ve buldukları ortamların zarar görmesine olduğu kadar, çeşitli ekosistemlerin değişmesine ve yok olmasına, yiyecek kaynaklarının zarar görmesine ve çevresel değişimlere neden olabilir.

Kömürle çalışan termik santrallerin deniz kıyısında işletilmesi halinde, NaCl içerikli deniz sularının santralden verilen dumanla teması sonucu önemli miktarlarda HCl meydana gelebilir. Asit depolanmasının ormanların ve aquatik eko sistemlerin tahribine neden olduğuna dair güçlü ayrıntılı bulgular mevcuttur.

2.2. Türkiye'deki Kömür Yakan Termik Santraller

1999 yılı sonu itibariyle ülkemizde elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulu gücü 26,039 MW'tır. 1998 yılı sonu itibariyle kurulu gücün %55.83'ünü termik, %44.14'ünü hidrolik ve %0.03'ünü rüzgar santralleri oluşturmaktadır. 1998 yılında toplam termik elektrik üretimi 68,702.9 GWh, hidrolik elektrik üretimi toplamı ise 42,229.1 GWh olmuştur. Bunların toplam elektrik üretimindeki oranları sırasıyla %61.9 ve %38'dir. Buradan da görüldüğü gibi termik enerjinin toplam enerji üretimindeki yeri son derece önemlidir.

2.2.1. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Linyitin Yeri

Türkiye'deki termik santrallerin de günümüze kadar birikmiş olan toplam kül miktarı 100 milyon tonu aşmış durumdadır. Termik enerji üretimindeki bu kömür artışlarının benzer şekilde kül üretimine de yansıtacağı düşünülecek olursa, ileride uçucu külün yarattığı sorunların daha da büyük boyutlara varabileceği açıkça görülmektedir.

Türkiye'nin yaklaşık 8.37 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Çok büyük kalite farklılıklarının bulunduğu bu linyit rezervlerimizin %14'ünün nem içeriği %20'den az; %85'inin kül içeriği %20'den fazla; %66'sının kükürt içeriği %2'den fazla ve %66.5'inin ısı değeri 2500 kcal/kg'dan büyüktür (KURAL,1991). Bu rakamlar rezervlerimizin büyük çoğunluğunun hava kirliliğine etkileri açısından normal yakma koşullarında kullanıma elverişsiz olduğunu göstermektedir. Çizelge 2.6 ve 2.7'de Türkiye linyit özellikleri ve rezervleri ile ilgili bazı değerler verilmektedir.

Çizelge 2.6 Türkiye Linyit Rezervleri (Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi, 1998)

Saha Adı	Rezerv (1000 ton)			
	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Ankara-Beypazarı	391,479	-	-	391,479
Adana-Tufanbeyli	284,247	50,234	-	334,481
Bolu bölgesi	74,594	53,472	14,690	142,756
Bursa Bölgesi	99,585	23,046	7,806	130,437
Çanakkale-Çan	86,887	-	-	86,887
Çankırı	123,165	-	-	123,165
Konya Bölgesi	241,421	96,371	-	337,792
Kütahya-Seyitömer	198,666	-	-	198,666
Kütahya-Tunçbilek	270,850	46,882	-	317,732
Kütahya-Gediz-Ayçatu	145	12,300	11,500	23,945
Manisa-Soma	429,380	45,226	32,794	507,400
Manisa-Deniş	152,139	-	-	152,139
K.Maraş-Elbistan	3,357,340	-	-	3,357,340
Muğla-Ekiz-Sekköy	174,660	-	-	174,660
Muğla-Hüsamlar	88,846	-	-	88,846
Muğla-Eskihisar	100,280	-	-	100,280
Muğla-Tınaz-Bağyaka	53,649	-	-	53,649
Muğla-Bayır-Turgut	179,063	60,000	-	239,063
Muğla-Karahisar	111,482	-	-	111,482
Sivas-Kangal-Etyemez	202,607	-	-	202,607
Diğer Sahalar	718,561	238,405	43,224	1,299,566
TOPLAM	7,339,046	625,936	110,014	8,374,372

Çizelge 2.7 Türkiye'nin Linyit Kimliği (KURAL, 1991)

Linyitin Özelliği	Miktarı
Rezerv	8.31 milyar ton
Görünür rezerv yüzdesi	% 72
Ortalama ısı değeri	1807 kcal/kg
Ortalama nem	%41.8
Ortalama kül	%21.5
Ortalama kükürt	% 1.85
Ortalama yıllık üretim artışı	% 20
Açık işletmelerden sağlanan üretim oranı	% 85
Kullanım oranı: Üretim/Rezerv (1989)	% 0.43

Termik enerji üretiminde 1970 öncesi en büyük payı taşkömürüne dayalı santraller alırken, 1970'lerden itibaren linyite dayalı bir üretim politikası güdülmektedir. 1998 yılı elektrik üretiminin %29.46'sı linyitle çalışan termik santrallerden sağlanmıştır (TMMOB Elektrik M.O, 1999). Yine 1998 yılı itibarı ile Türkiye linyit tüketiminin %80.80'i termik santraller tarafından gerçekleştirilmektedir (Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi, 1998). Türkiye'de kömürle çalışan termik santraller ve bazı özellikleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Türkiye'de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri (Civelekoğlu vd., 1999)

Santral	Ünite x Gücü, MW	Kömür tüketimi, t/h	Kömür Özelliği				TKİ tarafından santrale verilen yıllık fiili kömür, ton
			AİD, kcal/kg	Kül, %	Nem, %	Kükürt, %	
Yatağan	3x210	3x230	2100	20.5	36	2.7	4,640,828
Afşin-Elbistan	4x344	4x800	1050	15.3	57.7	1.4	*
Yeniköy	2x210	2x280	1750	29	33	2.72-5.96	2,726,908
Kemerköy	3x210	3x280	1750	29	33	2.72-5.96	2,081,873
Seyitömer 1-2-3	3x150	3x200	1800	35	34	1.5-2	4,791,216
Seyitömer 4	1x150	1x266	1400-200	30-50	30-40	1.5-2	1,708,933
Soma A	2x22	2x44	3592	24.55	25.22	0.71	234,102
Soma B 1-2	2x165	2x166	2200	32	21	1.5	4,391,120
Soma B 3-4	2x165	2x166	2200	32	21	1.5	
Soma B 5-6	2x165	2x275.5	1550	40.5	20.84	1.5	
Tunçbilek 1-2	2x35	2x30	3650	33	22		2,105,587
Tunçbilek 3	1x65	1x50	3900	25	23		
Tunçbilek 4-5	2x150	2x175	2000	42.4	22-24	1.17	
Çayırhan	2x150	2x127.3	2800	29.91	27.5	4.65	1,079,698
Kangal	2x150	2x277	1300	21-22	45-51	1.5-2.3	**
Orhaneli	1x210	1x200	2560	23.8	32-36	1.9	348,991

* Kömür sahaları TEAŞ tarafından işletilmektedir. ** Özel sektör tarafından işletilmektedir.

Bilindiği gibi, santraller kurulurken yakma kazanları belirli kalitede kömürleri yakmak için tasarlanırlar. Tasarımda baz alınan kömür özellikleri;

- Kalori değeri,
- Nem,
- Kül,
- Kükürt,
- Sabit karbon ve uçucu maddedir.

Ayrıca; kül yumuşama, erime ve akma sıcaklığı, külün kimyasal bileşimi, kömürün öğütülebilirliği, iz ve radyoaktif element ile sileks içeriği büyük önem taşır. Ülkemizde, Ege Bölgesi'nde kömüre dayalı termik santrallerin tasarımında baz alınan kömür özellikleri Çizelge 2.9'da verilmektedir.

Çizelge 2.9 Ege Bölgesi Termik Santrallerinin Tasarlandığı Kömür Özellikleri (Civelekoğlu vd., 1999)

Santral	Alt Isı Değeri kcal/kg	Nem (%)	Kül		Toplam Kükürt		Sabit Karbon (%)	Uçucu Madde (%)	Baca Yüksekliği (m)	Toz Kontrol Verimi (%)
			(%)	g/MJ	(%)	g/MJ				
Soma B	2400	21	32	34.798	1.5	1.631	11.34	16-35	150	98
Soma A	1550	20.84	40.5	62.510	1.5	2.315	-	-	275	99
Seyitömer	1750	30-40	30-50	46.518	1.5-2	2.815	-	10-22	100	98
Yatağan	2100	36	20	23.354	2.70	3.076	18.5	Min 25	120	99.4
Yeniköy	1750	33	29	39.645	2.7-5.96	5.468	20.47	Min 25	200	99.4
Kemerköy	1660	30	33.8	45	2.0-2.8	-	15.40	-	300	99.4

Bu tez çalışması kapsamında numuneleri kullanılan, düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan Soma Termik Santrali (Soma B-6x165 MW), Yatağan Termik Santrali (3x210 MW), Yeniköy Termik Santrali (2x210 MW), ve Kemerköy Termik Santrallerinin (3x210 MW) sırasıyla; yıllık kömür ihtiyaçları 7.2 milyon ton, 5.4 milyon ton, 3.7 milyon ton, 5.7 milyon tondur. Bu santrallerde yaklaşık olarak günde 60.250 ton kömür yakılmakta ve atık depolama sahalarına günde 25.000 ton ve yılda 10 milyon tona varan kül atılmaktadır. Aşağıda bu santrallere ait bilgiler detaylı olarak verilmektedir.

2.2.2. Soma Termik Santrali

Soma Termik Santrali, Soma ve civarında üretilen 2,500 kcal/kg ısı değerinden düşük kalorili kömürlerin yakılarak elektrik enerjisi üretmek, Batı Anadolu'nun elektrik ihtiyacının en kısa mesafeden karşılamak ve yörenin sosyal ve ekonomik yönden kalkınmasını sağlamak amacıyla, 1034 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 7.45 milyar kWh olarak Manisa ili Soma ilçesine bitişik Bakır çayı vadisinde 1,200,000 m²'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Sekiz tane üniteye sahiptir.

Santralin yeri seçilirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmıştır.

- Kömür yataklarına yakınlığı,
- Yakınında kül ve curuf atmaya, depolamaya müsait coğrafya oluşu,
- Santralin ihtiyacı olan suyun bulunabilirliği ve yakınlığı,
- Elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı,
- Depreme mukavemet bakımından fay hattında bulunmayışı,
- Karayolu ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü.

Santralin kömür ihtiyacı TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ merkez bölgesinin Darkale ocaklarından sağlanmaktadır. Bölgede 2000-5000 kcal/kg ısı değerine sahip ocaklarından üretilen kömürler, I-IV. ünitelere %50'si bant - %50'si kamyon, V ve VI. ünitelere tamamı bant, VII ve VIII. ünitelere ise kamyonla nakledilmektedir. Kamyon nakliyatında kömürün santrale ulaşması için kat edilmesi gereken mesafe, bant nakliyatındaki 10 km yerine \approx 30 km.dir.

Bu kömürün;

- Ortalama alt ısı değeri : 2400-3325 kcal/kg
- Nem : %20.8-27
- Kül : %30-50.5
- Toplam kükürt : %1.5

Elektrik üretiminde ihtiyaç duyulan su, kullanma hakkı tamamen şirkete ait 127,000,000 m³ hacimli Seyisler barajından 80 cm çapında çelik borularla

sağlanmaktadır. Soma termik santralinden aldığımız rapora göre; 1998 yılında toplam 34,255,500 m³ su harcarken, 1999 yılında ise 40,868,500 m³ su harcamıştır.

Kömür; 1600 ton/saat kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelmekte kırma ve eleme tesislerinde 0-30 cm ebadında hazırlanarak stok sahasına serilmektedir. Kömür stok sahası santralin bir aylık kömür ihtiyacının karşılayacak durumdadır. Yıllık kömür ihtiyacı 7.2 milyon ton olan sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlar kullanılmaktadır.

Kırıcı eleklerden ve kömür stok sahasından alınan kömür, bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek, iki bantla taşınmaktadır. Bant uzunluğu 17,036 km.dir. Konveyör uzunluğu ise 8,456.5 m.dir. Kazanın temel dengesi için kömür bunkerleri her biri 500 m³ olarak dört ayrı köşeye yerleştirilmiştir. Her kazanda 37 ton/saat kapasiteli ve 550 KW gücünde 6 adet değirmen bulunmaktadır. Değirmenlerin 4 adedi direkt birer bunkerden, 2 adeti çift bunkerden beslenmektedir. Öğütülen kömür, değirmenin yarattığı hava akımı ile kazanın içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır.

Yanma sonucu meydana gelen küller gazla birlikte bacaya giderken %99 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla tutulmakta ve curuf ile elektrofiltrelerin alt çıkışından alınıp su ile karıştırılarak (1/7.9 litre) su toplama havuzuna buradan da pompalar yardımıyla kül barajına pompalanmaktadır. Dolan baraj kademelerinin üzeri topraklanarak, düzgün tarım alanı haline getirilmektedir.

Baca yüksekliği I, II, III ve IV. gruplar için 150 metre, V. ve VI. gruplar için 275 metredir. Meteorolojik ve coğrafi şartlar etkisi ile de gaz ve kül çevreye herhangi bir zarar vermeyecek ölçüde düşürülmektedir. Curuf kazan altında bulunan paletli curuf çıkarıcı vasıtasıyla bantlı konveyörlere yüklenerek taşınmaktadır.

Santralde yılda yakılan yaklaşık 8 milyon ton kömürden açığa çıkan kül miktarı 4,000,000 tondur. (SEAS, 1999)

2.2.3. Yatağan Termik Santrali

Yatağan Termik Santrali, Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sistemin ihtiyacının karşılanması amacıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır.

3x210 MW gücünde ve yıllık üretimi 4,095,000,000 kWh/yıl olan Yatağan Termik Santrali Yatağan-Milas karayolunun üzerinde ve Yatağan ilçesine 3 km mesafedeki 1,163,600 m²'lik bir alan üzerine oturtulmuştur.

Santralin yeri seçilirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmıştır.

- Kömür yataklarına yakınlığı,
- Yakınında kül ve curuf atmaya, depolamaya müsait coğrafya oluşu,
- Santralin ihtiyacı olan suyun bulunabilirliği ve yakınlığı,
- Elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı,
- Depreme mukavemet bakımından fay hattında bulunmayışı,
- Karayolu ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü.

Yatağan Termik Santralında kullanılacak kömürün açık ocaklardan çıkarılışı ve 0-200 mm. boyutlarında TEAŞ'a verilmesi Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü'ne bağlı Güney Ege Linyitleri İşletmesi tarafından yapılmaktadır. Yatağan Termik Santralinin kömür ihtiyacı 3 ünite için günde 18,000 ton civarındadır.

Kömür işletmelerinden gelen kömürün şartnameden alınan analiz değerleri:

Tane iriliği	: 0-200 mm
Kuru kömürde kül miktarı	: 28-35 %
Nem miktarı	: 32-40 %
Alt ısı değeri	: 2100 ± 100 kcal/kg

İşletmenin kömür kırma-eleme tesislerinde 0-40 mm boyutlarına indirilen kömür, konveyör bantlarla 885,000 ton kapasiteli stok sahasına alınır. Stok sahasından alınan kömür, %100 yedekli konveyör bantlarla +42 metre yükseklikteki kazan üstü bunkerlerine boşaltılmadan önce, sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır. Sahada 3 adet kömür park makinası mevcuttur. Bu makinalar kömürü stoklama, stoktaki kömürü alarak sisteme verme, gelen kömürü stoklamadan sisteme verirken üzerine stoktaki kömürü ilave edebilen pozisyonlarda çalışabilmektedir.

Su temini ise santralin ihtiyacı olan 1600 m³/h ham su 5 km uzaklıktaki Dipsiz su kaynağından, 6000 m³ hacimli ham su havuzuna alınır. Ayrıca su ihtiyacı yine santrale 200 m uzaklıktaki yedikuyular pompa istasyonlarından sağlanmaktadır.

Santralde mevcut %99.2 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla bacalardan kül çıkışı büyük oranda önlenmektedir. Ancak santrale verilen kömürdeki kül oranının yüksek olması halinde %35 kül oranına göre projelendirilmiş olan kül sevk tesisatında kapasite yetersiz kalmaktadır. Bu durumda önlem olarak ünitelerden yük düşülmekte ve böylece kül miktarı azaltılmaktadır. Ayrıca, ünitelerin devreye alınıp ve devreden çıkışları esnasında baca gazı 135°C ulaşmadan elektrofiltreler devreye alınmadığı için yaklaşık 1-2 saat süre ile bacadan kül çıkışı önlenememektedir. Normal işletme şartlarında elektrofiltrelerin verimini yüksek tutabilmek için bütün hücreleri çalışır vaziyette olmasına azami titizlik gösterilmektedir. Elektrofiltre altından, kazanın ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınan kül, kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise 1200 ton kapasiteli curuf bunkerlerinde toplanmaktadır.

Kül silolarında biriken kül, her bir silonun altında bulunan kül ıslatma helezonlarında ıslatılarak konveyör bantlara aktarılır. Curuf bunkerlerinde biriken curuf da aynı banta boşaltılarak 2 km. mesafedeki kül stok sahasına taşınır ve burada raylar üzerinde hareket edebilen kül serme makinası ile santral sahasından gönderilen kireçli su ve diğer atık sular eşliğinde sulu sistem ile kül barajına atılmaktadır.

3x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 753 ton/h tır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak $753 \text{ ton/h} \times 0.205 = 154 \text{ ton/h}$ tır.

Bunun $154 \text{ ton/h} \times 0.04 = 6 \text{ ton/h}$ 'lik kısmı curuf; $154 \text{ ton/h} \times 0.96 = 148 \text{ ton/h}$ 'lik kısmı da küldür. (TEAŞ, 1999)

2.2.3. Yeniköy Termik Santrali

Türkiye Kömür İşletmelerine ait olan İkizköy ve Sekköy ocaklarındaki düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sisteminin ihtiyacının karşılanması amacıyla 2x210 MW gücünde ve yıllık üretimi (brüt) 2,730,000,000 kWh/yıl olan Yeniköy Termik Santrali, Muğla ili, Milas ilçesine bağlı Yeniköy beldesinde Milas-Ören Karayolunun 22. kilometresinde kurulmuştur.

Yer seçiminde önemli faktörler şöyledir.

- Kömür rezervlerine yakınlığı,
- Kül ve curuf atma sahasına yakınlığı,
- Ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü,
- Yörenin Jeolojik yapı,
- Elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı.

Termik santralin ihtiyacı olan kömür, yaklaşık 1500 m uzaklıktaki İkizköy ve 2500 m uzaklıktaki Sekköy ocaklarından temin edilmektedir. Kullanılan kömürün özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Alt ısı Değeri : $1750 \pm 200 \text{ kcal/kg}$
- Nem : % (33 ± 3)
- Kül (kuru bazda) : % 43.3 ± 3
- Toplam Kükürt : % 2.7-6.0 dir.

Türkiye Kömür İşletmelerine ait olan bu ocaklardan 120'şer tonluk büyük kamyonlarla santralin kırma tesislerine kadar getirilmektedir.

Santralin su ihtiyacı ise Dereköy ham su istasyonu ve Ahmetler barajından sağlanmaktadır. Yıllık su ihtiyacı ise her bir ünite için $720.000 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. (Ahmetler barajı 4.450 milyon m^3 su toplama kapasitesine sahiptir)

Yeniköy Termik Santralinin yıllık ana yakıt ihtiyacı $3.767.000$ tondur. Tam yükte günlük ana yakıt ihtiyacı 13.900 tondur. Türkiye Kömür İşletmeleri, İkizköy ve Sekköy ocaklarından alınan kömürün alt ısı değeri 1750 ± 2000 kcal/kg ve $0-300$ mm boyutlarında olup, 120 'şer tonluk büyük kamyonlarla kırma-eleme tesislerine kadar getirilmektedir. Kazanların ihtiyacı olan kömür, park sahalarından, park makinaları yardımı ile alınarak konveyör bantlarla kazan üstü bunkerlerine verilmeden önce sistemde yanan kömürün miktarını tespit etme amacı ile radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır.

Bacalarda kül çıkışı, yüksek verimle çalışan elektrofiltreler yardımı ile hemen hemen önlenmektedir. Santralde yakılan kömürden açığa çıkan kül, su ile karıştırılarak bantlı konveyörlere nakledilmektedir. Curuf bunkerlerinde biriken curuf ise yine bantlara boşaltılmaktadır. Biri yedek iki adet bantla taşınan kül, stok sahasına taşınıp, burada kül serme makinası ile kül barajına boşaltılmaktadır. Kül döküm sahaları toprakla örtülüp yeşillendirilmektedir.

2×210 MW grup için gerekli linyit miktarı $3.767.000$ ton/yıl'dır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak $3.767.000$ ton/yıl $\times 0.40 = 1.506.800$ ton/yıl dır.

Bunun $1.506.800 \times 0.04 = 60.762$ ton/yıllık kısmı curuf; $1.506.800 \times 0.96 = 1.446.528$ ton/yıl'lık kısmı da küldür. (YEAŞ, 2000)

2.2.4. Kemerköy Termik Santrali

Şirket 233 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ve Türkiye Elektrik Üretim İletişim A.Ş.'nin ana statüsü hükümleri dahilinde Ulusal Elektrik Sistemine bağlı olarak elektrik üretim ve ticareti amacıyla ve Muğla/Milas Hüsamlar-Çakıralan havzalarındaki düşük kalorili linyit kömürünün termik santralde değerlendirilerek ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, Muğla ile Ören ilçesinde 3x210 MW kurulu güçte, 4,941,818 m² alan üzerinde kurulmuştur. Yıllık üretimi 4.1 milyon kWh/yıl'dır. Santralin yeri seçilirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmıştır.

- Kömür rezervlerine yakınlığı,
- Kül atma sahasına yakınlığı,
- Ulusal elektrik şebekesinin özelliği
- Jeolojik yapı
- Kara ve Deniz yolu ulaşım kolaylığı,
- Hakim rüzgar yönü.

Üretim için gerekli olan Kömür Türkiye Kömür işletmeleri tarafından temin edilmektedir. Alt ısıl değeri 1550–1950 kcal/kg dır. 3x34,000 ton/saatlik soğutma suyu ihtiyacı deniz suyu tarafından karşılanmaktadır.

Santralde kullanılan linyitin özellikleri:

- Parça büyüklüğü : 0-1000 mm.
- Kül : % (39-47)
- Toplam kükürt : % (2.0-2.8)
- Kül ergime sıcaklığı : 1040-1100°C
- Nem : %(29-37)
- Alt Isı Değeri : 1550-1950 kcal/kg. dır.

Stok sahasından alınan kömür, konveyör bantlarla kazan üstü bunkerlerine boşaltılmadan önce, sistemde yanan kömürün miktarının tespiti için radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır. Yıllık kömür ihtiyacı 5.7 milyon tondur. Kömürün kazanda yanmasını sağlamak için, fan tipi değirmenler kullanılmaktadır. Kömür, 1600 ton/saat

kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelip kırma ve eleme tesislerinde 0-30 mm tane boyutunda hazırlanarak stok sahasına dökülmektedir.

Kazan suyu ise Ahmetler su barajı ve Dereköy'deki kuyulardan sağlanmaktadır. Ahmetler barajı, rezerv kapasitesi ~4,450 milyon m³ su toplama kapasitelidir. Yıllık su ihtiyacı Dereköy'den karşılanmaktadır.

Yanma sonucu oluşan kül; elektrofiltre altından, kazanın ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınarak pnömatik olarak kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise curuf bunkerlerinde toplanmaktadır. Kül silolarında biriken kül, her bir silonun altında bulunan kül ıslatma helezonlarında ıslatılarak iki paralel konveyör bantlara aktarılır. Curuf bunkerlerinde biriken curuf da aynı banta boşaltılarak kül stok sahasına nakledilmektedir. Burada kül serme makinası ile sulu olarak kül barajına atılmaktadır.

Deniz seviyesinden +125 m. yukarıda bulunan kül barajı 11,000,000.m³ kapasiteye sahiptir. Üç ünite için on yıl kül depolama imkanı bulunmaktadır

3x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 5,700,000 ton/yıl'dır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak yaklaşık olarak 5,700,000 ton/yıl x 0.40=2,280,000 ton/yıl dır.

Bunun 2,280,000 x 0.04 = 91.200 ton/yıllık kısmı curuf; 2,280,000 x 0.96 = 2,188,800 ton/yıllık kısmı da küldür. (KEAŞ, 1999)

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül numuneleri, Soma Termik Santrali, Yatağan Termik Santrali, Yeniköy Termik Santrali ve Kemerköy Termik Santrallerinden yaklaşık 100'er kg olmak üzere, yerinde elektro filtre altından, kömür numuneleri ise kazana beslenecek mevcut kömür stoklarından yöntemine uygun olarak alınmıştır. Santrallerde numuneler hiçbir hazırlama işlemine tabi tutulmamış olup direkt olarak Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir.

Uçucu küllere son ürün olduğu için herhangi bir numune hazırlama işlemi yapılmamıştır. Uçucu kül numuneleri homojenleştirme işlemi sonrasında 1 kg'lık torbalara konulup etiketlendikten sonra kimyasal, fiziksel analizlerde ve zehirlilik testlerinde kullanılmak üzere stoklanmıştır. Kömür numuneleri ise, santrallerin kazan öncesi öğütme yapan fanlı değirmenlerinden numune almak mümkün olmadığı için laboratuvarında kırma ve öğütme işlemlerine tabii tutulmuştur. Kömür numunelerinin tümü önce laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kapalı devre olarak (-3.35 mm) boyutuna indirilmiş olup içinden yaklaşık olarak 30 kg numune alınmıştır.

Bu numune termik santrallerde kazanda yakılan kömür boyutuna getirilmek üzere sarj oranı %30 olan laboratuvar tipi çubuklu değirmende 90 dev/dk. hızda kapalı devre olarak öğütme testlerine tabi tutulmuştur. Öğütme testleri sonucunda, her santralde kullanılan kömürün tane boyut dağılımına en yakın tane boyut dağılımını

veren süre seçilmiştir. Bu numunelerden, belirlenen sürelerde deneylerde kullanılmak üzere 2'şer kg olmak üzere öğütülmüş ve fiziksel, kimyasal analizlerde ve bomba testlerinde de kullanılmak üzere torbalanarak etiketlenip stoklanmıştır.

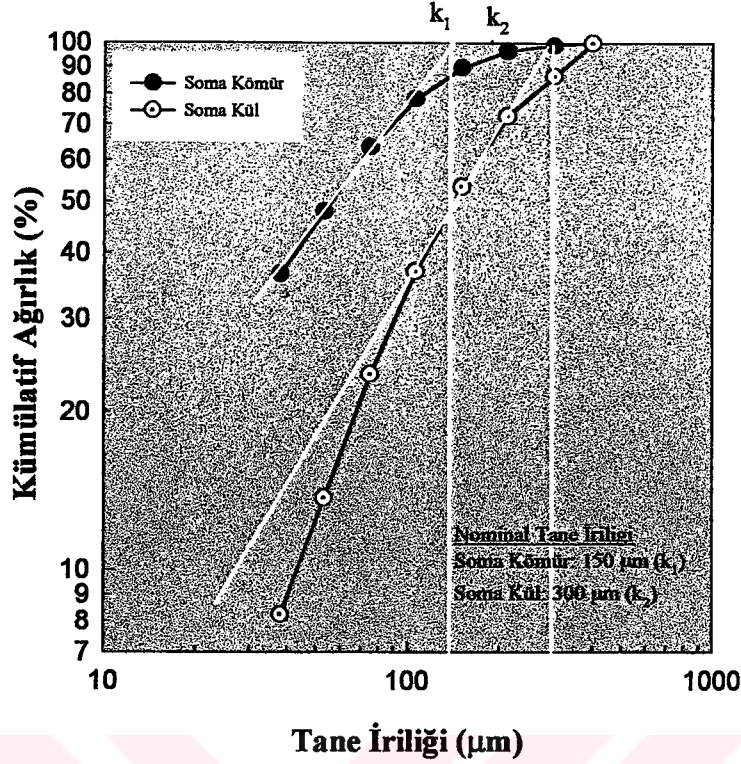
Ayrıca kimyasal analizler sırasında Merck marka %37'lik HCl, Fluka marka analiz saflığında Lityum tetraborat, Merck marka %99'luk analiz saflığında asetik asit ve Merck marka diphenylcarbazide ve Schleicher & Schuell, FP 030/0,45 CA-S marka 0.45 μm 'lik membran filtre kullanılmıştır.

3.1.1. Tane Boyut Dağılımları

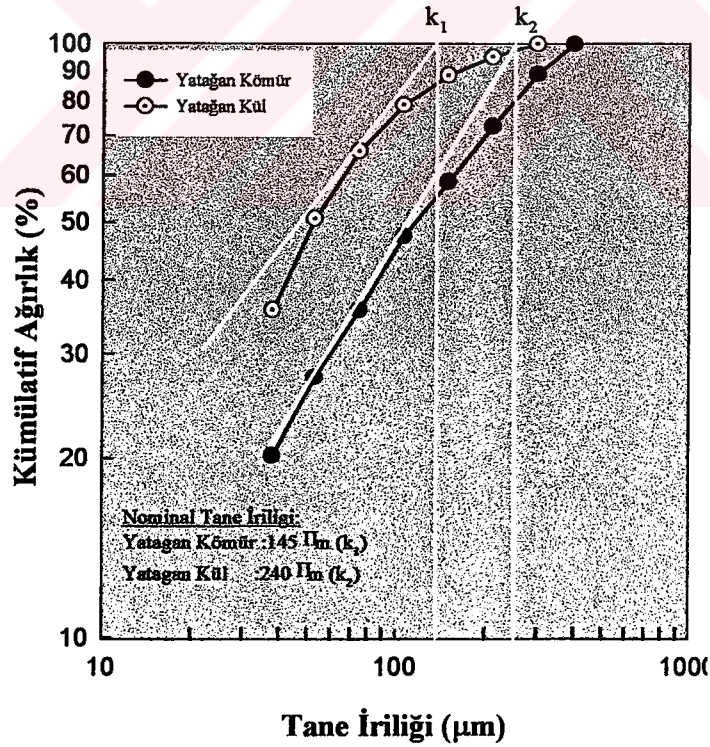
Testlerde kullanılan tüm kömür ve küllerinin boyut analizleri verilmektedir. Bu numunelere ait nominal elek altı değerleri Çizelge 3.1.'de özetlenmektedir.

Çizelge 3.1 Deneylerde Kullanılan Kömür ve Kül Numunelerinin Nominal Elek Altı Değerleri

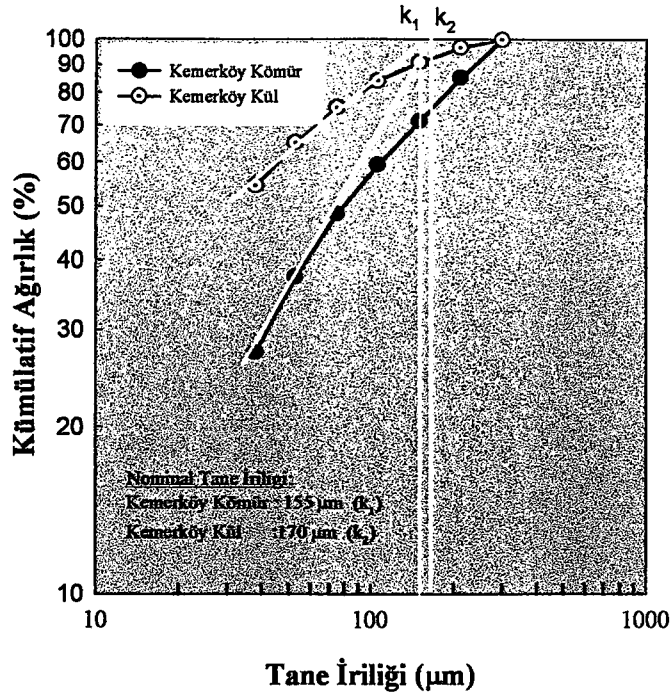
Numune	Nominal Elek Altı Değeri (k), μm	
	Kömür	Kül
Soma	150	300
Yatağan	145	240
Kemerköy	155	170
Yeniköy	140	165



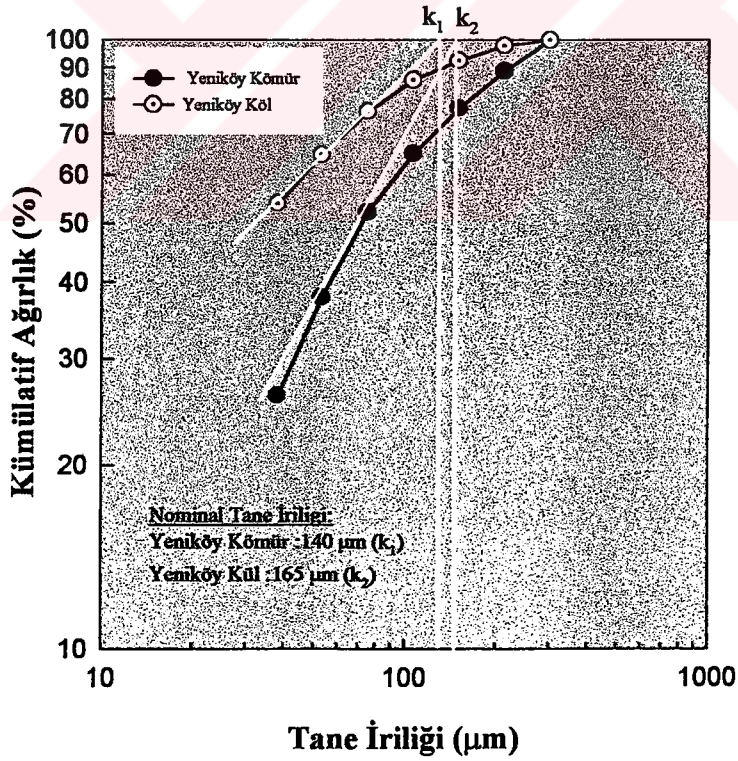
Şekil 3.1 Soma Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



Şekil 3.2 Yatağan Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



Şekil 3.3 Kemerköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



Şekil 3.4 Yeniköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)

3.1.2. Mineralojik Yapı

Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde, malzemelerin mineralojik karakterizasyonları ve elementel içeriklerini kalitatif olarak belirlemek üzere, Bölüm 3.2.1.2’de ayrıntıları verilen X-Ray Analizleri (XRD- XRF) difraksiyon ve flouresans analizleri yapılmıştır. XRD analiz sonuçları Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 XRD Analiz Sonuçları

Soma Kömür	Soma Kül	Yatağan Kömür	Yatağan Kül	Kemerköy Kömür	Kemerköy Kül	Yeniköy Kömür	Yeniköy Kül
Kuvars İllit Kalsit Klorit	Kuvars Ortoklas	Kuvars Ortoklas Kalsit Klorit İllit	Kuvars Ortoklas	İllit Kuvars Hematit Anhidrit	Klorit İllit Kuvars Anhidrit	Kalsit Kuvars Anhidrit Pirit	Kuvars Anhidrit Kalsiyum Oksit

XRF Analiz sonuçlarında ise tüm numunelerde Sr, Mn, Ti, CA, Cu, Zn, Ni, K, NA, Al, Si, Fe, Pb, Zn, Sr, Mg, Mo, Cr, Sb, Zr elementleri saptanmış olup grafikleri ekler bölümünde sunulmuştur.

3.1.3. Kimyasal Kompozisyon

Numune hazırlama işlemlerinden sonra yöntemine uygun olarak kimyasal analiz için alınan kül ve kömür numuneleri, bileşimlerindeki element miktarlarının belirlenmesi için, Bölüm 3.2.1.1’de detaylı olarak anlatıldığı şekilde kimyasal analize tabi tutulmuştur. Çizelge 3.3’te Termik Santrallere ait kül numunelerinin kimyasal analiz sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 3.3 Ana Malzemenin Kimyasal Bileşimi

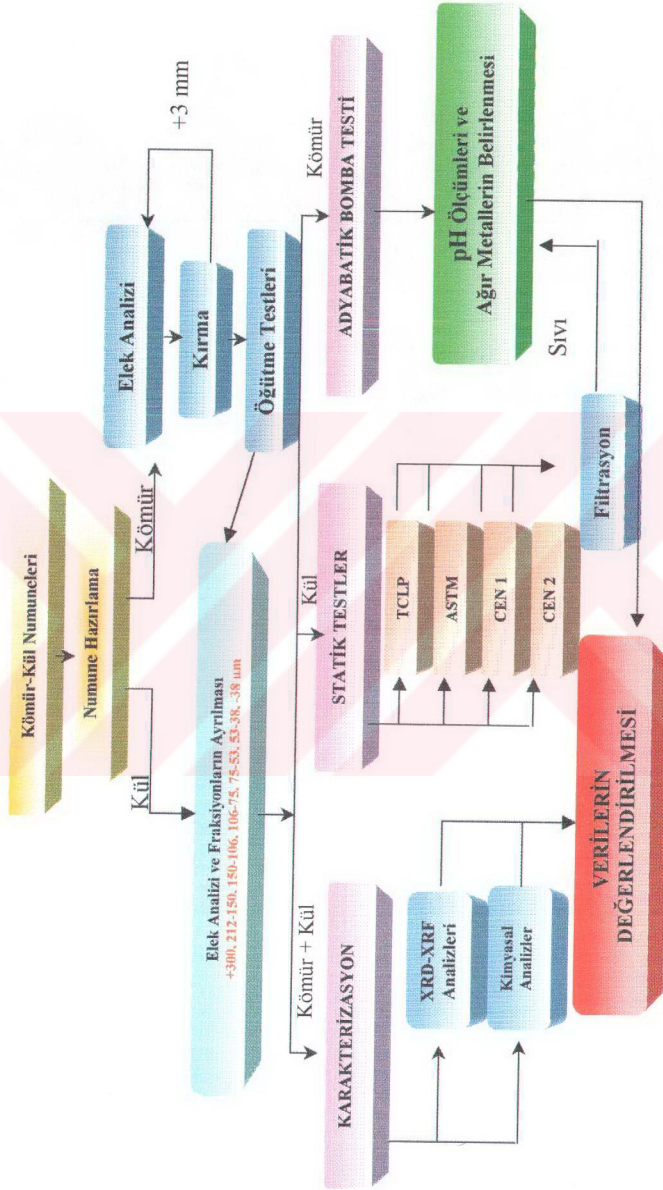
Element	Soma Kül	Yatağan Kül	Kemerköy Kül	Yeniköy kül
CaO (%)	33.77	23.51	35.82	38.24
SiO ₂ (%)	33.41	36.43	22.30	20.79
Al ₂ O ₃ (%)	16.13	16.13	14.51	17.26
Fe ₂ O ₃ (%)	6.00	7.77	4.14	7.17
MgO (%)	6.07	8.80	3.83	4.66
SO ₃ (%)	2.80	6.83	12.55	12.80
Na ₂ O (%)	1.04	1.05	1.30	2.19
K ₂ O (%)	0.66	0.77	1.53	1.33
BaO (%)	0.15	0.15	0.89	0.13
Pb (mg/kg)	420.00	391.84	65.00	72.00
Cu (mg/kg)	172.00	179.93	126.00	135.00
Ni (mg/kg)	152.00	163.93	617.27	678.78
Zn (mg/kg)	116.00	119.95	140.32	136.00
Co (mg/kg)	104.00	95.96	151.74	140.00
Cr (mg/kg)	64.00	91.96	260.00	233.48
Sr (mg/kg)	60.00	43.98	135.94	149.11
Cd (mg/kg)	40.00	31.99	31.98	27.98

3.2. Yöntem

Deneylerde kullanılacak malzemelerin hem tane boyutlarını belirlemek hem de bu tane iriliğinin kullanılan yöntemlerde etkisinin olup olmadığını belirleyebilmek üzere numuneler boyut analizlerine tabi tutulmuştur. Elek serileri ASTM standartlarına göre üretilmiş eleklerden seçilmiştir.

Zehirlilik ve kalorimetre bomba testlerinde kullanılmak üzere, kullanılacak malzemelerin kimyasal ve mineralojik yapısını belirlemek üzere numuneler bir dizi kimyasal ve mineralojik analizden geçirilmiştir.

Kül malzemeleri TCLP, ASTM ve CEN testlerinde, kömür numuneleri ise adyabatik bomba testlerinde kullanılmıştır. Deneyler sırasında uygulanacak yöntem Şekil 3.5'te ayrıntılı şekilde verilmektedir.



Şekil 3.5 Deneyler Sırasında Uygulanacak Yöntemin Akım Şeması

3.2.1. Kimyasal Analiz Yöntemleri

Küllerin element analizi için boyut analizleri yapılan malzemelerin her fraksiyonundan numuneler alınarak, analiz boyutu olan 100 µm boyutuna öğütülmüştür. Daha sonra platin kroze içerisine yaklaşık 0.25 g örnek tartılarak üzerine 3 g lityum tetraborat ilave edilmiş ve 1100°C'de, 1.5 saat fırında erimeye bırakılmıştır. Fırından çıkarılan krozeler desikatörde soğutulduktan sonra üzerine %10'luk 100 ml HCl ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla cam beher içerisinde çözülmüştür. Çözelti balon jöjeye boşaltılarak 250 ml'ye tamamlanmış ve Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresinde element derişimleri belirlenmiştir. Malzemenin kükürt (S) içeriğinin belirlenmesi için rutin gravimetrik kükürt analizi yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan kömür numuneleri ise, önce 800 °C'de kül haline getirilmiş daha sonra yukarıdaki yöntem kullanılarak kimyasal analizi yapılmıştır. Bu durumda , kimyasal analiz sonuçları, kömürdeki element içeriğini verecek şekilde kül yüzdesine bölünerek sunulmuştur.

Bomba testleri ve bir dizi zehirlilik testlerinden sonra elde edilen çözeltilerin element analizleri de, Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometre cihazı kullanılarak analiz edilmiştir.

3.2.2. Mineralojik Analiz Yöntemleri

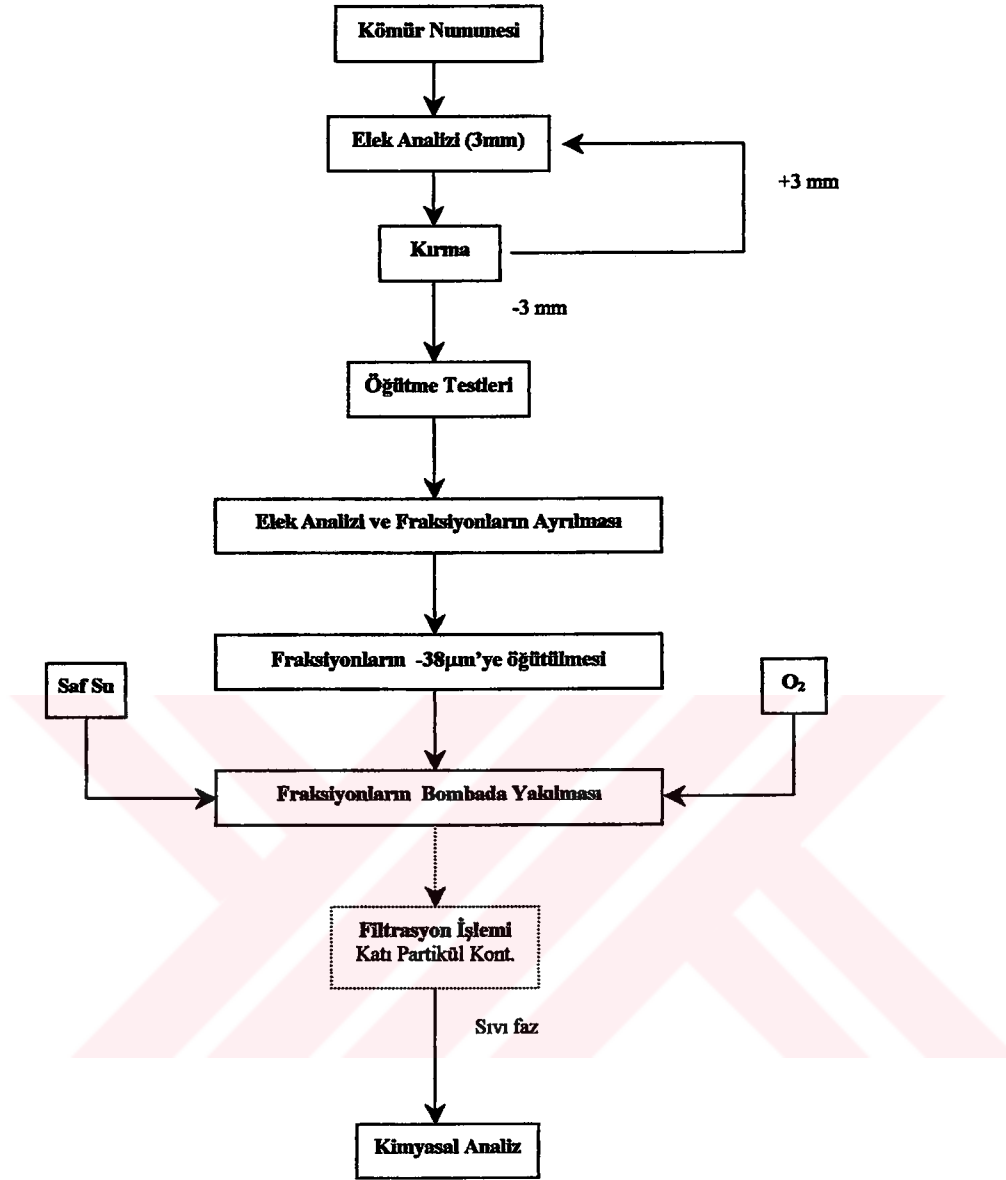
Malzemenin X-Ray difraksiyon ve flouresans analizleri bölümümüze ait X-Ray laboratuvarında bulunan Jeol marka JSDX-100 X-ray Difraksiyon Spektrometresinde yapılmıştır. Bunun için malzeme analiz boyutu olan 100 µm tane boyutuna öğütülmüştür. Difraksiyon için toz örnek cam aparat üzerine yerleştirilmiş, flouresans analizi için ise toz örnek alüminyum halka içine yerleştirilerek preslenmiş ve pelet numune ile analiz gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri 32 kVolt, 22 mA'de Nikel filtre kullanılarak, XRF analizlerinde ise 50 kVolt, 32 mA'de EDDT, Lif, RbAp kristalleri kullanılarak yapılmıştır. (X-Ray Analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi

Maden Müh. Bölümünde Prof. Dr. Uğur KÖKTÜRK ve Uzman Hatice YILMAZ gözetiminde yapılmış ve değerlendirilmiştir.)

3.3. Test Yöntemleri

3.3.1. Adyabatik Bomba Testleri

Bomba yakma testlerinde IKA C400 Model adyabatik kalorimetre bombası kullanılmıştır. Bu testlerde kömürün yanması sırasında baca gazıyla havaya karışan elementlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney için 1 g, 38 µm'nin altına öğütülmüş kömür, kalorimetre kapsülü içerisine konulmuştur. Kapsül yerine yerleştirildikten sonra kalorimetre bombasının içerisine 10 ml saf su ilave edilmiştir. Kapsülün havası boşaltıldıktan sonra içine 15 atm basıncında O₂ verilip su ceketini içerisine yerleştirilmiştir. Kalorimetre bombasının voltaj ayarı yapılmış ve yanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kapsül içerisindeki sıcaklık yaklaşık 1300°C'dir. Sistem adyabatik olduğundan kapsül içerisindeki tam sıcaklık ölçülememiştir. Deneyin akım şeması şekil 3.6'da sunulmuştur. İşlem sonrasında kapsül su ceketinden çıkartılmış ve oda sıcaklığında 1 saat soğuması için bekletilmiştir. Kapsül içerisindeki asidik su 70 ml'ye tamamlanmış ve çözeltideki element derişimleri direkt olarak Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometre cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz edilmeden önce çözelti içerisinde partikül madde olup olmadığı (yanma işlemi sırasında sıçramanın olup olmadığı) gözle ve filtrasyon işlemi ile kontrol edilmiş, sıçramanın görüldüğü testler iptal edilmiş ve tekrarlanmıştır.



Şekil 3.6 Termik Santral Kömür Numunelerinin Analizlere Hazırlanması Deney Akım Şeması

3.3.2. Zehirlilik Testleri

Tez çalışmasının bu bölümünde zehirlilik testleri vasıtasıyla küllerin depolama alanlarından kaynaklanabilecek kirlenici potansiyeller belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda inorganik maddelerin suya geçişleri, aşağıda detayları verilen deneysel

yöntemler yardımıyla irdelenmiştir. Bu yöntemler, metallerin zehirliliklerinin tespit edilmesi için dünya literatürlerinde küllere uygulanan yöntemlerden seçilmiştir.

Tüm testler için termik santrallardan alınan kül numuneleri 48 saat süre ile 105°C'de kurulup desikatörde soğutulmuştur. Kullanılan tüm cam ve plastik malzemeler kromik asitle yıkandıktan sonra saf su ile iyice yıkanmıştır.

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında belirlenen ham uçucu kül numunelerinin Fluka marka Lityum Tetraborat eritişi ile belirlenen kimyasal kompozisyonları, bu küllerdeki metal derişimleri olarak kullanılmıştır.

3.3.2.1. Toksik Özellik Liç Prosedürü (EPA-TCLP 1311)

Bu yöntem genellikle Amerika'da katı atıkların liç davranışlarını kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. (Egemen E. & Yurteri, C., 1996). Bu yöntemle uzun süreli olarak depolanmış atıkların içerdikleri iz elementlerin liç davranışları saptanabilir (EPA Report 1311, 1994).

40 gr kül numunesi tartılmış ve cam balon içerisine konulmuştur. Daha sonra üzerine 800 ml bidistile su (K/S=20) ve 4.56 ml glacial CH₃COOH (pH 2.88) ilave edilmiştir. Cam balon yerine yerleştirilip 18±2 saat süre ile numunenin çökmesine izin verilmeyecek hızda 22±2 °C' de karıştırma işlemi yapılmıştır. Test sonunda elde edilen liç sıvısı Schleicher & Schuell, FP 030/0,45 CA-S marka 0.45 µm'lik membran filtreden süzölmüş ve liç sıvısının element derişimleri Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresinde belirlenmiştir.

3.3.2.2. CEN/TC 292/WG2

Bu yöntem Avrupa standartları komitesi tarafından iz elementlerin demineralize su içerisindeki davranışlarını belirlemek üzere geliştirilmiş bir dizi test yöntemini kapsamaktadır (CEN/TC 292/WG2, 1994). Bunlar;

Liç Yöntemi A- Tek Aşamalı Liç Testi (K/S=1/2)

Liç Yöntemi B- Tek Aşamalı Liç Testi (K/S=1/10)

Liç Yöntemi C- İki Aşamalı Liç Testi (K/S=0-1/2 ve K/S=1/2-1/10) olmak üzere üç tanedir.

Bu tez çalışmasında küllerin liç davranışları ile ilgili kinetik veriler elde edilebilen, *Liç Yöntemi C- İki Aşamalı Liç Testi (K/S=0-1/2 ve K/S=1/2-1/10)* kullanılmıştır.

Bu yöntemde, 20 gr kül numunesi tartılmış ve erlen içerisine konulmuştur. Daha sonra üzerine 40 ml bidistile su (K/S=1/2) ilave edilmiştir. Erlen, çalkantılı masa üzerine yerleştirilmiş ve 6 ± 0.5 saat süre ile numunenin çökmesine izin vermeyecek hızda, $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de karıştırma işlemi yapılmıştır. Altı saat sonunda erlen içindeki malzeme Schleicher & Schuell, FP 030/0,45 CA-S marka $0.45\ \mu\text{m}$ 'lik membran filtreden süzölmüş ve süzölen sıvının miktarı tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen liç sıvısının pH'ı ölçümü yapılmış ve element derişimlerinin yapılması için özel polipropilen şişelere konulmuştur. Kalan numunenin üzerine K/S=1/10 olacak şekilde bidistile su ilave edilmiş ve 18 ± 0.5 saat süre ile numunenin çökmesine izin vermeyecek hızda $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de karıştırma işlemi yapılmıştır. Test sonunda elde edilen liç sıvısını almak için yine malzeme Schleicher & Schuell, FP 030/0,45 CA-S marka $0.45\ \mu\text{m}$ 'lik membran filtreden süzölmüş ve liç sıvısının pH'ı ölçüldükten sonra element analizi için polipropilen şişelere konulmuştur. Analiz okumaları Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresinde yapılmıştır

3.3.2.3. Metot-A Çözme Prosedürü (ASTM Amerikan Society of Testing and Materials)

Bu yöntem da genellikle USA'da katı atıkların liç davranışlarını kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. (Egemen, & Yurteri, 1996)

40 gr kül numunesi tartılmış ve cam balon içerisine konulmuştur. Daha sonra üzerine 800 ml bidistile su (K/S=1/20) ilave edilmiştir. Cam balon yerine yerleştirilip $24\pm 0,5$ saat süre ile numunenin çökmesine izin verilmeyecek hızda 19-

25°C'de karıştırma işlemi yapılmıştır. Test sonunda elde edilen liç sıvısı Schleicher & Schuell, FP 030/0,45 CA-S marka 0.45 µm'lik membran filtreden süzölmüş ve liç sıvısının element derişimleri Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresinde belirlenmiştir.

3.3.2.4. Sulu Çözeltilerden Cr⁶⁺ TAYİNİ

Bu yöntem 50-4000 µg/L Cr⁶⁺ içeren sulu çözeltilere uygulanmaktadır. Daha yüksek konsantrasyonlarda seyreltme yapıldıktan sonra Cr⁶⁺ tayini uygulanmaktadır. yöntem asidik çözeltide diphenycarbazide ile Cr⁶⁺'nın kırmızı-mor arası renkte ve ışığı 540 nm'de absorplayan bir çözelti oluşturmasına dayanmaktadır.

İlk önce demineralize sudan boş çözelti ve standartlar hazırlanmıştır. Daha sonra maksimum 10 ml olacak şekilde ve 4000 µg'dan daha az Cr⁶⁺ içeren örnekler behere konulmuş ve demineralize su kullanılarak 10 ml'ye tamamlanmıştır. Üzerlerine 1 ml 1.2 M sülfürik asit ve 0.5 ml diphenycarbazide eklenmiştir. 10 dakika beklenmiş renk dönüşümleri gözlemlendikten sonra 540 nm'deki absorbansları okunmuş ve gerekli hesaplar yapılmıştır.

BÖLÜM DÖRT

BULGULAR VE İRDELEME

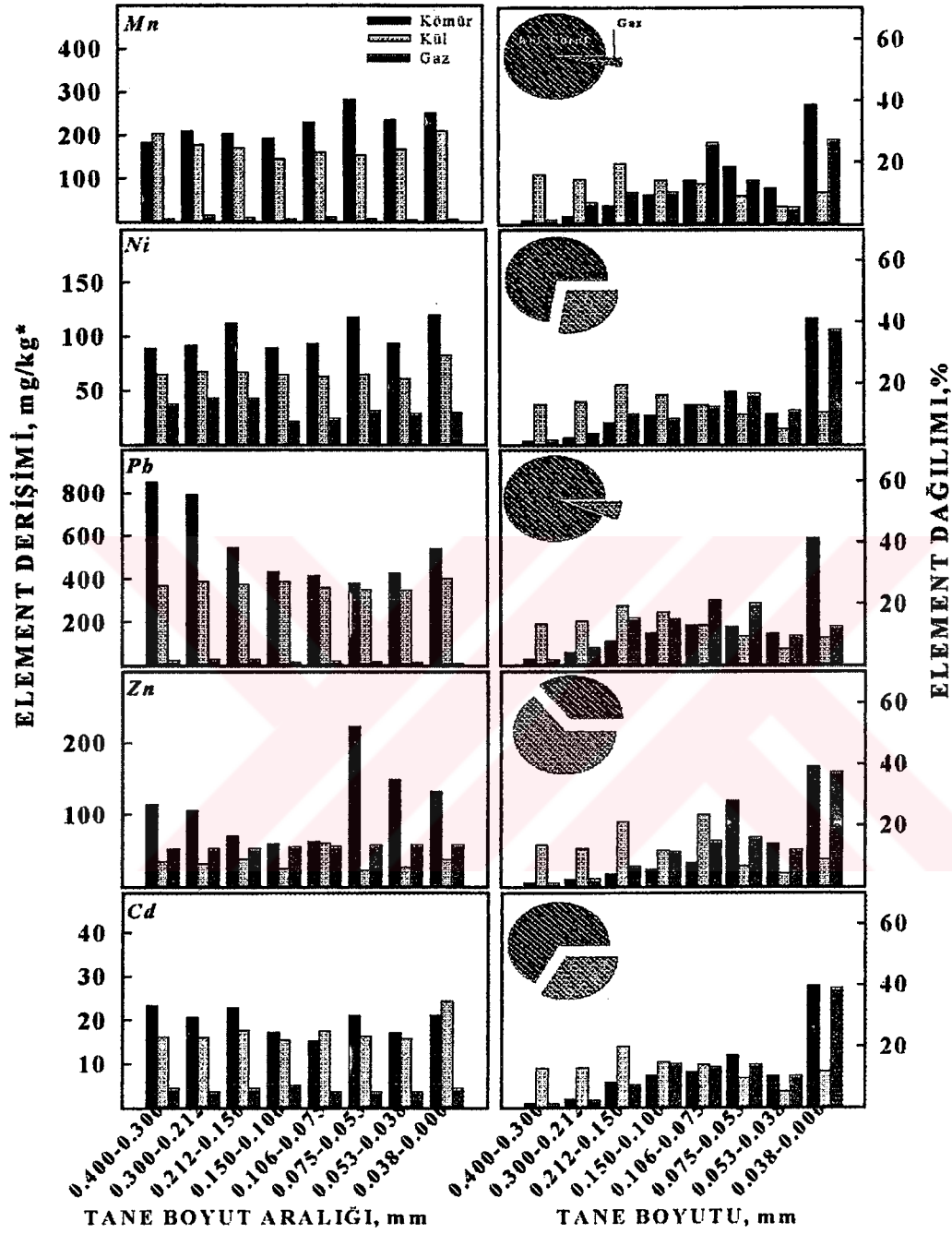
4.1. Kömür-Küllerin ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimlerinin Saptanması

Boyut analizleri yapılan tüm kül ve kömür numunelerinin içerdikleri ağır metal derişimlerinin saptanması amacıyla her bir boyutun ayrı ayrı kimyasal analizi yapılmıştır.

Kömür, kül numunelerinde, tane boyutu aralıklarına göre elde edilen çözeltilerde ağır metal ve majör elementler Perkin Elmer marka 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresinde taranmıştır. Yapılan okumaların sonuçlarına göre element derişimleri ve dağılımları saptanmıştır. Ayrıca kömürün yanması sonrasında gaz faza geçen elementlerin derişimleri de adyabatik bomba testleri yapılarak saptanmıştır. (Adyabatik sistemlerde sıcaklık kontrolü yoktur.) Elde edilen bulgular ışığında aşağıda sunulan grafikler çizilmiştir.

Şekil 4.1 - Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi Soma, Yatağan, Kemerköy, Yeniköy kömür-kül ve gaz faza geçen Mn-Ni-Pb-Zn-Cd-Cu-Cr-Ca-Co-Mo derişimleri ve bu elementlerin dağılımları sunulmuştur. XRF sonuçlarına göre saptanan diğer ana ve iz elementlerin de kimyasal analizleri yapılmış olup Ekler bölümünde sunulmuştur.

4.1.1 Soma Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri



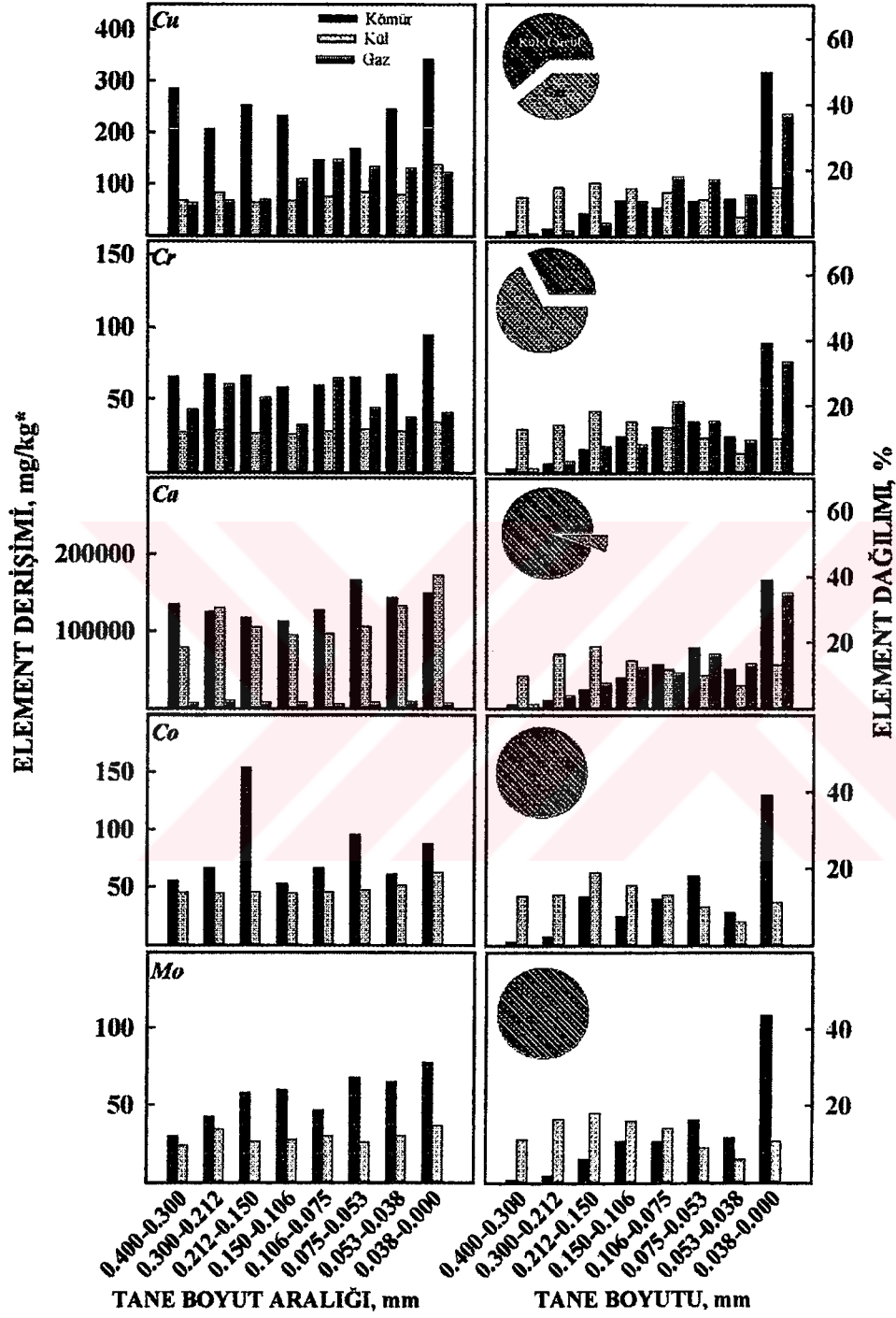
Şekil 4.1 Tane Boyut Aralığına Göre Soma Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn- Ni- Pb- Zn- Cd Derişimleri (Kül+Curuf: Kül +Curufa geçen, Gaz: Gaz faza geçen % Element Oranı; mg/kg*: 1 kg kömür veya küldeki yada 1 kg kömürün yanması sonucu ortaya çıkan gaz fazdaki element)

Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi, sol tarafta elementlerin derişimleri, sağ tarafta ise dağılımları, sağ taraftaki grafiklerin içinde sol üst köşede gaz faza geçen % element oranı sunulmuştur.

Element derişimlerine baktığımızda Pb ve Zn hariç tüm elementlerin derişimlerinde kömür, kül ve gaz fazda fraksiyonel bir artış görülmemektedir. Genelde kömür, kül ve gaz fazda derişimlerin bir kısmı iri fraksiyonlarda fazla iken diğeri ince boyutta toplanmıştır.

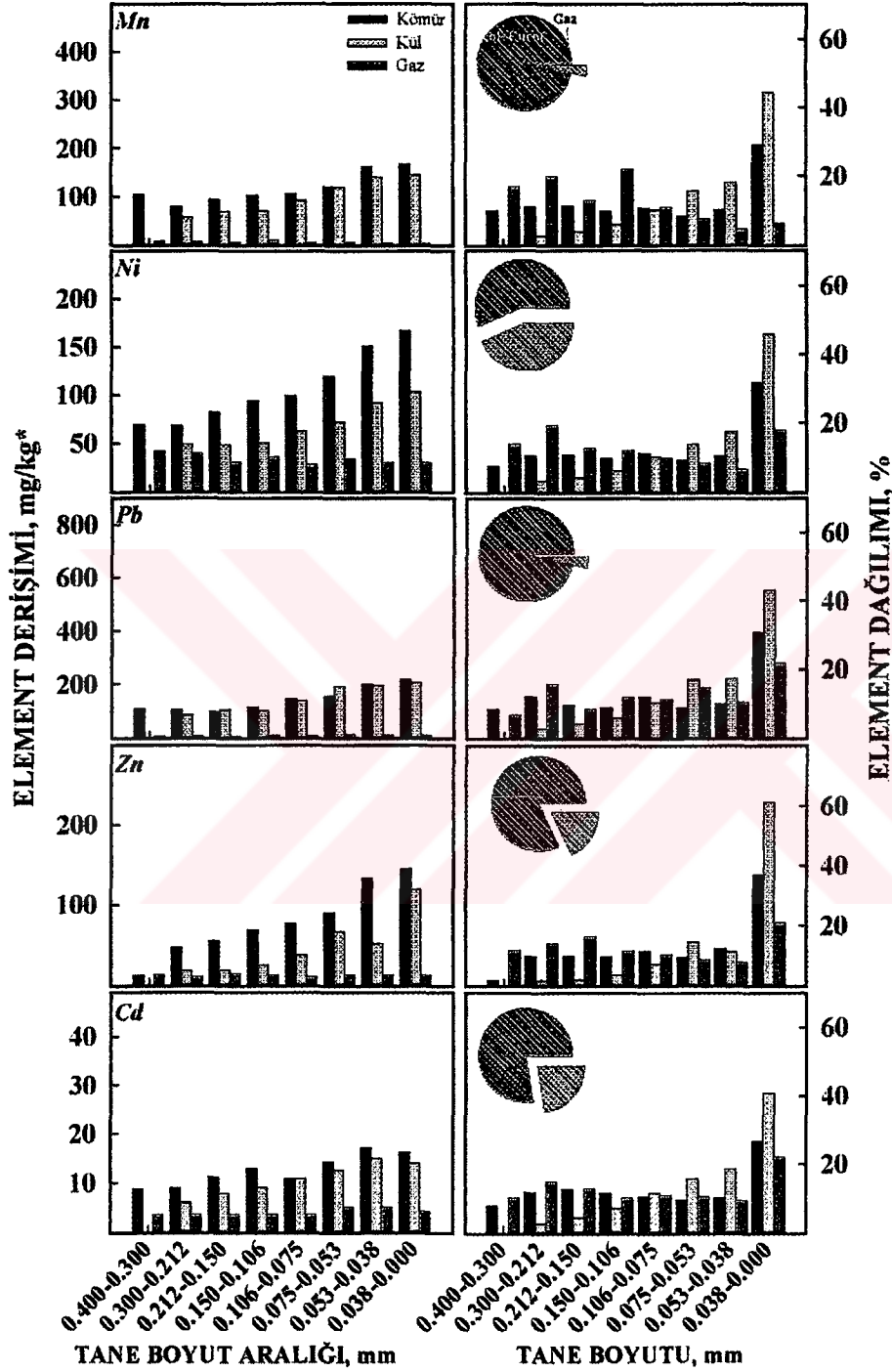
Gaz faza geçen element oranı açısından baktığımızda ise Mn-Pb-Ca'nın, Ni-Cd-Cu'nun, Zn-Cr'nin ve Co-Mo'nun aynı şekilde gaz faza geçme eğilimini gösterdiği saptanmıştır.

Kömürde yaklaşık tüm fraksiyonlarda Mn derişimi 220-270 mg/kg arasında, külde 170-200 mg/kg arasında, gaz fazda ise 25-35 mg/kg arasında değişmektedir. Dağılımına baktığımızda ise malzemenin fraksiyonel ağırlığında bağı olarak ince fraksiyonlarda artış gözlenmektedir. Gaz faza geçen Mn oranı ise MnO'nun buharlaşma derecesinin yüksek oluşu nedeniyle %3-5 arasındadır. Mejj'in yaptığı sınıflandırmaya göre Mn, IIc grubunda (az buharlaşan element) idi (Mejj, 1995). Yapılan test sonucuna baktığımızda sonuç, bu saptamayla aynı görülmektedir. Ni ve Cd derişimleri aynı dağılım özelliklerini taşımakta sırasıyla; kömürde 100-130 mg/kg Ni, 20-25 mg/kg Cd; külde 65-85 mg/kg Ni, 20-22 mg/kg Cd; gaz fazda ise 35-45 mg/kg Ni, 3-5 mg/kg Cd arasında değişmektedir. Dağılımlarının ise ince fraksiyonda biraz daha fazla olduğu gözlenmektedir. Gaz faza geçen element oranı ise %45 Ni – Cd olduğu görülmektedir. Pb derişimi kömürde iri fraksiyonda daha fazla olup kül ve gazda eşit bir dağılım göstermektedir. PbO'nun buharlaşma derecesinin düşük olmasına rağmen gaz faza geçen Pb oranı %8-10 civarındadır. Şekil.2'dende görüldüğü gibi Cu-Cr'nin element derişimleri ise yine Ni ve Cd ile aynı özellikleri taşımakta olup, kömürde 250-300 mg/kg Cu, 75-85 mg/kg Cr; külde 85-125 mg/kg Cu, 50-65 mg/kg Cr; gaz fazda ise 35-45 mg/kg Ni, 35-45 mg/kg Cr arasında değişmektedir. Ca-Co-Mo derişimlerine baktığımızda ise kömür ve küllerde fraksiyonel bir farklılık gözlenmemekte ancak gaz faza geçen element derişimine baktığımızda Ca da çok az bir miktarda olduğu, Mo ve Co da ise hiç olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 4.2 Tane Boyut Aralığına Göre Soma Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri

4.1.2 Yatağan Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri



Şekil 4.3 Tane Boyut Aralığına Göre Yatağan Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri

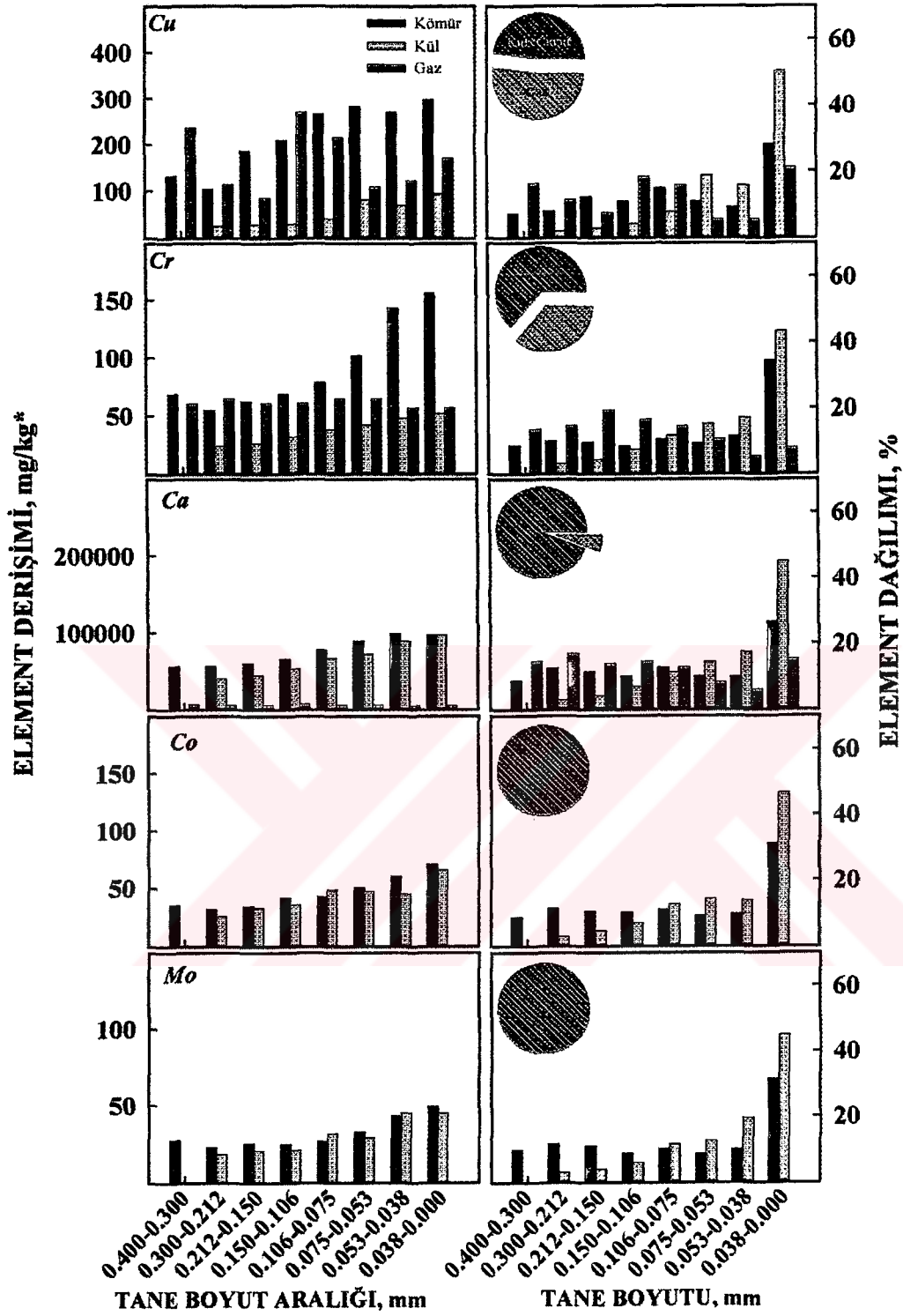
Yatağan örnekleri üzerinde yaptığımız çalışmaların sonuçlarına göre, Mn-Ni-Cr-Pb-Zn-Mo elementlerin derişimlerinde kömürde fraksiyonel bir artış görülmektedir. Diğer elementlerde ise kömür derişimlerin bir kısmı iri fraksiyonlarda fazla iken bir kısmı da ince boyutta toplanmıştır.

Külde ise tüm element derişimlerinde fraksiyonel bir artış söz konusudur. Bu artış; kül yüzeyinin ince fraksiyonlarda daha fazla olduğu ve yanma sonrasında buharlaşan elementlerin bu ince tanelerde daha fazla yoğunlaştığına bağlanabilir. Dağılımda ise kömür-kül ve gazda $-0,038$ mm boyutunda bir artış söz konusudur. Bu oran elementlere göre %40 ile %60 arasında değişmektedir.

Gaz faza geçen element oranı açısından baktığımızda ise Mn-Pb-Ca'nın %3-6'sının, Cr'un %45'inin, Zn-Cr-Cd'un %40'ının, Ni-Cu'nun %50-65'inin ve Co-Mo'in ise gaz faza hiç geçmediği saptanmıştır.

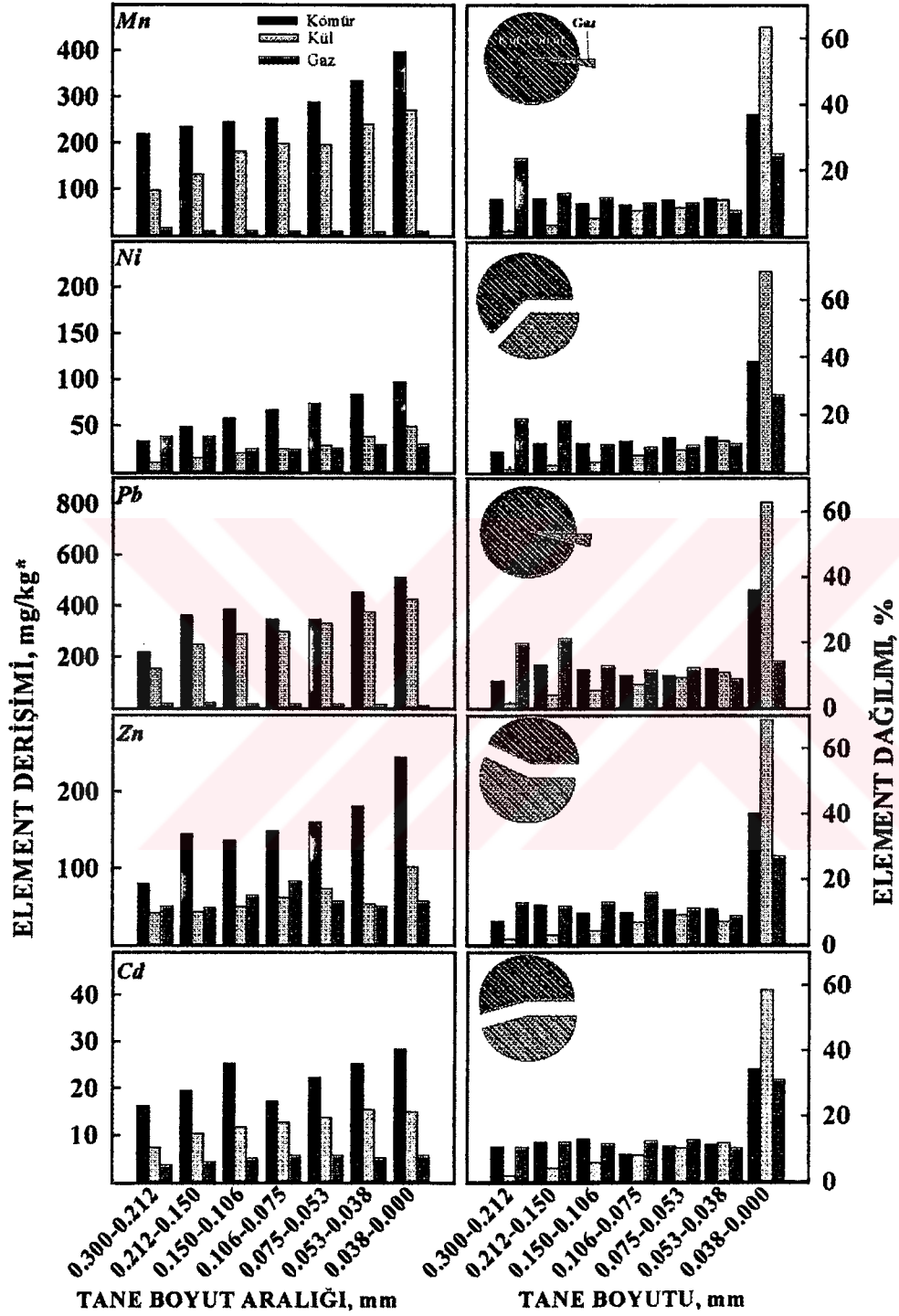
Gaz faza geçen elementlerin derişimleri ile gaz faza geçen % element birbiriyle orantılı olarak artıp azalmaktadır. Örneğin Mn gaz fazda %5 element oranındadır. Kömürdeki Mn 80-165 mg/kg arasında, küldeki Mn 65-150 mg/kg arasında ve gaz fazdaki Mn derişiminin 3-15 mg/kg arasında değiştiği göz önüne alınırsa basit bir hesaplama ile gaz fazdaki element oranının neden % 5 olduğu bulunabilir. Kömür bünyesindeki elementlerin yanma sonrasında bir kısmının baca gazında, bir kısmının ise küller üzerinde toplandığı Bölüm 2'de ayrıntılı olarak verilmişti. Gaz fazdaki ve küldeki Mn derişimleri toplandığında, kömürdeki Mn derişimine yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir.

Genel olarak tüm element dağılımına Şekil 4.3 ve 4.4'ten de görüldüğü gibi malzemenin %Ağ oranlarına bağlı olarak dağılımın $-0,038$ mm'de toplandığı rahatlıkla görülmektedir.

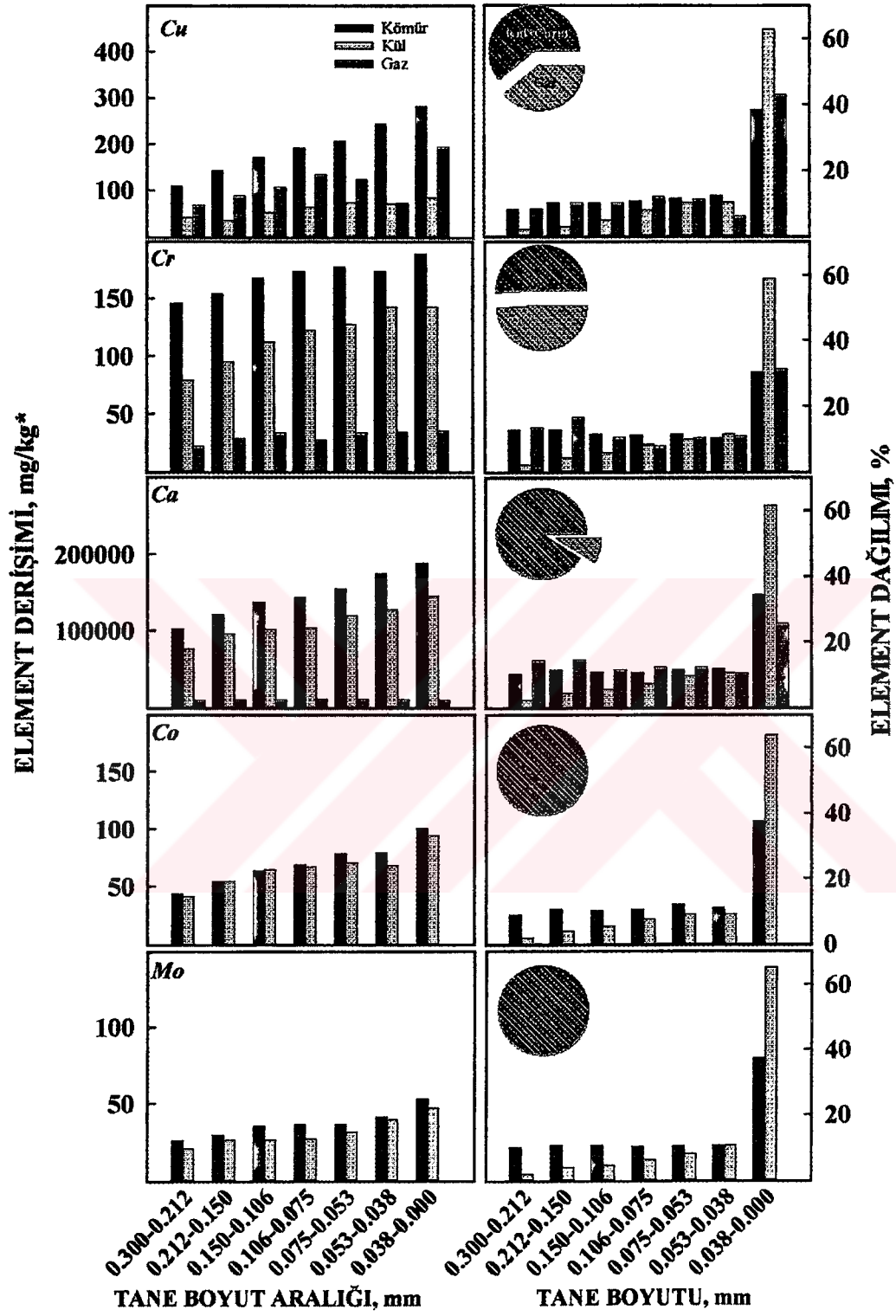


Şekil 4.4 Tane Boyut Aralığına Göre Yatağan Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri

4.1.3 Kemerköy Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri



Şekil 4.5 Tane Boyut Aralığına Göre Kemerköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri



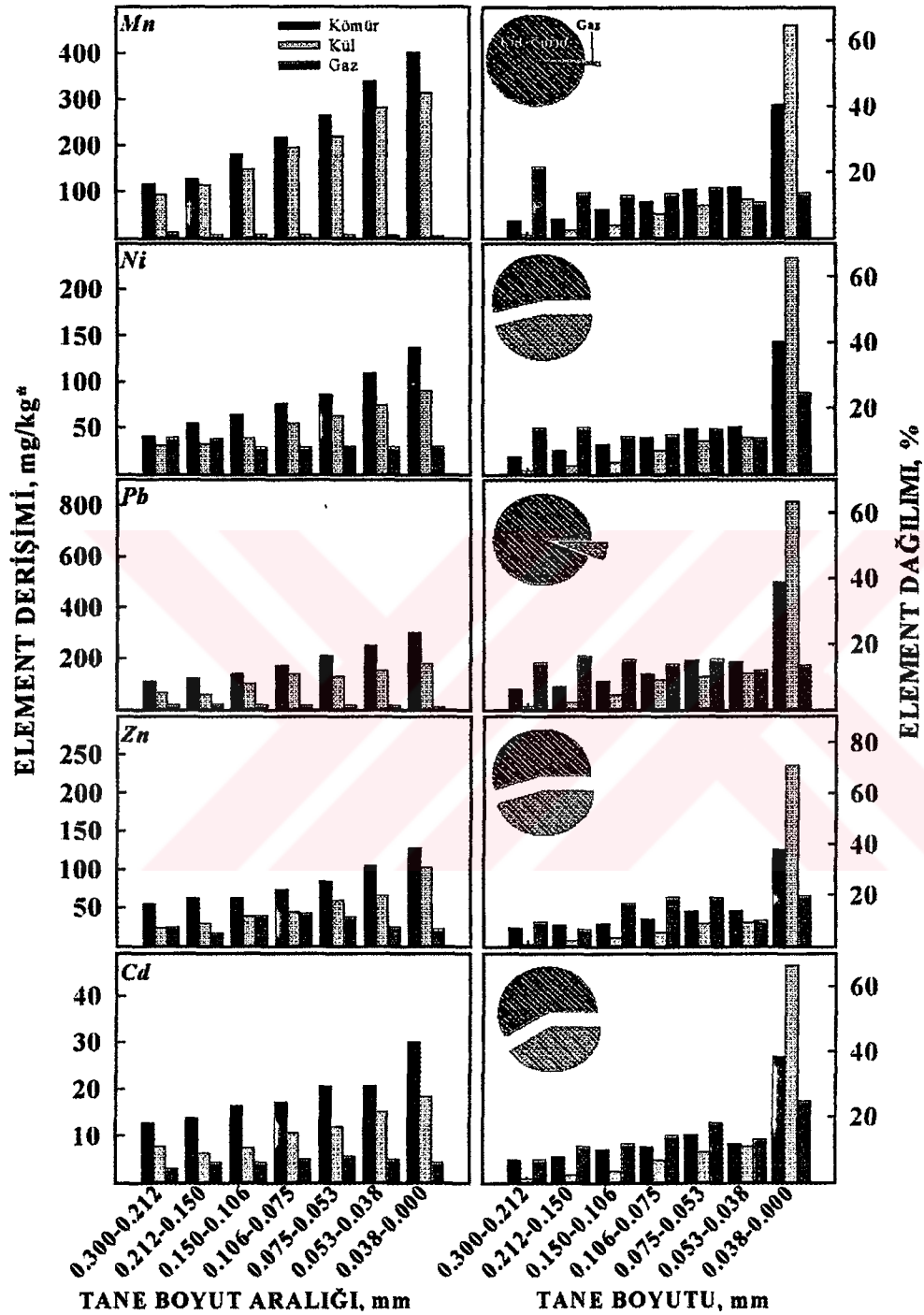
Şekil 4.6 Tane Boyut Aralığına Göre Kemerköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri

Kemerköy örnekleri üzerinde yaptığımız çalışmaların sonuçlarına göre tüm elementlerin derişimlerinde kömürde ve külde ince fraksiyonlara doğru fraksiyonel bir artışın görüldüğü saptanmıştır. Gaz fazda ise bu artış görülmemektedir. Yine bu artış; kül yüzeyinin ince fraksiyonlarda daha fazla olduğu ve yanma sonrasında buharlaşan elementlerin bu ince tanelerde daha fazla yoğunlaştığına bağlanabilir. Dağılımda ise kömür-kül ve gazda tüm elementlerde, $-0,038$ mm boyutunda %70'lere varan bir oran söz konusudur.

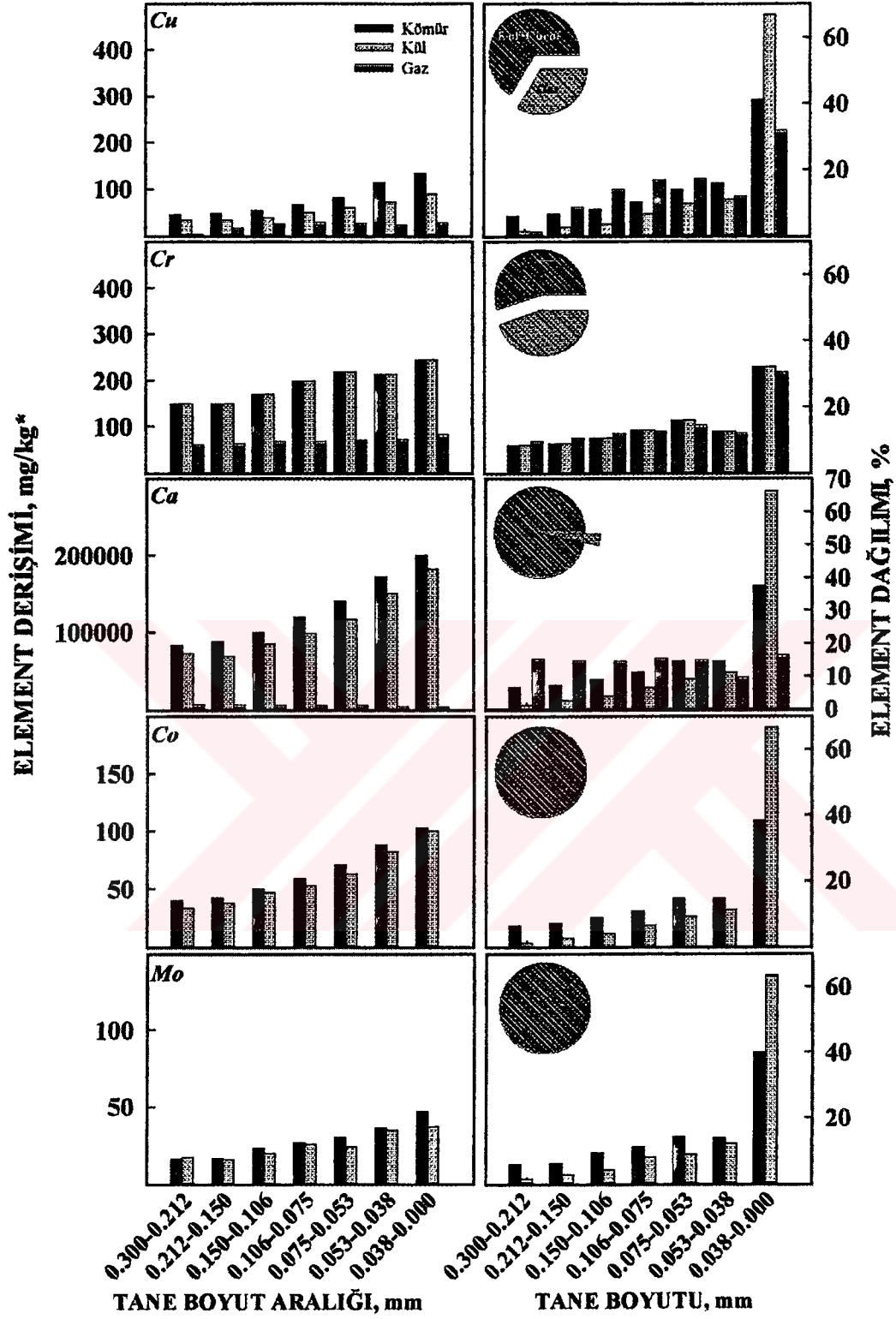
Gaz faza geçen element oranı açısından baktığımızda ise yine Soma ve Yatağan örneklerinde olduğu gibi Mn-Pb-Ca'nın, Co-Mo'nun aynı element dağılımına sahip oldukları görülmektedir. Yine Ni-Cd ve Cr benzer özellikler gösterirken Zn Kemerköy kömüründe gaz faza %80'lerde bir oranla geçmiştir. Şekil 4.5'ten de görüldüğü gibi, kül ve gaz fazdaki element derişimleri birbirine çok yakın olmakla birlikte kömürdeki Zn derişimi gaz fazdaki derişimin yaklaşık 1,5-2 katıdır. Bu da bu oranın neden arttığını açıklamaktadır. Mn ve Co'a geçen gaz fazdaki element derişiminin az olmasının nedeni ise bu elementlerin çok yüksek derecelerde buharlaşma özelliğine sahip olmasıdır.

Genel olarak tüm element dağılımında Şekil 4.5 ve 4.6'dan da görüldüğü gibi malzemenin %Ağ oranlarına bağlı olarak, dağılımın $-0,038$ mm'de toplandığı rahatlıkla görülmektedir.

4.1.3 Yeniköy Kömür-Külünün ve Gaz Fazın Tane Boyutlarına Göre Element Derişimleri



Şekil 4.7 Tane Boyut Aralığına Göre Yeniköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişimleri



Şekil 4.8 Tane Boyut Aralığına Göre Yeniköy Kömür, Kül ve Gaz Fazındaki Cu-Cr-Ca-Co-Mo Derişimleri

Yeniköy örnekleri üzerinde yaptığımız çalışmaların sonuçlarına göre tüm elementlerin (Mn,Ni,Pb,Zn,Cd,Cu, Cr, Ca, Co, ve Mo) derişimlerinde kömürde ve külde ince fraksiyonlara doğru fraksiyonel bir artışın görüldüğü saptanmıştır. Gaz fazda ise bu artış görülmemektedir. Yine bu artış; kül yüzeyinin ince fraksiyonlarda daha fazla olduğu ve yanma sonrasında buharlaşan elementlerin bu ince tanelerde daha fazla yoğunlaştığına bağlanabilir. Dağılımda ise kömür-kül ve gazda tüm elementlerde, yine kemerköy numunelerinde olduğu gibi $-0,038$ mm boyutunda %70'lere varan bir oran söz konusudur.

Gaz faza geçen element oranı açısından baktığımızda ise yine Soma ve Yatağan örneklerinde olduğu gibi Mn-Pb-Ca'nın, Co-Mo'nun aynı element dağılımına sahip oldukları görülmektedir. Yine Ni-Cd-Zn ve Cr benzer özellikler göstermektedir. Mo ve Co'a geçen gaz fazda diğer santrallerde olduğu gibi geçmemiştir. Bunun nedeninin ise Mo ve Co'ın çok yüksek sıcaklıklarda buharlaşma özelliğine sahip olması düşünülmektedir.

Genel olarak tüm element dağılımında Şekil 4.7 ve 4.8'den de görüldüğü gibi malzemenin %Ağ oranlarına bağlı olarak, dağılımın $-0,038$ mm'de toplandığı rahatlıkla görülmektedir.

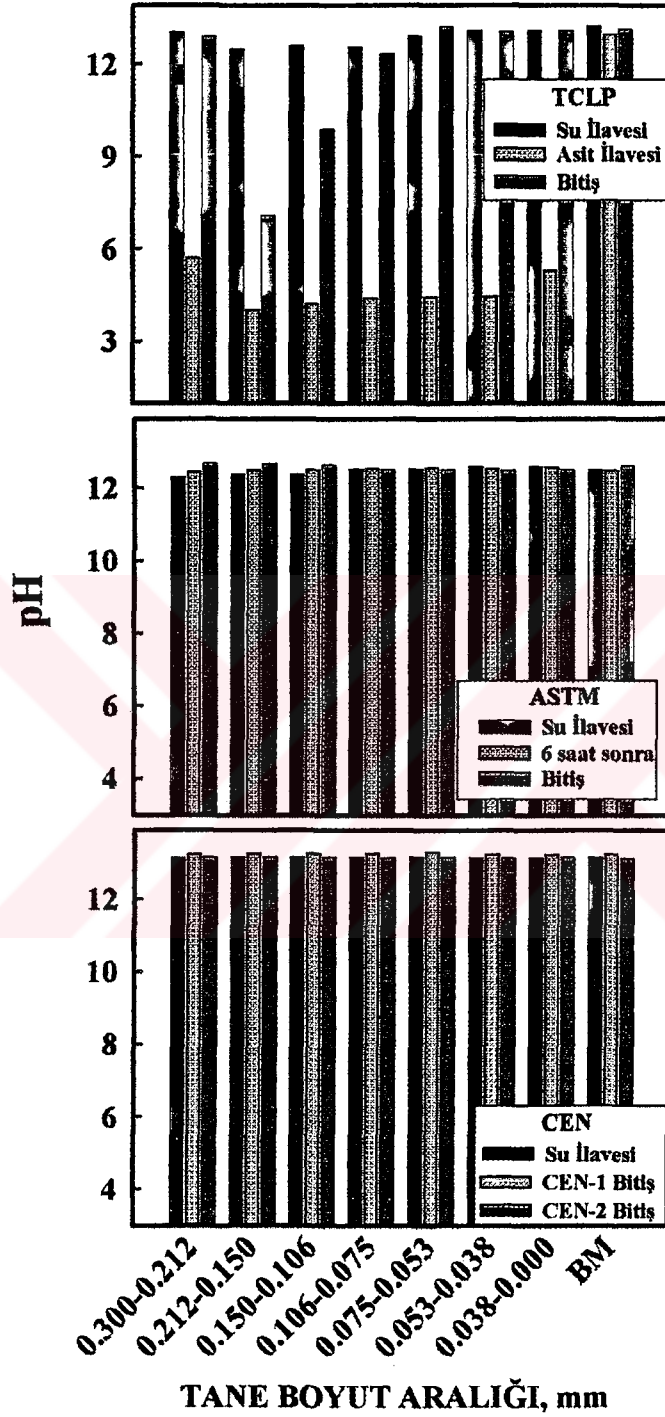
4.2. Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metallerin Tespiti

Kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atıkların (kül ve curuf) bir çok toksik element içerdiği bilinmektedir. Bu elementlerin su kaynaklarına sızması, atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili çevresel etkiler açısından büyük önem taşımaktadır. Yanma artığı olan bu küller genellikle geniş hacimli havuzlar veya düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Az olmakla birlikte, deniz deşarjı uygulamasına da rastlanmaktadır. Bütün bertaraf yöntemlerinde, küllerin su ile teması söz konusudur. Çeşitli kül liçi deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre, uçucu küllerde bulunan toksik eser elementler, külün suyla teması sonucu suya geçebilmektedir (Eisenberg vd., 1986) ve bu elementler yüksek çözünürlükleri nedeniyle, olumsuz çevresel etkiler yaratma potansiyeline sahiptir.

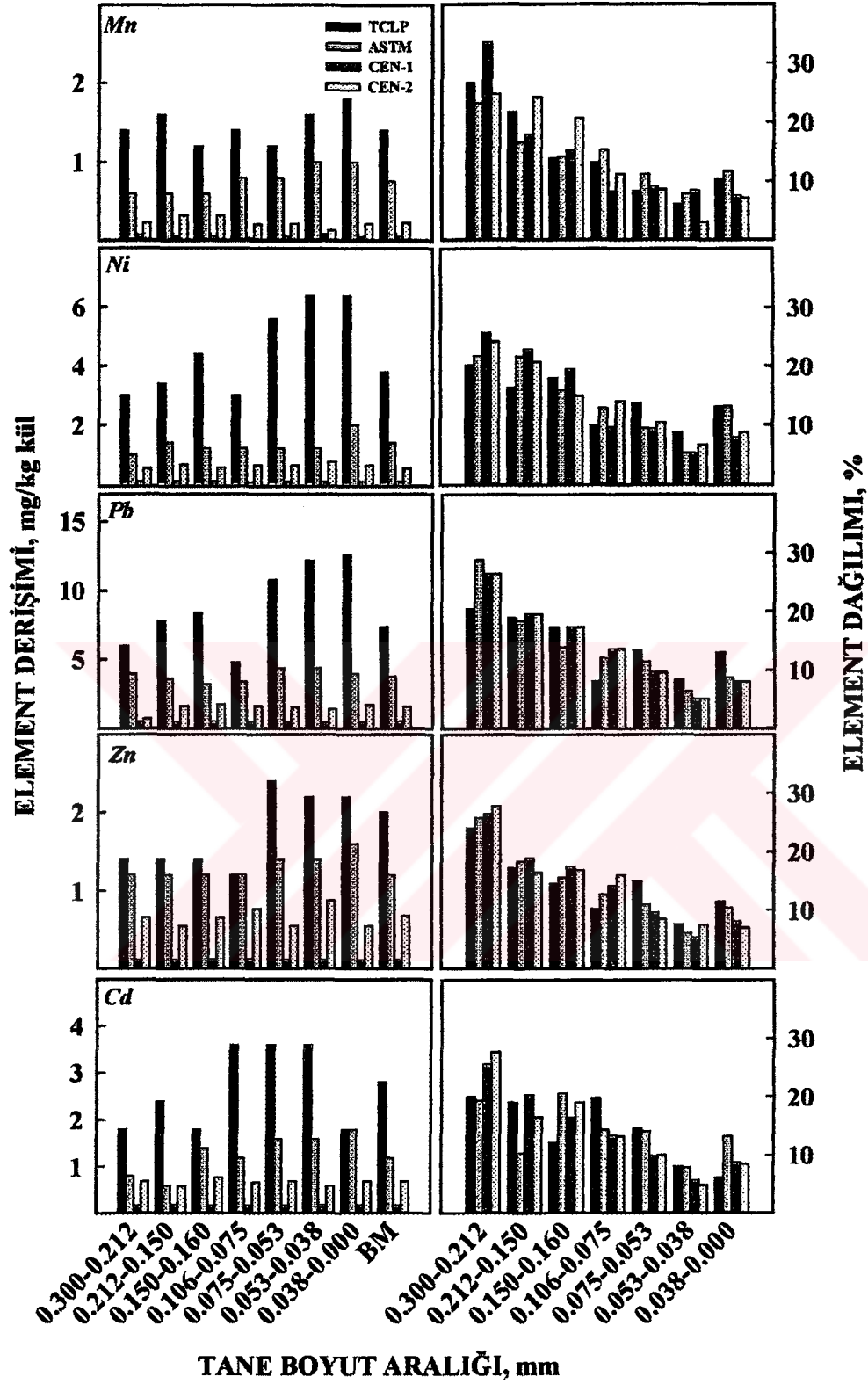
Bu bölümde, küllerin depolama alanlarından kaynaklanabilecek kirletici potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda inorganik maddelerin suya geçişi deneysel yöntemlerle tespit edilmiş ve elde edilen bulgular irdelenmiştir.

Zehirlilik testlerinde aşağıda sunulan şekillerden de görüldüğü gibi üç ayrı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki TCLP testi olup zayıf asidik ortamda küllerin asit yağmurlarına maruz kalmasını simüle eden bir test yöntemidir. Gerçekte asidik şehir atıkları için uygulanan bir yöntemdir ve bazik karakterli küller için uygulansa da çok uygun bir yöntem değildir. Bunun nedeninin ise çözeltinin pH'ının sabit kontrol altına alınamamasının olduğu düşünülmektedir. Diğer iki yöntem ise ekstraksiyon ortamı olarak saf suyun kullanıldığı testler olup, CEN testinde kinetik parametre eldesi mümkündür. Tüm yöntemlerdeki liç işlemi sırasında ortamın pH kontrolü de çözünmeyi değiştiren önemli bir etken olduğu için çalışmalar sırasında örneklerin pH ölçümleri alınmıştır.

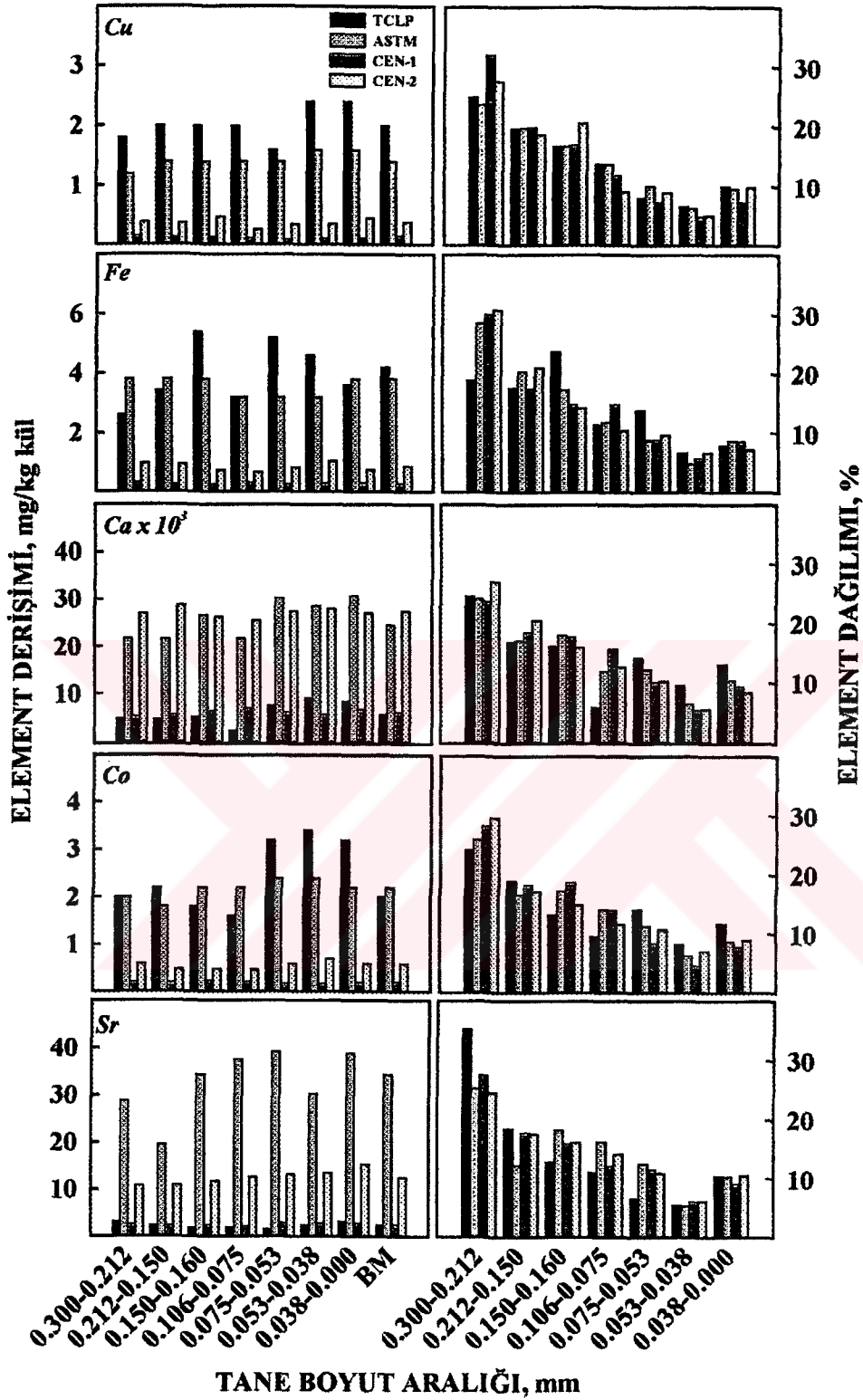
4.2.1 Soma Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları



Şekil 4.9 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri



Şekil 4.10 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri



Şekil 4.11 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Soma Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri

Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi TCLP, ASTM, CEN yöntemi uygulanan Soma kül numunesinin test yöntemlerinde belirtilen katı/sıvı oranlarında pH ölçümleri alınmıştır.

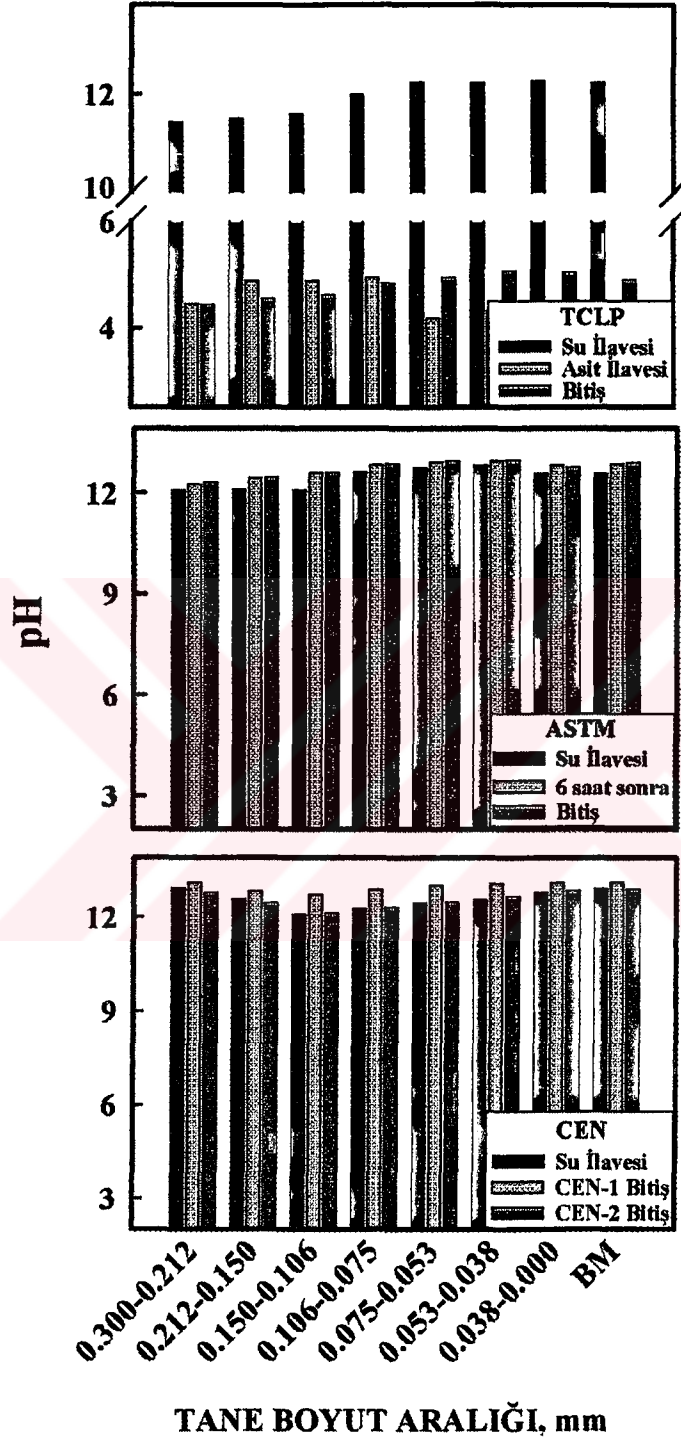
Buna göre TCLP yönteminde su ilavesinden sonra alınan pH ölçümünden pH değerlerinin tüm fraksiyonlarda birbirine yakın olduğu (pH=12-5-13), eklenen asitten hemen sonra (bir-iki dakika karıştırma işleminden sonra) numunelerinin pH'ının geçici bir süre ile düştüğü (pH=5-5.7) ve daha sonra numune içerisindeki yüksek miktarlarda olan (%33.77) CaO'lerin çözündüğü ve pH değerinin tekrar yükseldiği gözlenmektedir.

ASTM ve CEN yönteminde de yapılan tüm ölçümlerde numune fraksiyonları arasındaki pH farkının çok olmadığı 12.5-13.2 arasında olduğu çizilen grafiklerden de gözlenmektedir.

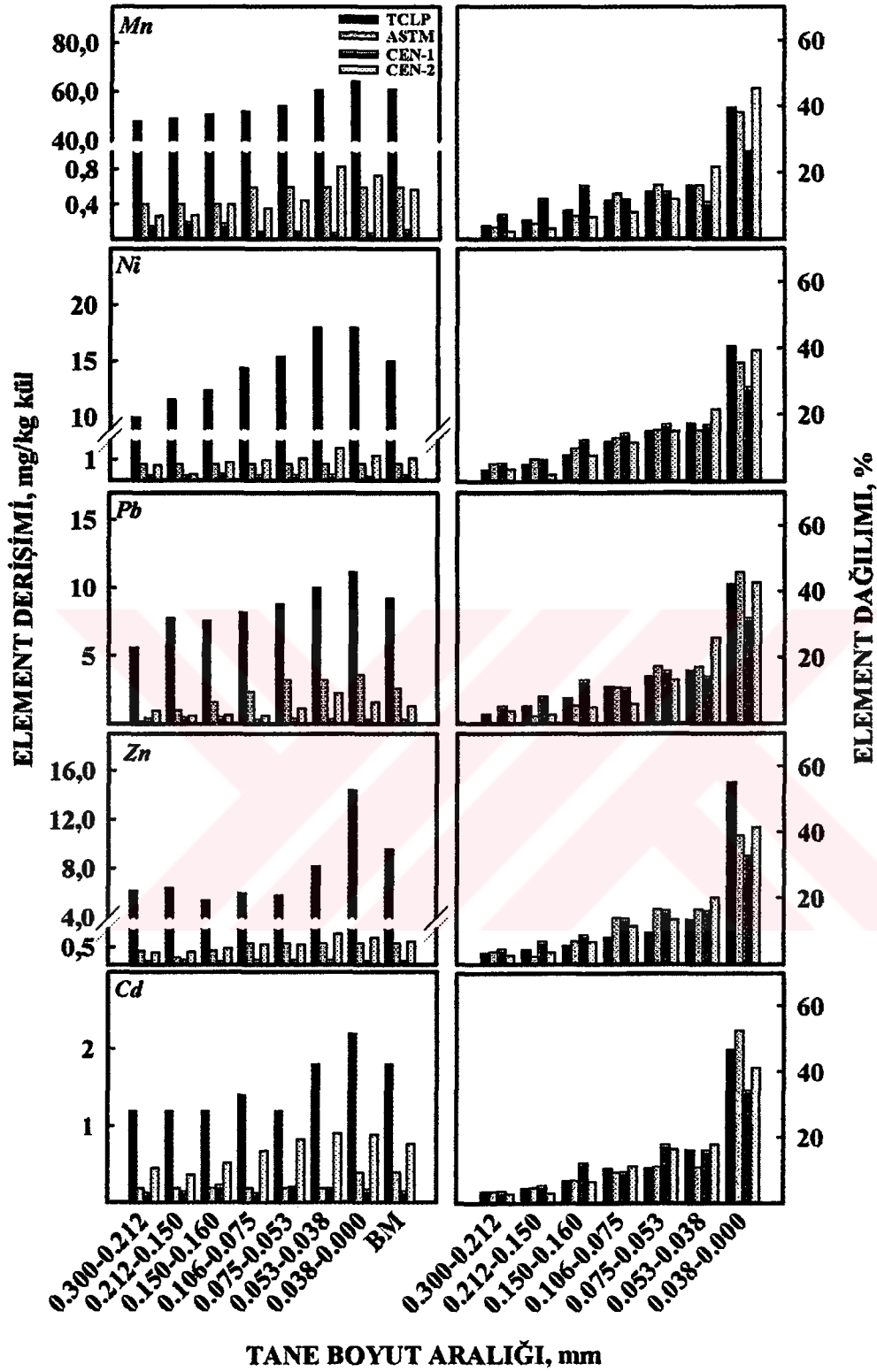
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de Soma kül numunesinin, boyut dağılımına bağlı olarak uygulanan testler sonucu elde edilen liç sıvısındaki ağır metal derişimleri ve bu metallerin boyuta göre element dağılımları sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi, Sr ve Ca dışında görülen tüm elementlerde TCLP yöntemi sonucu elde edilen liç sıvısındaki element derişimleri diğer yöntemlerdeki element derişimlerinden daha fazladır. Element dağılımı üst fraksiyonlarda, malzemenin yüzdesel olarak miktarına bağlı olarak artmaktadır.

Örneğin; Cd'un TCLP yöntemindeki element derişimi 1.8-3.6 mg/kg arasında değişirken ASTM prosedürü sonundaki Cd derişimi 0.9-1.8 mg/kg arasında, CEN-1 sonunda 0.03 mg/kg, CEN-2 sonunda 0.8-0.9 mg/kg arasında değişmektedir. yöntemleri birbirleriyle karşılaştırdığımızda en fazla çözünmenin TCLP yönteminde olduğu ASTM ve CEN yöntemi sonunda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

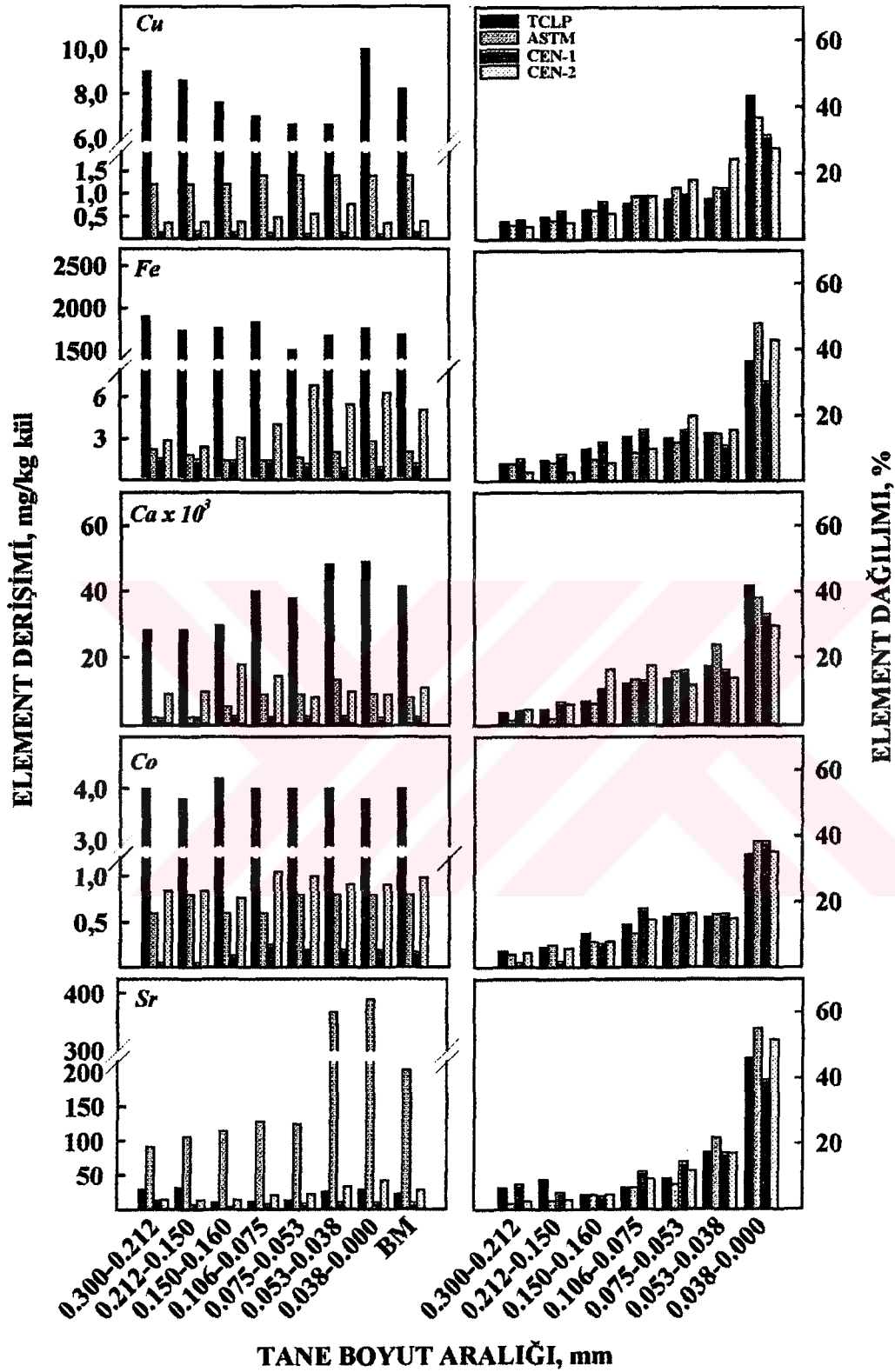
4.2.2 Yatağan Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları



Şekil 4.12 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri



Şekil 4.13 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri



Şekil 4.14 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yatağan Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri

Şekil 4.12'den de görüldüğü gibi TCLP, ASTM, CEN yöntemi uygulanan Yatağan kül numunesinin test yöntemlerinde belirtilen katı/sıvı oranlarında pH ölçümleri alınmıştır.

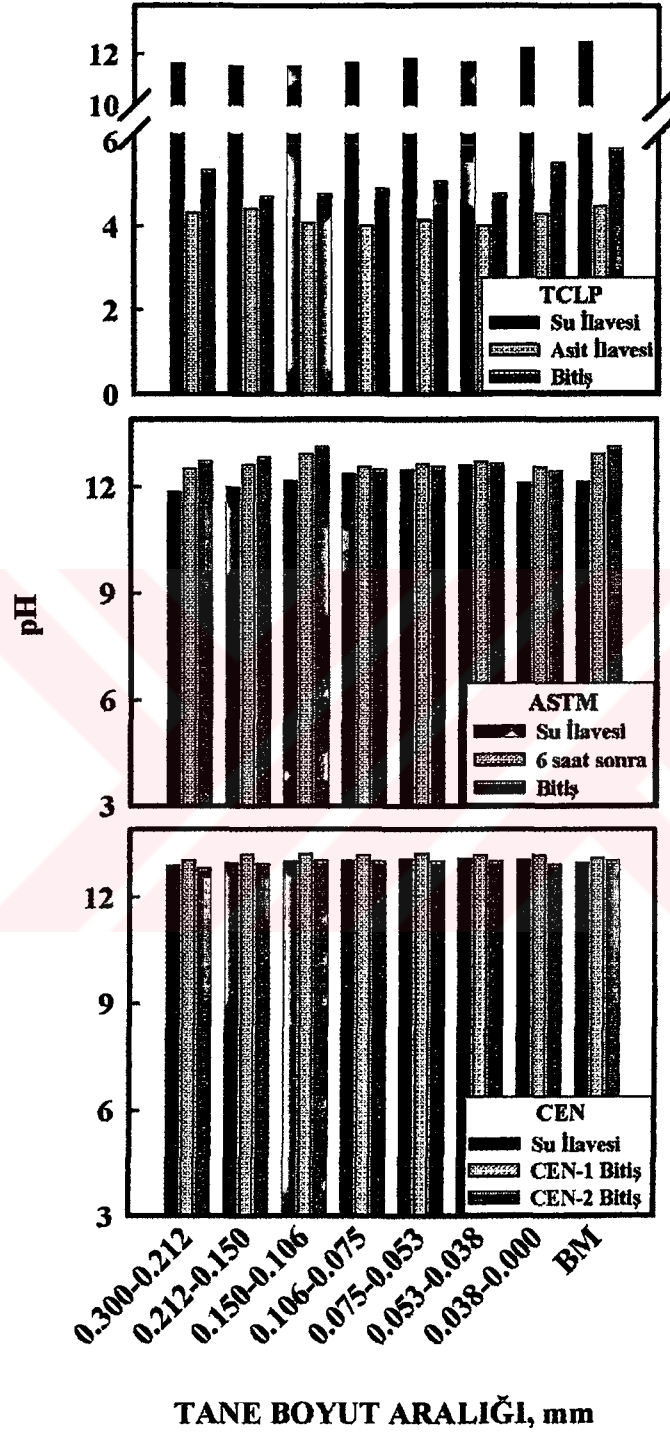
Buna göre TCLP yönteminde su ilavesinden sonra alınan pH ölçümünden değerlerin tüm fraksiyonlarda birbirine yakın olduğu (pH=11.5-12), eklenen asitten sonra numunelerinin pH'ının düştüğü (pH=4-5.6) ve test sonunda asit ilavesinden sonraki pH değerlerine yakın değerlerde (pH=4-5.8) kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni yatağan numunesinin içerdiği CaO oranının düşük, SO₃ oranının ise yüksek oluşuna bağlamak mümkündür. İlave edilen asit CaO tarafından Soma'da olduğu gibi tüketilememekte bir taraftan da SO₃ pH'ın yükselmesine izin vermemektedir. Dolayısıyla sonuç pH'ı yükselmektedir.

ASTM ve CEN yönteminde de yapılan tüm ölçümlerde numune fraksiyonları arasındaki pH farkının çok olmadığı 12.5-13 arasında olduğu çizilen grafiklerden de gözlenmektedir.

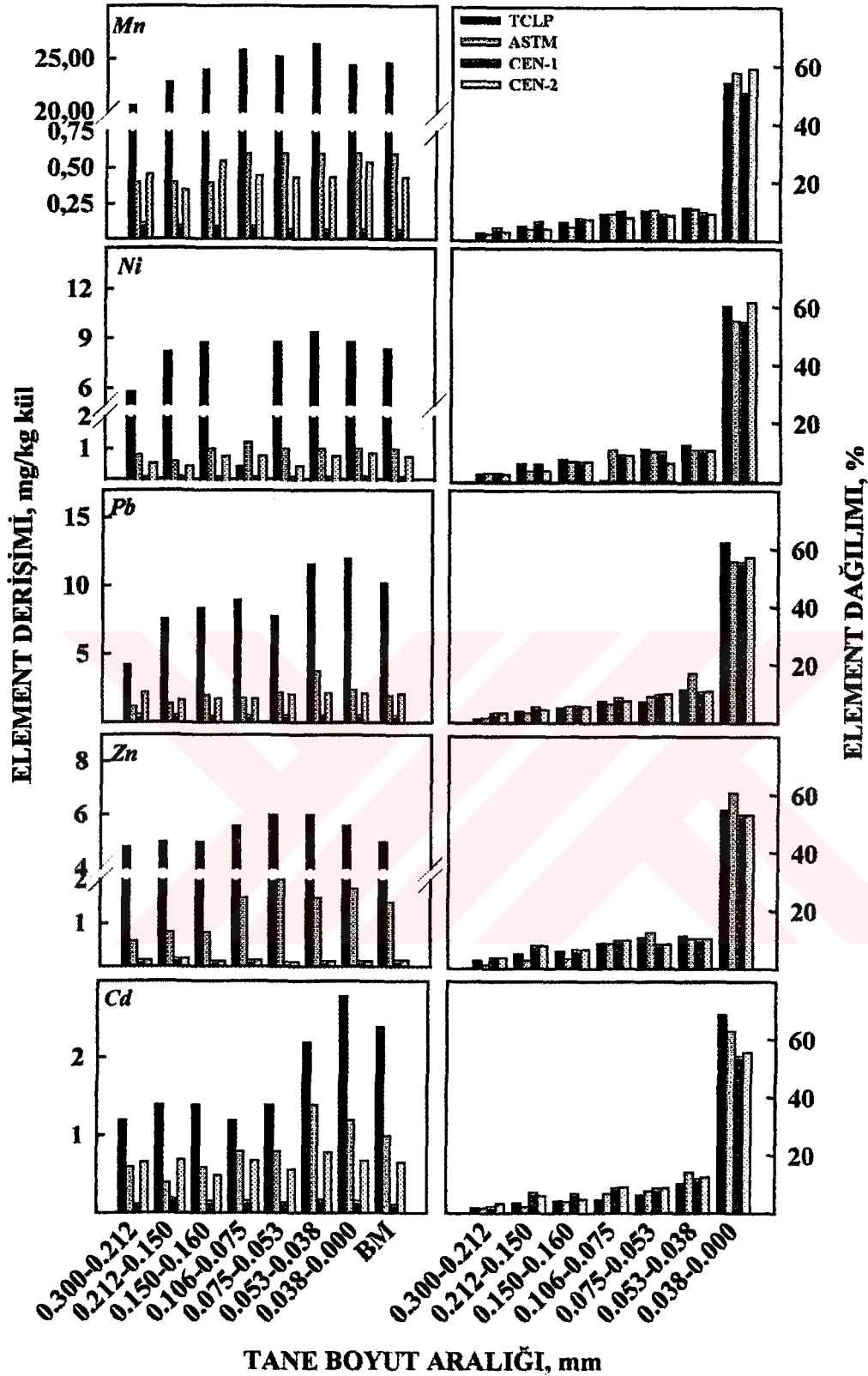
Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te Yatağan kül numunesinin, boyut dağılımına bağlı olarak uygulanan testler sonucu elde edilen liç sıvısındaki ağır metal derişimleri ve bu metallerin boyuta göre element dağılımları sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi, Sr dışında görülen tüm elementlerde TCLP yöntemi sonucu elde edilen liç sıvısındaki element derişimleri diğer yöntemlerdeki element derişimlerinden daha fazladır. Element dağılımı ise malzeme miktarına bağlı olarak ince fraksiyonlarda toplanmıştır.

Örneğin; Cd'un TCLP yöntemindeki element derişimi 1.2-2.1 mg/kg arasında değişirken ASTM prosedürü sonundaki Cd derişimi 0.7-0.9 mg/kg arasında, CEN-1 sonunda 0.03 mg/kg, CEN-2 sonunda 0.5-0.9 mg/kg arasında değiştiği görülmektedir. yöntemleri birbirleriyle karşılaştırdığımızda en fazla çözünmenin TCLP yönteminde olduğu CEN ve ASTM yöntemi sonunda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

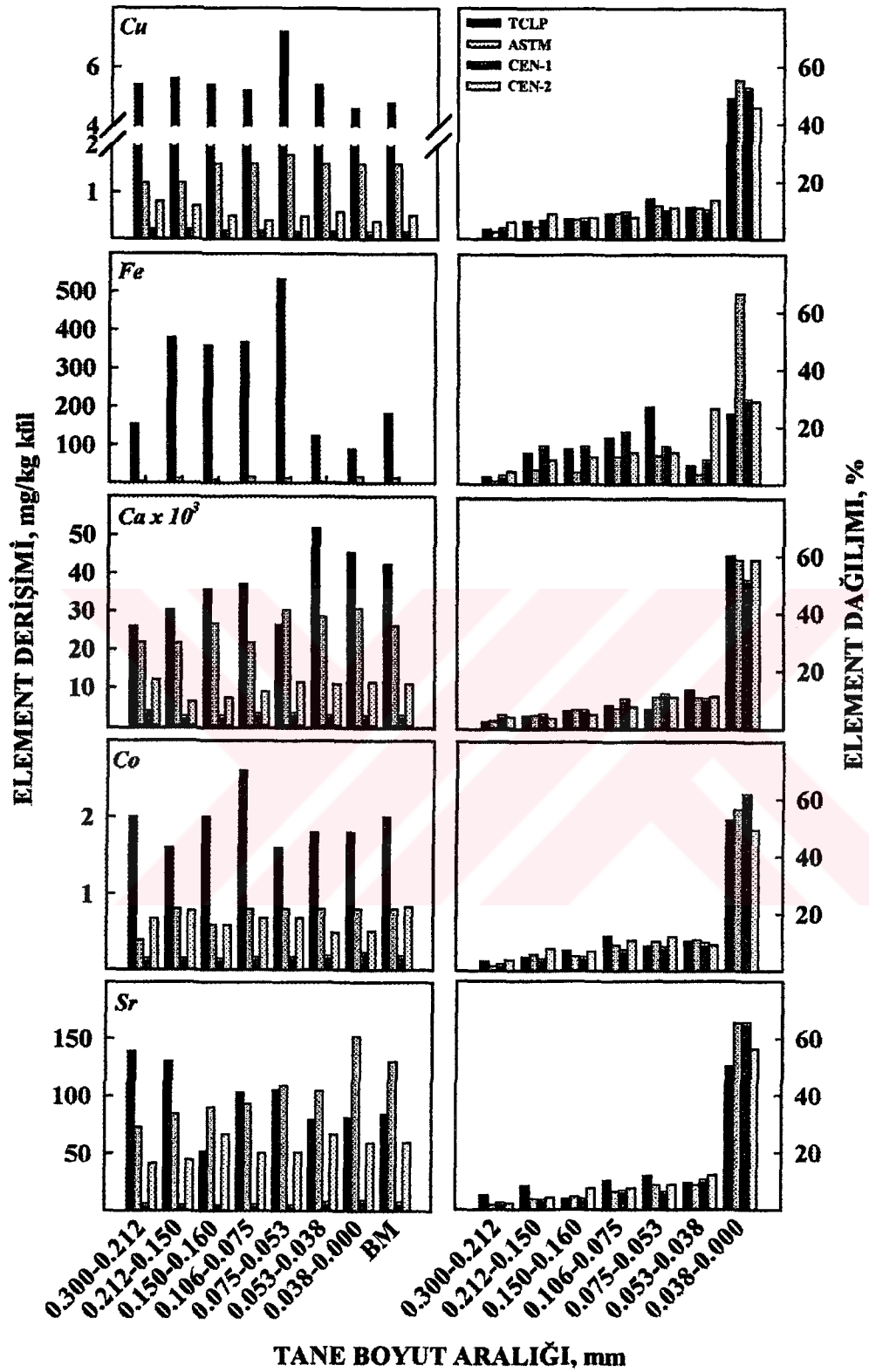
4.2.3 Kemerköy Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları



Şekil 4.15 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri



Şekil 4.16 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri



Şekil 4.17 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri

Şekil 4.15'den de görüldüğü gibi TCLP, ASTM, CEN yöntemi uygulanan Kemerköy kül numunesinin test yöntemlerinde belirtilen katı/sıvı oranlarında pH ölçümleri sunulmaktadır.

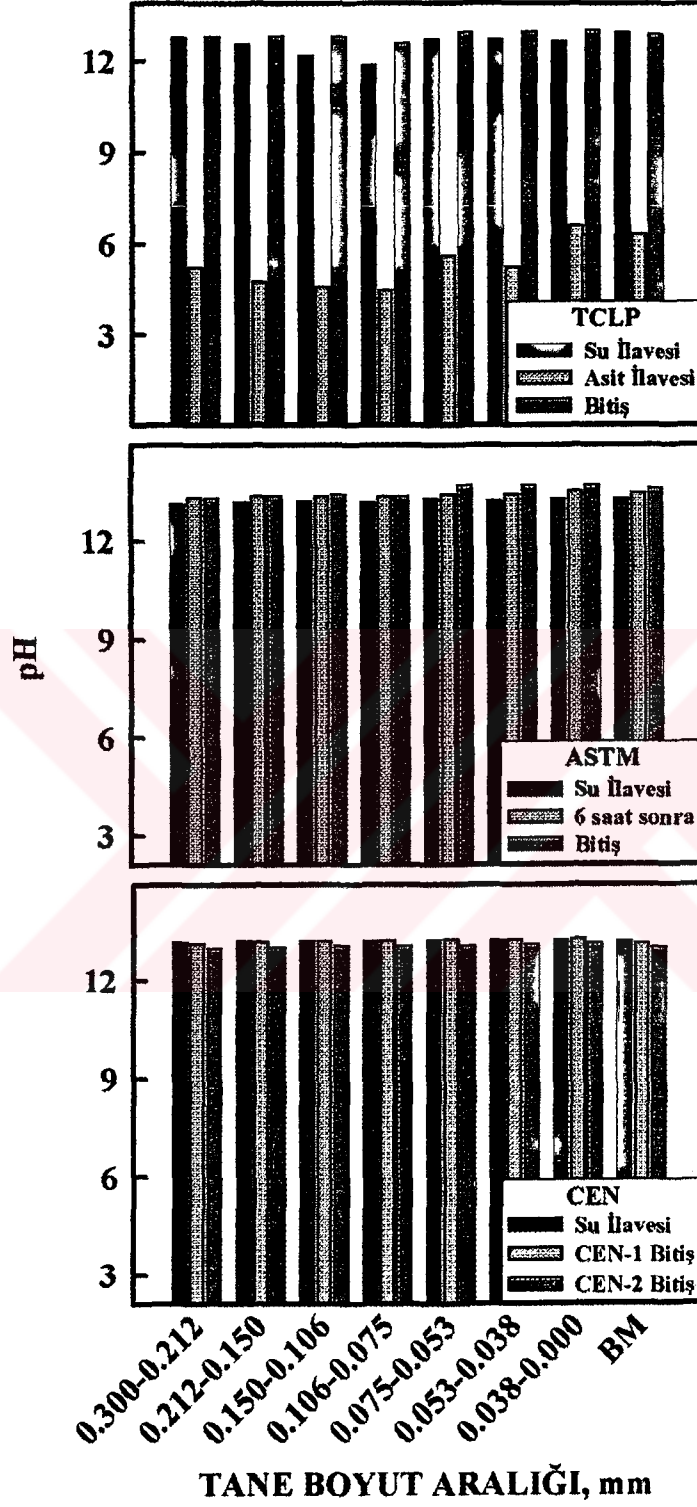
Buna göre TCLP yönteminde su ilavesinden sonra alınan pH ölçümünden değerlerin tüm fraksiyonlarda birbirine yakın olduğu (pH=11.7-12), eklenen asitten sonra numunelerinin pH'ının düştüğü (pH=4-5.5) ve test sonunda asit ilavesinden sonraki pH değerlerine yakın değerlerde (pH=4-5.8) kaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin ise yine yatağan numunesinde olduğu gibi kemerköy numunesindeki CaO oranının düşük, SO₃ oranının ise yüksek oluşuna bağlamak mümkündür. İlave edilen asit, CaO tarafından Soma'da olduğu gibi tüketilememekte bir taraftan da SO₃ pH'ın yükselmesine izin vermemektedir. Dolayısıyla sonuç pH'ı yükselmektedir.

ASTM ve CEN yönteminde de yapılan tüm ölçümlerde numune fraksiyonları arasındaki pH farkının çok olmadığı 11.8-13 arasında olduğu çizilen grafiklerden de gözlenmektedir.

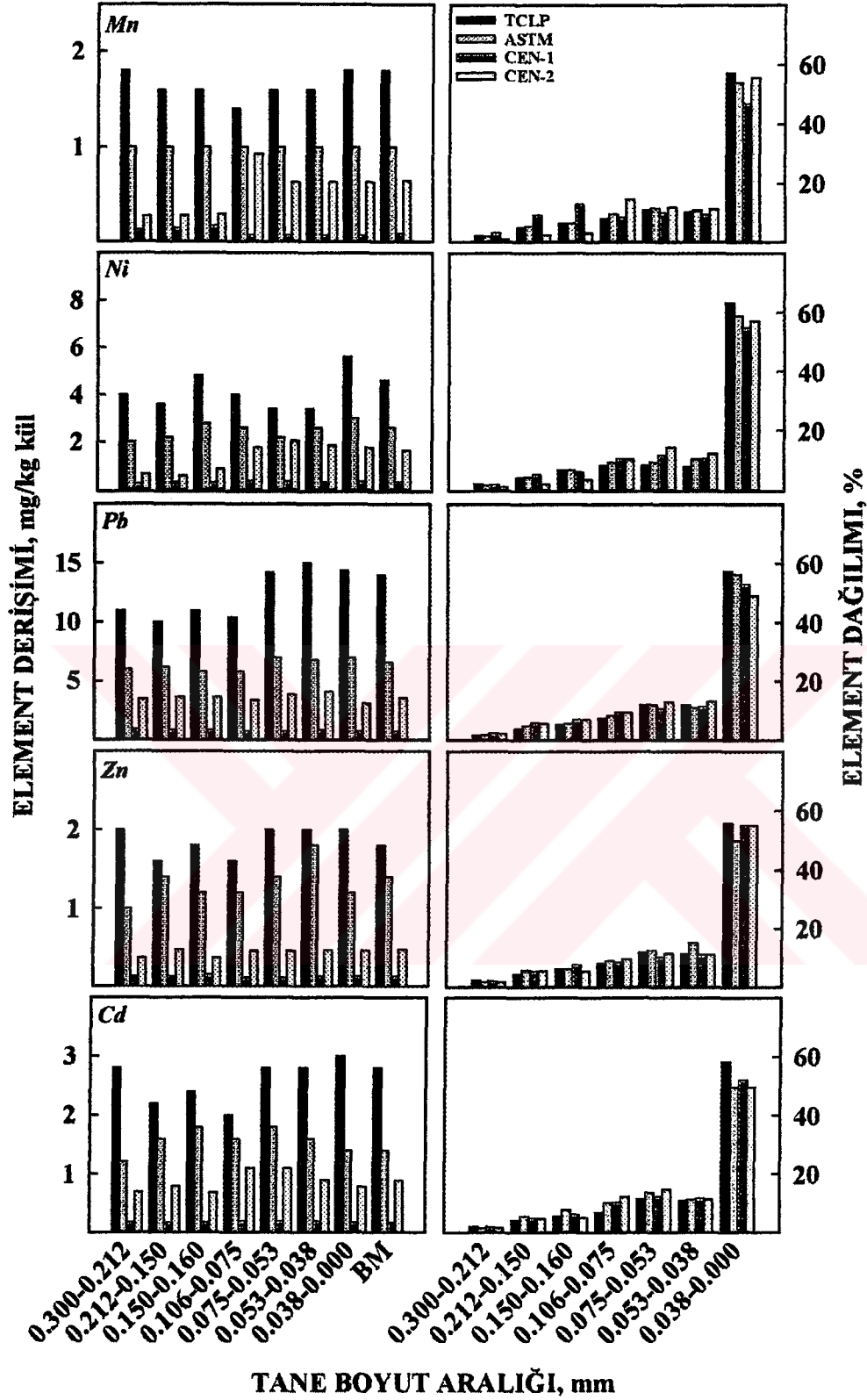
Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de Kemerköy kül numunesine, boyut dağılımına bağlı olarak uygulanan testler sonucu elde edilen liç sıvısındaki ağır metal derişimleri ve bu metallerin boyuta göre element dağılımları sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi, tüm elementlerde (Sr'nin -0.053 mm boyutu hariç) TCLP yöntemi sonucu elde edilen liç sıvısındaki element derişimlerinin, diğer yöntemlerdeki element derişimlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Element dağılımı ise malzeme miktarına ve ince fraksiyonlarda daha fazla element yoğunlaşmasına bağlı olarak ince fraksiyonlarda toplanmıştır.

Örneğin; Cd'un TCLP yöntemindeki element derişimi 1.2-2.7 mg/kg arasında değişirken ASTM prosedürü sonundaki Cd derişimi 0.7-1.3 arasında, CEN-1 sonunda 0.03 mg/kg, CEN-2 sonunda 0.5-0.8 mg/kg arasında değiştiği görülmektedir. yöntemleri birbirleriyle karşılaştırdığımızda en fazla çözünmenin TCLP yönteminde olduğu CEN ve ASTM yöntemi sonunda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

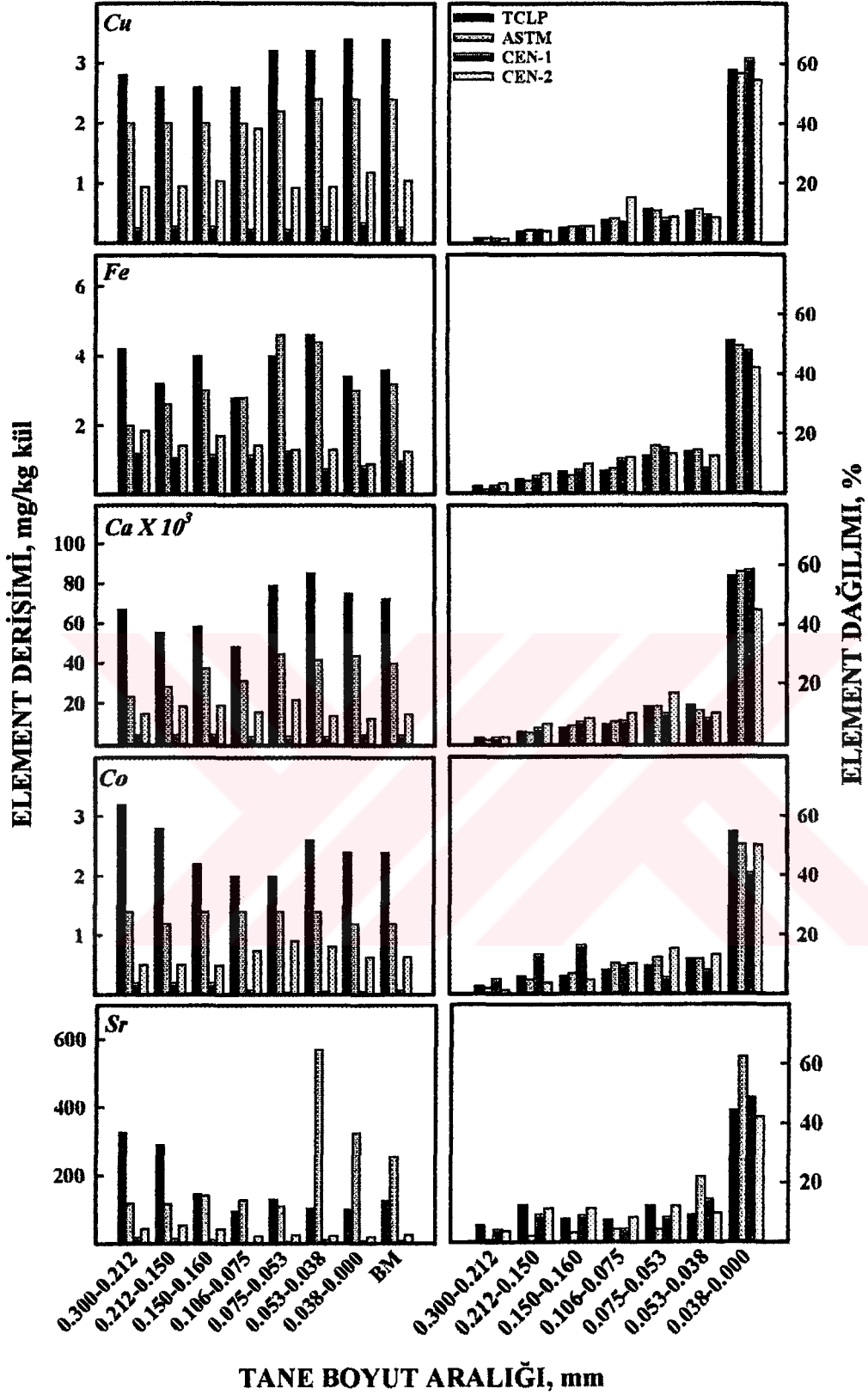
4.2.3 Yeniköy Külünün Tane Boyutuna Göre Sıvı Faza Geçen Ağır Metal Derişim ve Dağılımları



Şekil 4.18 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yeniköy Külü Tane Boyutlarının pH Değişimleri



Şekil 4.19 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Yeniköy Külü Tane Boyutlarının Mn-Ni-Pb-Zn-Cd Derişim Değişimleri



Şekil 4.20 Zehirlilik Belirleme Yöntemlerine Göre Kemerköy Külü Tane Boyutlarının Cu-Fe-Ca-Co-Sr Derişim Değişimleri

Şekil 4.18'den de görüldüğü gibi TCLP, ASTM, CEN yöntemi uygulanan Yeniköy kül numunesinin test yöntemlerinde belirtilen katı/sıvı oranlarında pH ölçümleri sunulmaktadır.

Buna göre TCLP yönteminde su ilavesinden sonra alınan pH ölçümünden değerlerin tüm fraksiyonlarda birbirine yakın olduğu (pH=12.1-12.3), eklenen asitten sonra numunelerinin pH'ının geçici bir süre düştüğü (pH=5-6) ve daha sonra numune içerisindeki yüksek miktarlarda olan (%35.82) CaO'lerin çözündüğü ve pH değerinin tekrar yükseldiği gözlenmektedir (pH=12).

ASTM ve CEN yönteminde saf su kullanılarak yapılan tüm ölçümlerde numune fraksiyonları arasındaki pH farkının çok olmadığı 13-13.3 arasında olduğu çizilen grafiklerden de gözlenmektedir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da Yeniköy kül numunesine, boyut dağılımına bağlı olarak uygulanan testler sonucu elde edilen liç sıvısındaki ağır metal derişimleri ve bu metallerin boyuta göre element dağılımları sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi, tüm elementlerde TCLP yöntemi sonucu elde edilen liç sıvısındaki element derişimleri diğer yöntemlerdeki element derişimlerinden daha fazladır. Element dağılımı ise malzeme miktarına ve ince fraksiyonlarda daha fazla element yoğunlaşmasına bağlı olarak ince fraksiyonlarda toplanmıştır.

Örneğin; Cd'un TCLP yöntemindeki element derişimi 2.3-2.9 mg/kg arasında değişirken ASTM prosedürü sonundaki Cd derişimi 1.3-1.8 arasında, CEN-1 sonunda 0.04 mg/kg, CEN-2 sonunda 0.5-1 mg/kg arasında değiştiği görülmektedir. yöntemleri birbirleriyle karşılaştırdığımızda en fazla çözünmenin TCLP yönteminde olduğu CEN ve ASTM yöntemi sonunda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aşağıda, Çizelge 4.1'de yöntemlerin element derişimlerine olan etkisi sunulmuştur.

4.3. Cr⁶⁺ Testleri

Yapılan X-Ray çalışmaları ve kimyasal analiz çalışmaları sonucunda küllerde Cr³⁺ tespit edilmiştir. Bilindiği gibi Cr³⁺ uygun ortam koşulları sağlandığında, son derece tehlikeli kanserojen etkiye sahip olan Cr⁶⁺ya dönüşmektedir. (Swaine, 1995; Hanse; 1980).

Cr³⁺'ün, Cr⁶⁺ya dönüşümünü kısaca 2 şekilde açıklayabiliriz.

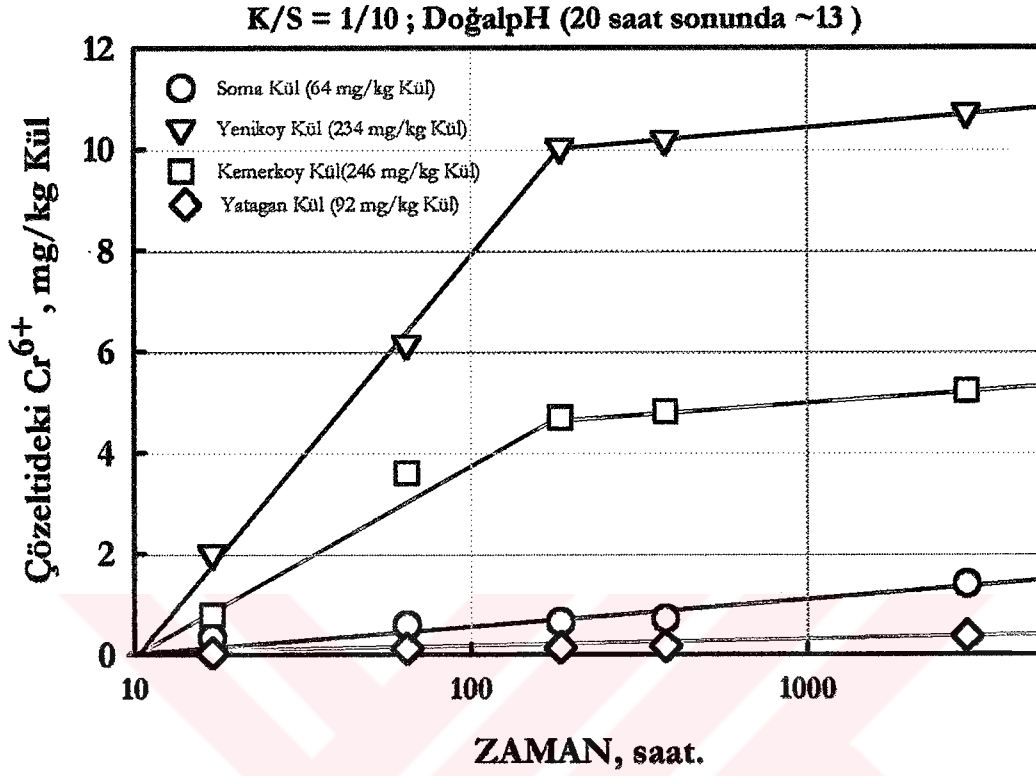
- ☞ Yanma sırasında bazik ortamda ve yükseltgen katı faz olan bir ortamda;
Cr³⁺ → Cr⁶⁺ya dönüşür.
- ☞ Cr³⁺ sıvı fazda uygun koşullarda (MnO₂ gibi bir yükseltgen madde varlığında)
Cr³⁺ → Cr⁶⁺ya dönüşür. (Elseewi, 1980; Thompson; 1999)

Kül numunelerinin içerisinde Cr⁶⁺ varlığının olup olmadığını tespit etmek için yaptığımız çalışmalarda, Yatağan külü hariç diğer kül numunelerinde Cr⁶⁺ tespit edilmiştir. Çevre açısından ciddi tehlike yaratan bu kirleticinin külleri içerisinde ne kadarının çözüldüğünü tespit etmek amacıyla Katı/Sıvı oranı = 1/10 olan saf su ile uzun zamanda liç testleri yapılmıştır. Test sonucu Şekil 4.21'de sunulmuştur.

Şekilden de görüldüğü üzere yapılan çalışma sonunda, farklı küllerde Cr⁶⁺'nın çözünme prosesi farklı hipotezlerle açıklanmaktadır.

- ✓ Soma ve Yatağan kül numunelerinin yüzeylerinde, başlangıçta oluşmuş Cr⁶⁺ yoktur. Zamana bağlı olarak bir miktar Cr⁶⁺ sıvı faza geçmektedir.
- ✓ Yeniköy ve Kemerköy numunelerinin yüzeylerinde başlangıçta farklı miktarlarda Cr⁶⁺ vardır ve bu Cr⁶⁺'lar farklı çözünme hızlarında fakat aynı sürede (Yeşil ve kırmızı ile çizilen çizginin ilk 250 saatine kadar) sıvı faza

geçmektedirler. Daha sonra aynı çözünme hızları ile sıvı faza geçmeye devam etmektedir.



Şekil 4.21 Küllerden zamana bağlı olarak Cr^{6+} çözünmesi

Yeniköy ve Kemerköy Kül numunelerinin Cr^{6+} oluşumu, içerdiği toplam Cr ve alkali oksit (CaO) miktarlarının yüksek oluşuna, yanma koşullarına bağlı olarak gelişmektedir. Şekil 21'den de görüldüğü gibi, çözeltildeki Cr^{6+} sırasıyla Yatağan<Soma<Kemerköy<Yeniköy şeklindedir.

4.4 Bulguların Değerlendirilmesi

Kömür kullanılan termik santrallerde, kömürün bünyesinde olan iz elementlerin ve atmosfere verilen iz element emisyonunu çevresel açıdan son derece önemli olduğunu bölüm 2'de anlatılmıştır. Kömürün yanması ile birlikte , kömürün içerisinde bulunan As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sr, Mo, Zn, Ba gibi toksik iz elementler atıklara (curuf; kül ve gaza) transfer olurlar. Bu atıklardan özellikle uçucu küller; kil yapısına sahip oldukları, yüksek ısıya dayandıkları ve yüksek yüzey alanına sahip oldukları için sıvı ve gaz ortamlarda, elementlerin yüzeyde tutunabileceği çok uygun ortamlar oluşturacağı Zouboulis ve Tzimou, 1971; Wangen, L.E., (1978) tarafından söylenmiştir. Bu olgudan hareketle Ege bölgesi sınırları içerisindeki Soma, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy Termik Santrallerinden alınan kömür ve kül numuneleri üzerinde yaptığımız çalışma sonuçlarına baktığımızda, elde edilen sonuçların bu teori ile örtüştüğü görülmektedir.

Kalorimetre bombası yapılan yanma testleri sonrasında Ni, Zn, Cd, Cr, Cu'nun gaz faza tüm kül numunelerinde kolaylıkla geçtiği, Pb, Ca, Mn'nun gaz faza geçtiği ancak gaz faza geçen element oranının %10'un altında kaldığı Mo ve Co'nun ise buharlaşma derecelerinin yüksek olması sebebiyle gaz faza geçmediği saptanmıştır.

Küller içerisinde saptanan elementlerin suyla temas geçtikleri zaman çözünüp sıvı faza geçip geçmediğini tespit etmek amacıyla günümüzde de birçok ülkede uygulanmakta olan üç farklı test yöntemi yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda kullandığımız test yöntemlerinin birbirlerine göre element derişimleri üzerindeki farklılıkları verilmiştir. Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi TCLP (Toksik Özellik Liç Yöntemi) yönteminde çözülen elementlerin ASTM (Metot-A Çözme Yöntemi) ve CEN/TC 292/WG2'e göre daha fazla olduğu saptanmıştır. İlave edilen asit (Asetik asit) zayıf bir asit bile olsa pH üzerinde etki etmekte bu da element derişiminin saf sudaki derişiminden daha fazla çıkmasına neden olmaktadır. Yine CEN- 1 de elde edilen derişim ASTM ve CEN-2'de elde edilen derişimden daha fazladır. Bu farklılığın katı sıvı oranlarındaki değişiklikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine tabloda pembe renk ile boyanan değerlerin uygulanan test şartları içerisinde, içme

sularında olması gereken değerlerden çok daha fazla olduğu görülmektedir. Toksik elementlerin çözünme değerleri oldukça yüksektir. Ancak bunların yeraltı veya yerüstü sularına karışabilmesi, seyrelme ve çökme, adsorbsiyon gibi etkiler yüzünden hangi oranlarda geçtiğinin saptanması gereklidir. Asıl zehirlilik etkisi bu değerlerin saptanmasıyla ortaya çıkacaktır.

Yapılan Cr^{6+} testleri bulgularına baktığımızda Yatağan külünde Cr^{6+} dört ay sonunda çok düşük seviyelerde çözünmüştür. Soma külü de yatağan külü gibi aynı çözünme kinetiğini göstermiş ancak yatağan külünden daha fazla (1.8 mg/kg) çözünmüştür. Kemerköy ve Yeniköy numuneleri ilk 1.5 ayda Soma ve Yatağan külünden farklı bir çözünme kinetiği göstermiş bu süreden sonra aynı kinetikle çözünme gerçekleşmiştir. Yeniköy numunesinde dört ay sonucunda 10,7 mg/kg, Kemerköy kül numunesinde 5 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Yeniköy ve Kemerköy kül numunelerinde Cr^{6+} 'nın yüzeyde birikimi söz konusudur. Bu numunelerdeki çözünme kinetiği; ilk bir ayda yüzeyde bulunan Cr^{6+} 'nın hızla çözünerek suya geçmesi, daha sonra sudaki Cr^{3+} 'lerin Soma ve Yatağanda olduğu gibi Cr^{6+} 'ya yükseltgenmesi ile açıklanabilir.

Çizelge 4.1 Yöntemlerin Element Derişimlerine Olan Etkisi

Element	Numune	TCLP µg/L	ASTM µg/L	CEN-1 µg/L	CEN-2 µg/L	İçme Suyu Limitleri µg/L
Fe	Soma	210	190	140	88	330
	Kemerköy	91	770	320	144	
	Yatağan	840	100	585	507	
	Yeniköy	180	160	480	125	
Zn	Soma	100	60	60	68	200
	Kemerköy	250	75	80	49	
	Yatağan	480	30	60	66	
	Yeniköy	90	70	70	48	
Cd	Soma	140	60	90	69	3
	Kemerköy	120	50	60	66	
	Yatağan	90	20	80	77	
	Yeniköy	140	70	90	89	
Co	Soma	100	110	110	60	10
	Kemerköy	100	40	100	67	
	Yatağan	200	40	90	99	
	Yeniköy	120	60	40	64	
Ni	Soma	190	70	40	53	20
	Kemerköy	420	50	60	75	
	Yatağan	750	40	130	105	
	Yeniköy	230	130	150	165	
Cu	Soma	100	70	80	39	20
	Kemerköy	240	80	90	52	
	Yatağan	410	70	80	41	
	Yeniköy	170	120	140	105	
Pb	Soma	370	190	260	161	10
	Kemerköy	510	100	270	212	
	Yatağan	460	130	170	130	
	Yeniköy	700	330	370	358	
Mn	Soma	70	38	30	24	100
	Kemerköy	1,230	30	40	44	
	Yatağan	3,060	30	60	57	
	Yeniköy	90	50	50	65	
Ca	Soma	282,400	1,232,000	3,056,000	2,748,400	
	Kemerköy	2,112,000	1,312,000	1,352,000	1,099,400	
	Yatağan	2,072,000	384,000	992,000	1,083,600	
	Yeniköy	3,616,000	2,008,000	2,008,000	1,446,900	
Sr	Soma	126	1,700	1,340	1,266	
	Kemerköy	420	6,500	4,060	5,982	
	Yatağan	1,140	10,180	4,620	2,853	
	Yeniköy	6,340	12,800	4,430	2,664	

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu proje kapsamında kullanılmak için, ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olan ve düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan Soma Termik Santrali Yatağan Termik Santrali Yeniköy Termik Santrali ve Kemerköy Termik Santrallerinden alınan kül ve kömür örneklerinin fiziksel ve kimyasal karakterleri saptanmış, iz elementlerin yanma sırasındaki davranışlarının tespiti için bomba testleri yapılmıştır. Ayrıca küllerin su veya hafif asidik ortamda zehirlilik testleri yapılmış ve çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar saptanmıştır.

☞ Kömürün yanması sonucunda kül, curuf ve baca gazı oluşmaktadır. Yanma sırasında açığa çıkan kömür bünyesindeki bazı toksik iz elementler oluşan bu ürünler üzerinde yoğunlaşmakta, bir kısmı küllerle beraber atık sahalarına giderken bir kısmı da baca gazı ile atmosfere salınmaktadır.

☞ Kimyasal analizler sonucunda tüm kül, kömür numunelerinde ve yanma sonrasında açığa çıkan gaz fazda Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Fe, Ni, Mn, Sr, Mg, Na, K, Ca, Co, Mo Al (gaz fazda Co, Mo hariç) tespit edilmiştir. Örneğin, Kemerköy kömüründe 23,39 mg/kg Cd saptanmış, aynı kömürün külünde 17,27 mg/kg Cd, baca gazında ise 5,60 mg/kg Cd bulunmuştur.

☞ Yapılan bomba testleri sonucunda Ni, Zn, Cd, Cr, Cu'nun gaz faza kolaylıkla geçtiği, Pb, Ca, Mn'nin gaz faza geçtiği ancak gaz faza geçen element oranının %10'un altında kaldığı Mo ve Co'nun ise buharlaşma derecelerinin yüksek olması sebebiyle gaz faza geçmediği saptanmıştır. Bu bize hammadde olarak kullanılan

kömür içerisindeki iz element içeriklerinin bilinmesinin çevresel açıdan ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

☞ Bilindiği gibi küller bir çok toksik element içermekte ve bu elementler su ile temas ettiğinde suya geçebilmektedir. Yapılan TCLP, ASTM ve CEN prosedürü sonucunda Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy külleri içerisinde tespit edilen toksik iz elementlerin suya geçtiği saptanmıştır.

Tüm örneklerde yapılan TCLP, ASTM, CEN testleri sonucunda numunelerin pH değerlerinin ASTM ve CEN testlerinde 11,8-13 arasında kaldığı, TCLP testlerinde ise Yatağan ve Kemerköy testlerinin sonunda pH değerinin yaklaşık 5 olduğu Soma ve Yeniköy numunesinde ise yüksek alkali içeriklerinden dolayı bu değer başlangıçtaki (pH=13) değerine çıktığı saptanmıştır. Testler sonucunda çözeltiye geçen toksik iz elementlerin analizleri yapılmış ve Çizelge 4.1'de verilen Türkiye'de 1988 yılında yayınlanan Resmi gazetedeki içme suyu standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu standartta belirtilen değerlerden büyük olan değerler pembe renge boyanmıştır. Örneğin insan hayatı için son derece tehlikeli olan Cd, Soma külünde TCLP çözeltisinde 140 µg/L, ASTM çözeltisinde 60 µg/L, CEN1-2 çözeltilerinde ise sırasıyla 90-69 µg/L olarak saptanmıştır. İçme suyu standartlarında ise maksimum izin verilen limit 3 µg/L dir. Bu durum su ve toprak kirliliği açısından oldukça önemli, olup çevresel bir tehdit oluşturmaktadır. Kül atık sahaları yapımında ve atık sahalarda mutlaka bu oluşumu giderecek tedbirler alınmalıdır. Ancak bu değerler daha önce de belirtildiği gibi testler sırasında uygulanan katı/sıvı oranları için geçerlidir. Yeraltı veya yerüstü sularına karıştığında hangi değere ulaşacağı bir başka çalışma konusu olarak devam etmelidir.

☞ Yine kül numunelerinde krom tespit edilmiş ve son derece tehlikeli atıklar sınıfına giren Cr⁶⁺'nın varlığı araştırılmıştır. Küller dört ay boyunca K/S oranı 1/10 olan ortamda su ile muamele edilmiştir. Dört ay sonunda bünyesinde 64 mg/kg krom olan Soma külünde 1,8 mg/kg Cr⁶⁺, 234 mg/kg krom olan Yeniköy külünde 10,7 mg/kg Cr⁶⁺ ve 246 mg/kg krom olan Kemerköy külünde ise 5 mg/kg Cr⁶⁺ saptanmıştır.

Dünya'da;

- ☞ Çimento ve beton olarak; baraj duvarları, köprü ayakları, maden ve yapıların dolgu enjeksiyonunda, pek çok inşaat yapılarında,
- ☞ Tarımda; çatı bahçesinde ve ağaçlandırmada,
- ☞ Agregada olarak; otoyol, köprü, briket yapımında,
- ☞ Endüstride; hafif dolgu maddesi olarak,

ve daha birçok alanda kullanılan küller, Türkiye'de halihazırda 100 milyon tonu aşan külün varlığı bilinmesine rağmen hiçbir alanda kullanılmamaktadır. Küllerin içerdiği toksik iz elementler zararsız hale getirilmeli ve dünyada olduğu gibi kullanım alanları yaratılmalıdır. Böylece hem yaratacağı çevresel olumsuzluklar giderilmeli hem de ülke ekonomisine bir kazanç getirmesi sağlanmalıdır.

☞ Kül içerisinde bulunan ağır metaller mutlaka uzaklaştırılmalıdır. Kül yüzeyleri yağlarla veya hidrokarbon zincirli yüzey kaplayıcıları ile kaplanıp küllere hidrofob özellik kazandırılabilir. Bu sayede küllerin su ile teması kesilip ağır metallerin sudaki çözünürlükleri engellenmiş olacaktır. (Polat, Güler, Akar, Mordoğan, 2001).

☞ Yine kül numuneleri çeşitli bağlayıcılar kullanılarak hidrofop özellik kazandırıldıktan sonra kompakt hale getirilmeli ve tekrar sudaki çözünürlükleri araştırılmalıdır. Böylece küllerin hem düzenli depolanmalarının sağlanacağı gibi hem de elde edilen yeni ürünün bir başka alanda kullanılma özelliği olup olmayacağı araştırılmalıdır.

☞ Ayrıca kül atık sahalarının taban ve yan alanları geçirimsiz bir tabakayla kaplanmalı yeraltı ve yerüstü sularına karışmaları engellenmelidir.

KAYNAKLAR

American Public Health Association (APHA). (1989). Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (L.S. Clesceri, ed.). Washington, DC, USA. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Pollution Control Federation, 17th edition.

Baba, A. (2000). Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil. Ens., İzmir (Yayınlanmış).

Bayat, O. (1998). Characterization of Turkish Fly ashes, 77, 1059-1066, Elsevier

Bayram, A. & Odabaşı, M. (1994). Türkiye'de Linyitli Termik Santrallerin Kirletici Emisyonları., Türkiye 6. Enerji Kongresi.

Clarke, L.B. (1995) The Fate of Trace Elements in Emissions Control Systems, Environmental Aspects of Trace Elements in Coal, pp.129.

Civelekoğlu, S., Doğan, H., Tetik, T. & Ünlü, M. (1999). Termik Santrallerin Kömür Alma ve Hazırlama Tesislerinin İyileştirilmesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Cevher Zenginleştirme Laboratuar ve Pilot Tesis Yöneticiliği, Ankara.

Çancı, B., Güleç, N., & Erler, A. (1997). Kömür Yakıtlı Termik Santrallerdeki Uçuu Küllerin Çevreye Etkisi. Genel değerlendirme. Selçuk Üniv. Müh-Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Semp., 181-187, Konya.

DSİ. (1977). Termik Santral Uçucu Küllerinin Hafif Yapı Malzemesi Yapımında Kullanılma Olanaklarının Araştırılması. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ecoba, (2001). Information Bulletin. Italy.

Egemen E. & Yurteri, C. (1996). Regulatory leaching test for fly ash: a case study. Waste Management and Resource, 14, 43-50.

Eisenberg S.H, Titlebaum , M.E, Eaton, H.C. ve Soroczak. (1986). Chemical Characteristic of Selected Flyash Leachates, Journal of Environmental Sci. And Health, Part A, 383-402.

EİE. (1979). Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları. Ankara.

EİE. (1982). Türkiye uçucu küllerinin özellikleri EİE Yayını, 82, 21-28, Ankara.

Elsewi, A.A., Page A.L. and Grimm, S.R., Chemical Characterization of Fly Ash Aqueous Sytems, J. Environ. Qual., 14, 424-428, 1980.

Environmental Protection Agency (EPA). (1993). Standart Methods the Examination of Water and Waste Water. American Public Healt Assoc. US.

Finkelman, R.B. (1996). Environmental Impacts of Trace Elements in Coal. Short Course Notes, sponsored by USGS and General Directorate of Human Research and Exploration, Ankara.

Hall, B., Schager, P. & Lindquist, O. (1991) Chemical Reactions of Hg in Combustion Flue. Gases, Water, Air, Soil Pollution, 56, pp.117-129.

Hanse, L. D. and Fisher, G.L. (1980). Elemental Distribution in Coal Fly Ash Particles, Environ. Sci. and Tech., 14, 1111-1117.

Hycnar, J. (1983). Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags. UNEP/USSR, Donetok.

Inyang, H.I. (1992). Energy Related Waste Materials in Geotechnical Systems: Durability And Environmental Considerations. In Environmental Issues and Waste Management in Energy and Minerals Production (R.K. Singhal, A.K. Mehrotra, K. Fytas & J.L. Collins, eds). Rotterdam, Netherlands: Balkema, 1157-1164

Nakoman, E. (1971). Kömür. Ankara, Eğitim serisi No:8, 2-3

KEAŞ Kemerköy Elektrik Üretim ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürlüğü, (1999). Tanıtım Dosyası.

Kefelioğlu, S., 1998, "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanma İmkanları", Teknoloji, Ankara

Kural, O. (1991). Kömür, İstanbul.

Lee, S.Y. (1982). Coal Gasification Solid Wastes: Physicochemical Characterization. Environmental Science and Technology, 16,10, 728-731

Meij, R. (1995). The Distribution of Trace Elements During the Combustion of Coal. Environmental Aspects of Trace Elements in Coal, pp.111-127.

Morrison, R.E. (1970). A Review of Ash Specifications. Symposium on Fly Ash Utilization, 24-31, Pittsburgh.

Moulton, L.K. (1974). Bottom Ash and Boiler Slag. Symposium on the Fly Ash Utilization, 148-169, Pittsburgh.

Ovens, P.L. (1979). Fly ash and its usage in concrete. Concrete (GB), 13, no. 7, 21-26.

Polat, M., Güler, E., Akar, G., Mordoğan, H., (2001) Utilization of Fly Ash a Chemical Scrubber for Acid Mine Drainage: Fixation of Heavy Metals, Morella 2001 Proceeding International Workshop on Novel Products from Combustion Residues: Opportunities and Limitations. www.stm.tudelft.nl/progres/welcome.htm Spain.

Seals, R.K. (1977). Properties of bottom ash/boiler slag and fly ash. Short Course, Technology and Utilization of Power Plant ash, p.59,

SEAS Soma Termik Santrali Genel Müdürlüğü (1999). Santral Tanıtım Dosyası.

Swaine, D.J. (1995). The Contents and Some Related Aspects of Trace Elements in Coal in Environmental aspects of trace elements in coal, ed. by. D.J. Swaine and F. Goodarzi, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 5-19,

TEAS Yatağan Termik Santrali. (1999). Brifing Dosyası

TMMOB Elektrik Müh. Odası. (1999). Enerji Raporu.

Swaine, D.J. (1990). Trace Elements in Coal. Butterworths. London, p.292.

Thompson, D. and Argent, B.B. (1999). Coal Ash Composition as a Function of Feedstock Composition, Fuel, 78, 539-548.

Usmen, M. (1978). Properties and Engineering Behaviour of Coal Waste Used in Road Contruction. International Conference on the use of by-products and waste in Civil Engineering, 20 p. 487.

Wangen, L. E. & Williams, M. D. (1978). Elemental Deposition Downwind of a Coal-Fired Power Plant, Water, Air and Soil Pollution, 10, 33-44.

WHO. (1993). Drinkink water standarts. In Engineering Geology and Environmental Approach (Rahn, P.H., 1996), second edition, 256-257

YEAS, Yeniköy Termik Santrali. (2000). Brifing Dosyası,

Zouboulis, A.I. & Tzimou-Tsitouridou, R. (1990). Fly Ash Utilization in Environmental Engineering the Case of Greece. Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Rainbow, Balkema, Rotterdam, 493-499.

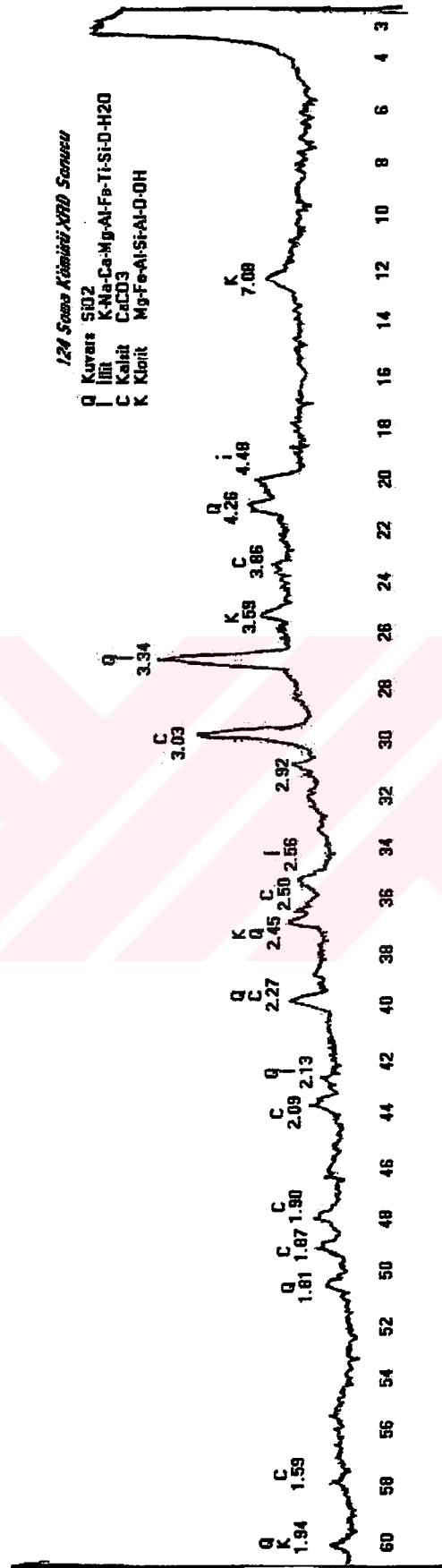




EK-1
X-RAY FLUORESANS ANALİZ GRAFİKLERİ
(Soma – Yatağan – Yeniköy – Kemerköy XRF ve XRD Sonuçları)

124 Soma K m ni YRD Soma

Q Kuvars SiO2
 I ilit K-Na-Ca-Mg-Al-Fe-Ti-Si-O-H2O
 C Kalit CaCO3
 K Klorit Mg-Fe-Al-Si-Al-O-OH



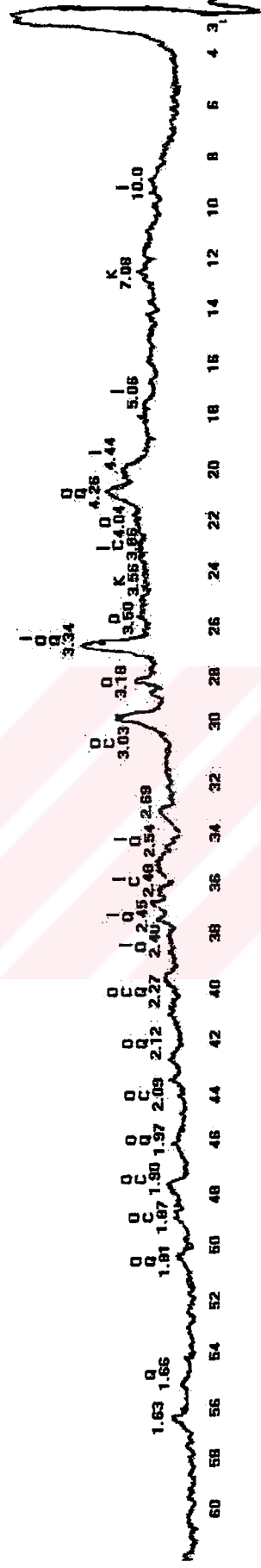
1-2-4 Samsu K1287 XRD Scanuuz

Q Kurvens SID2
O Dittokias RAUSIS08



11-12-13 Yataqların Kimiyəli Xərdə Sorunu

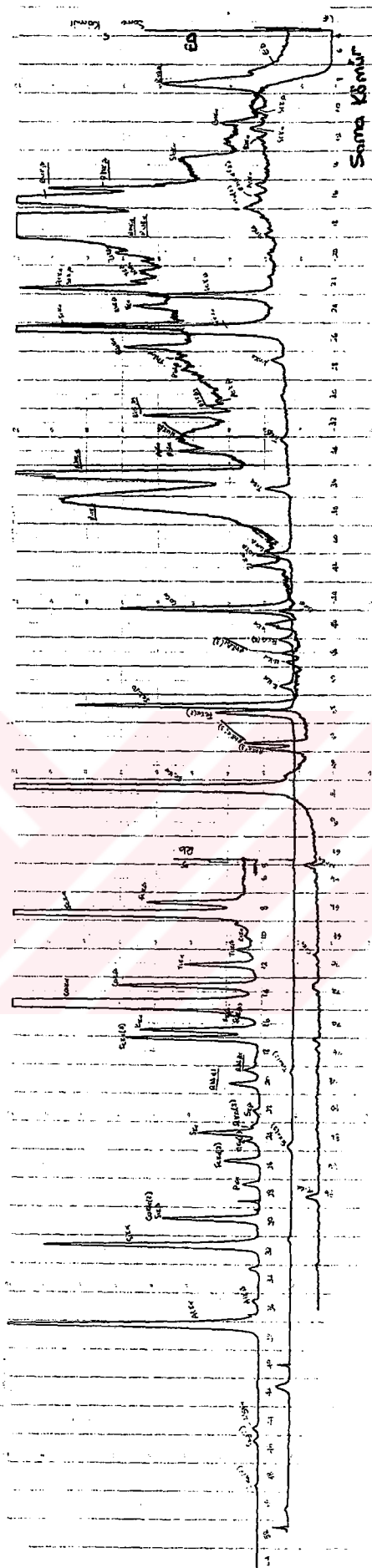
Q Kuvətə SIO₂
 IIR K-Na-Ca-Mg-Al-Fe-Ti-Si-O-H₂O
 C Kalkar CaCO₃
 K Klorür Mo-Fe-Al-Si-Al-O-OH
 O Ortoqlas KAlSi₃O₈

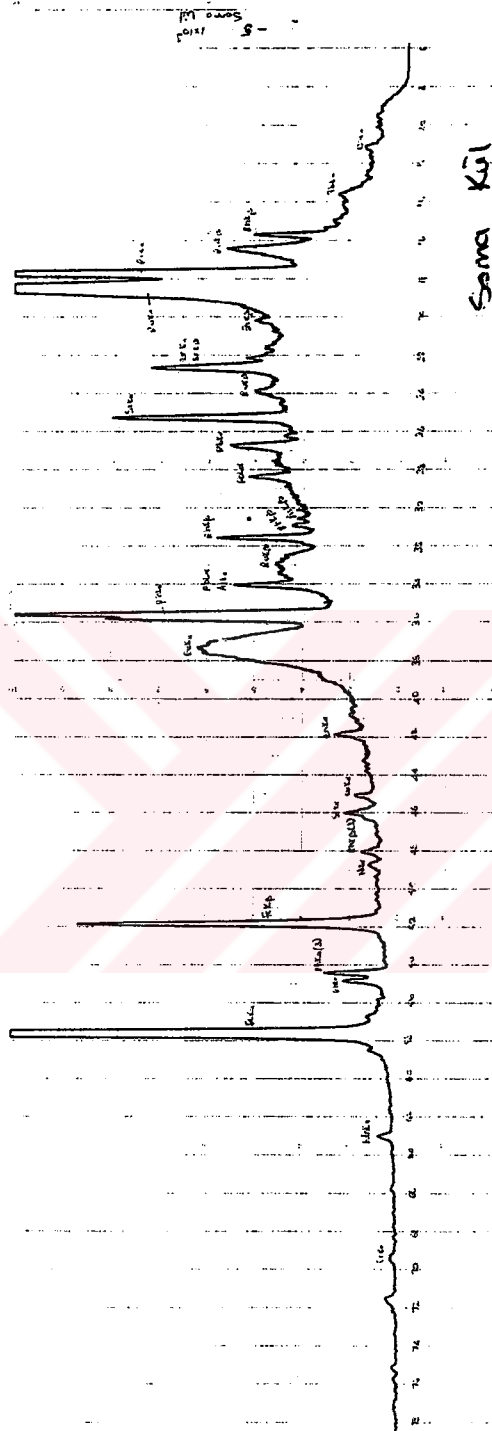


11-12-13 Yakağaç Kütüğü XRD Sonucu

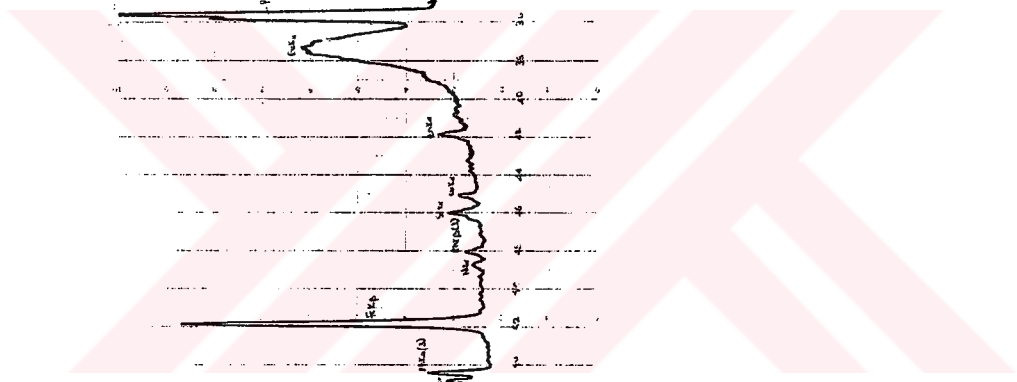
Q Kuvars SiO₂
O Ortoklas KAlSi₃O₈

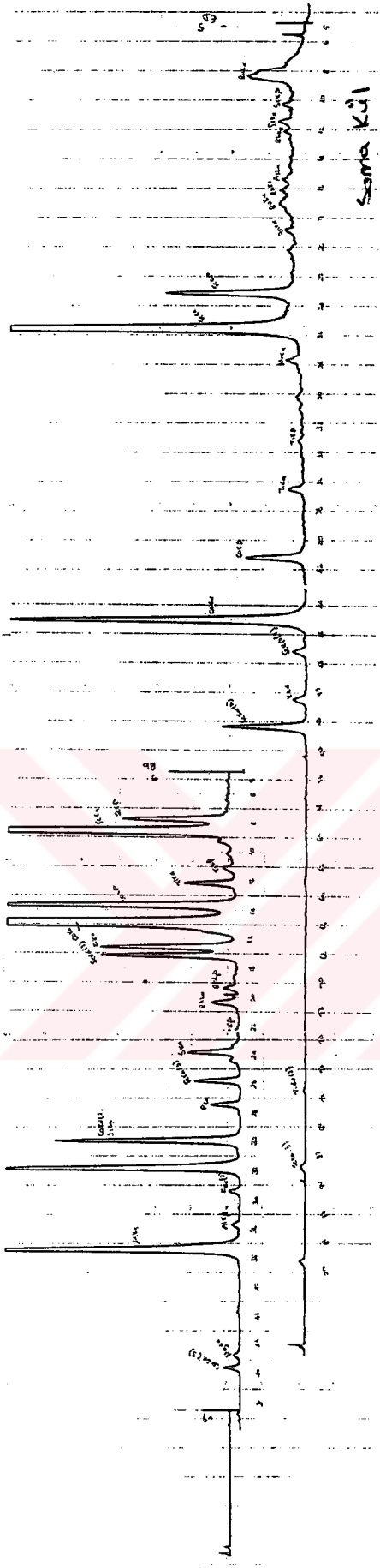


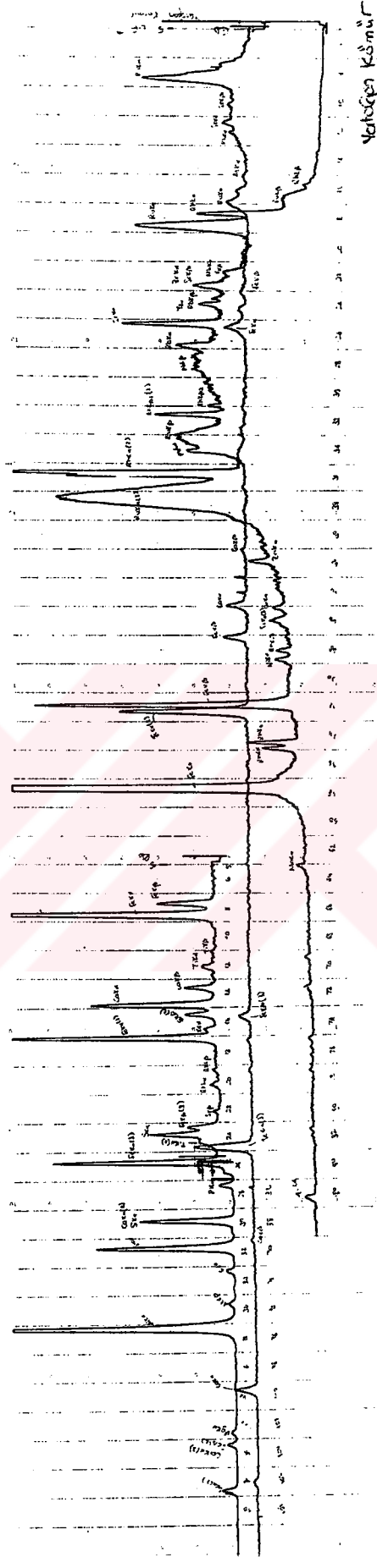




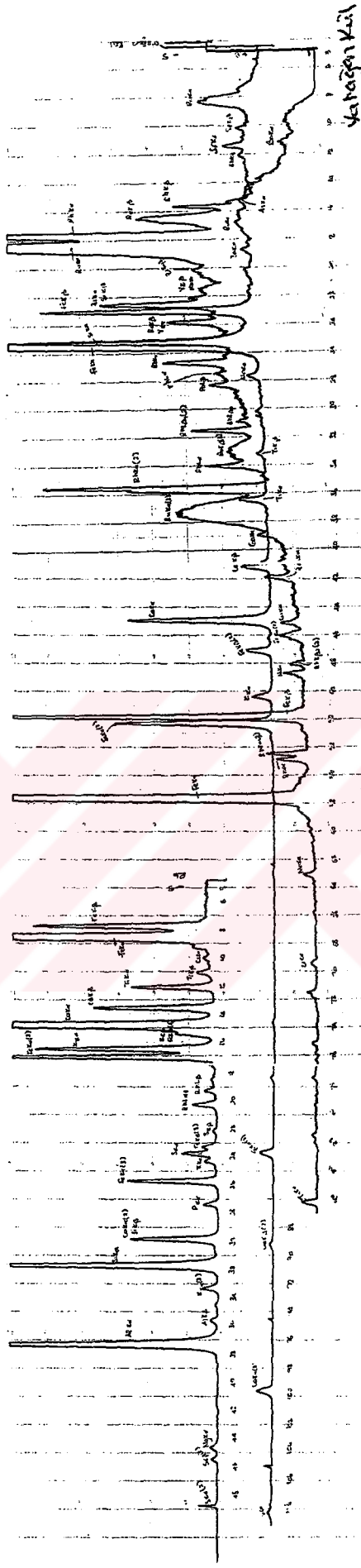
Sama Kūl





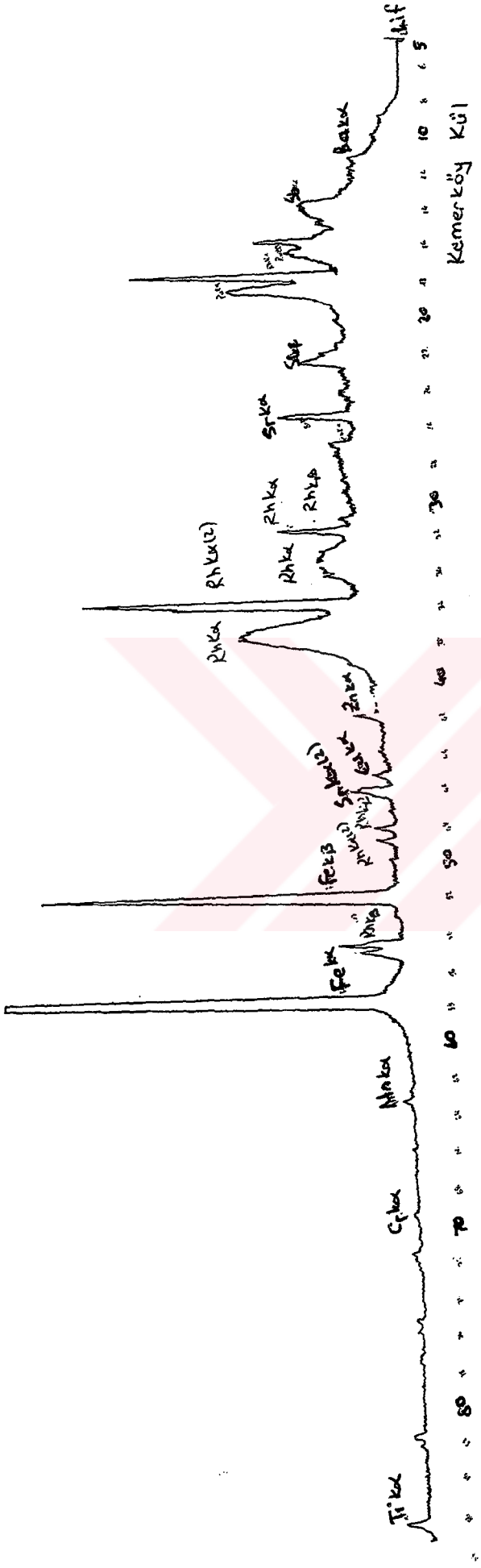


Valerian Kismir





Kemenkang
Kul

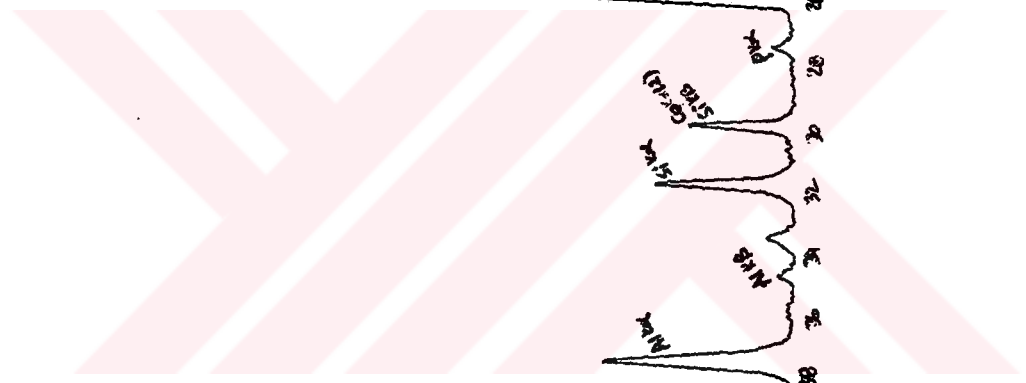


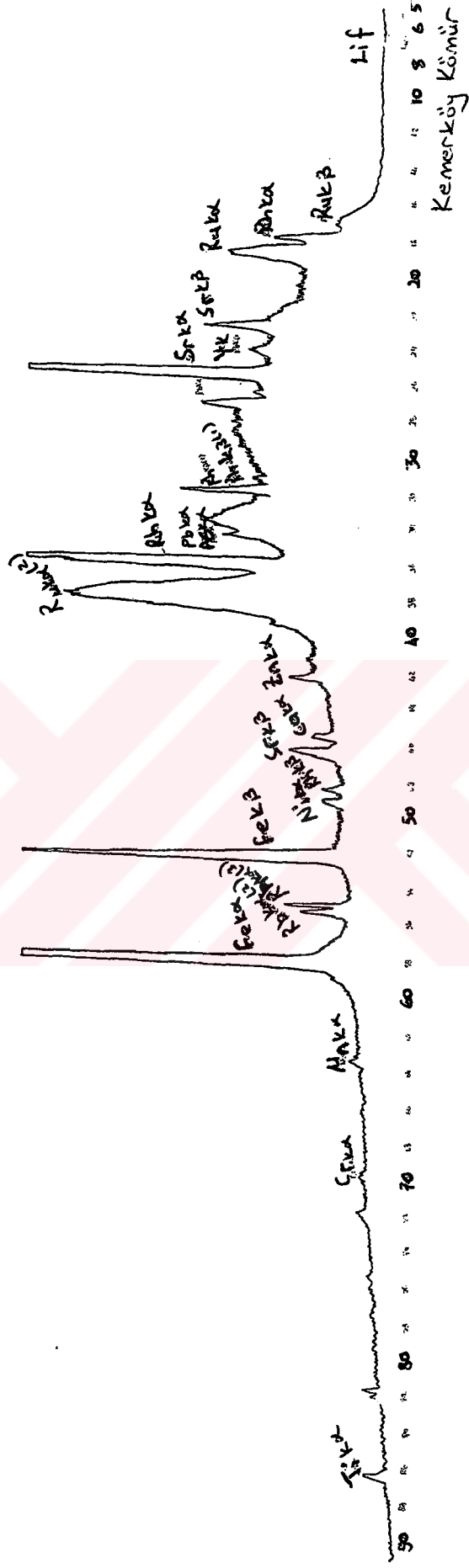
Kemerköy Küi



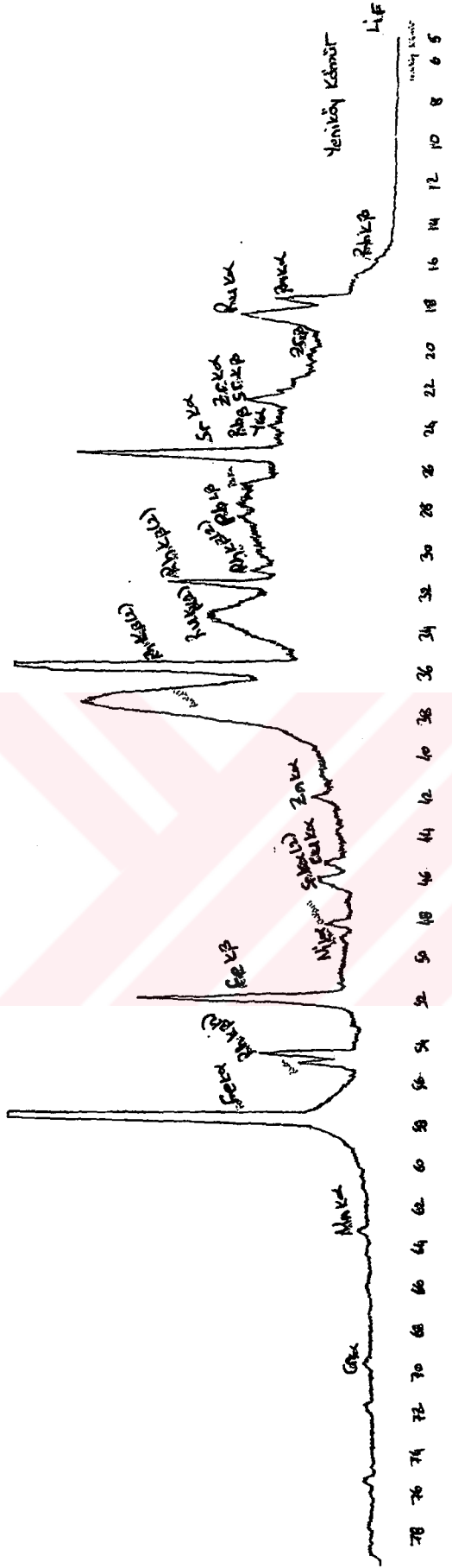


Kemerköy Kömüt-



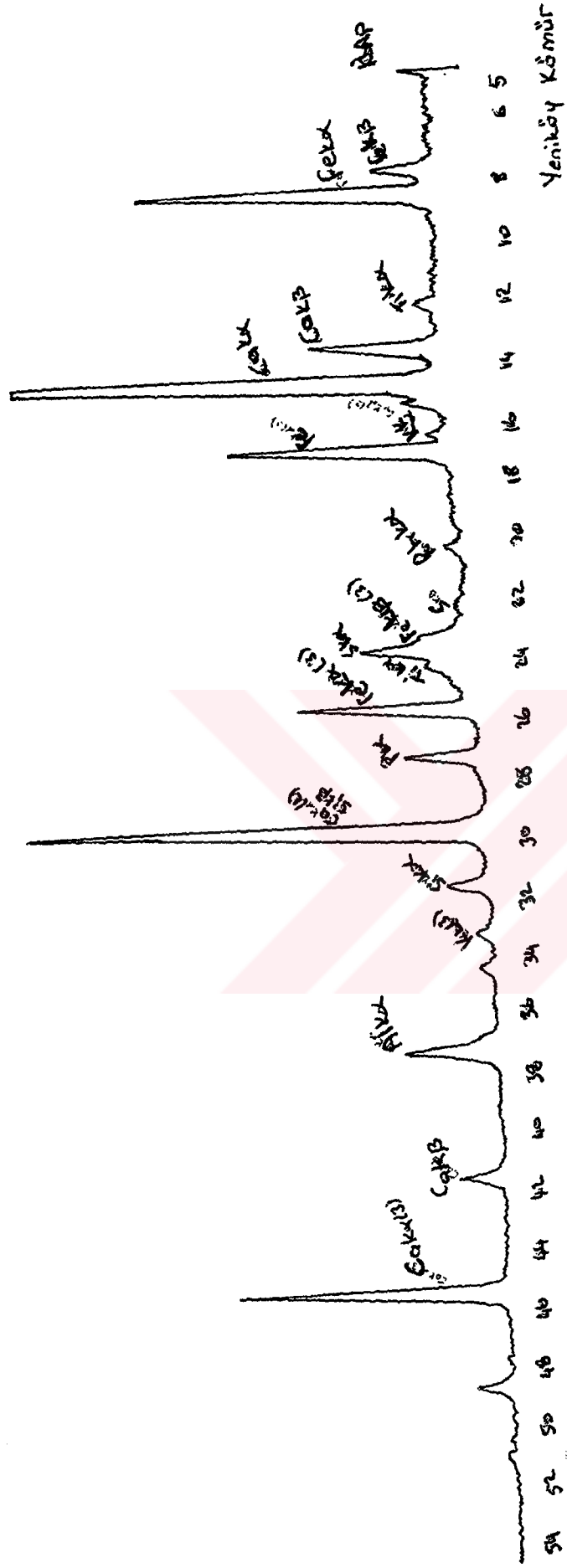






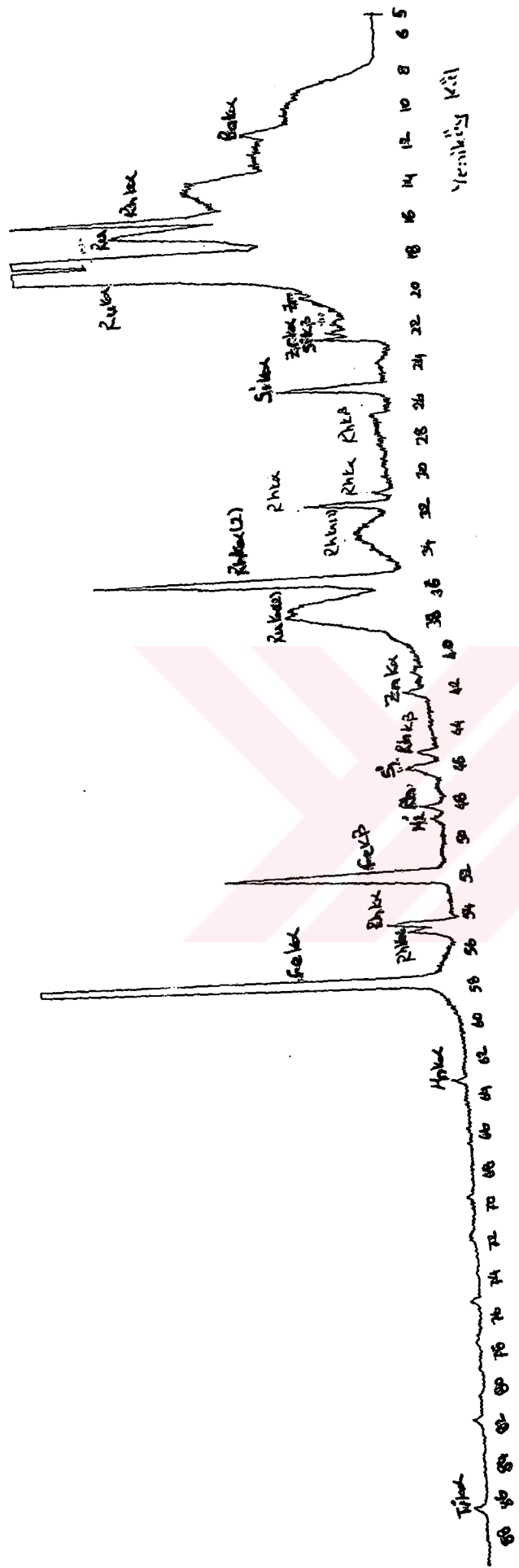


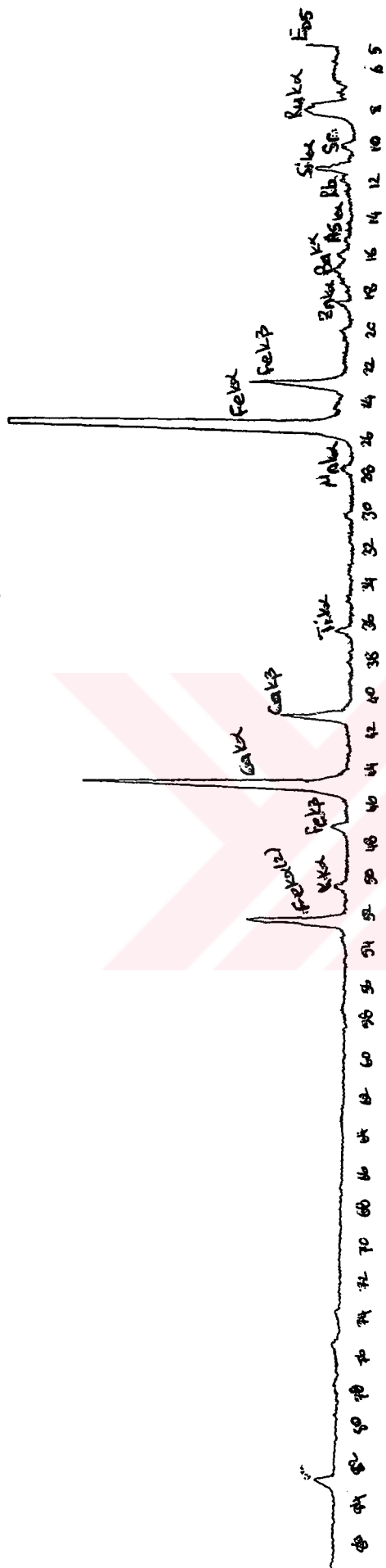
Yeni köy kömür





Yeniköy Küli





Yonikdy kül

EK-2

KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

**(Soma – Yatağan – Yeniköy – Kemerköy Termik Santrallerine ait Kömür-Kül
Analizleri ve Kalorimetrik Bomba Testleri Sonuçları)**

EK-3

ZEHİRLİLİK TESTLERİ SONUÇLARI

**(Soma – Yatağan – Yeniköy – Kemerköy Termik Santrallerine ait Kül numunelerinin
TCLP-ASTM-CEN-1 ve CEN-2 Analiz Sonuçları)**

