

Elazığ Ferrokrom Tesisi Cüruflarının Agregata Özelliklerinin Araştırılması

Hüseyin VAPUR*¹, Soner TOP¹, Ahmet TEYMEN², Mehmet TÜRK MENOĞLU³

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

²Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

³Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van

Özet

Metalurjik cürufların yeniden kullanılması, ülke gelişmişliğinin bir göstergesi olmasının yanında, gün geçtikçe artan maliyetler nedeniyle bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu bağlamda, atıl durumdaki ferrokrom cüruflarının değerlendirilmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, Elazığ ferrokrom cüruflarının agregata olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Temel kimyasal ve fiziksel özellikleri ortaya konduktan sonra cürufların agregata özelliklerini belirlemek üzere Los Angeles aşınma deneyi, Schmidt çekici sertlik deneyi, nokta yük dayanımı deneyi, alkali agregata reaktivitesi, asitte çözünen sülfat, donma-çözünme deneyi gibi gerekli deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak Elazığ Ferrokrom cüruflarının agregata olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ferrokrom, Cüruf, Agregata, Artık, Geri kazanım.

Investigation of the Aggregate Properties of Elazığ Ferrochrome Plant Slags

Abstract

Recycling of metallurgical slags becomes a necessity because of the increasing costs with every passing day, in addition to being a sign for development of country. In this context, evaluation of idle ferrochrome slags is inevitable. In this study, it was researched whether Elazığ ferrochrome slags were used as aggregates or not. After basic physical and chemical properties of slags were defined, required aggregate tests such as Los Angeles abrasion tests, Schmidt rebound hammer tests, point load strength tests, alkali aggregate reactivity, acid-soluble sulphate, freeze-thaw tests were applied in order to find out aggregate properties. As a result, it was determined that Elazığ ferrochrome slags can be used as aggregates.

Keywords: Ferrochrome, Slag, Aggregate, Tailing, Recycling.

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hüseyin Vapur, Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, Adana. hvapur@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Cüruflar pirometalurjik işlemler sırasında oldukça fazla miktarda açığa çıkmakta ve eğer uygun şekilde geri kazanılamaz ve kullanılamazsa atık olarak kalmaktadır. Sanayileşmedeki hızlı gelişme ile büyük miktarlardaki metalurjik cürufların depolanması için uygun alanlar dünya çapında giderek azalmakta ve buna paralel olarak cüruf tasfiye maliyetleri sürekli olarak artmaktadır. Ek olarak atık malzemelerle doldurulan alanlar ciddi bir hava, su ve toprak kirliliği kaynağı olmakta ve dahası canlı sağlığına önemli ölçüde etki etmektedir. Metalurjik atık üretimini azaltmak için en ekonomik ve verimli seçenek cürufların yeniden kullanılmasıdır [1].

Krom cevheri sanayilerin vazgeçilemez bir üretim girdisidir. Atmosfer korozyonuna, kimyasal etkilere, aşınmaya karşı yüksek direnç göstermesi, çok sert olması nedeniyle çelik ve öteki metallerin korunmasında kaplama olarak yaygın bir biçimde kullanılır. Bugün kromit cevheri üreten ülkelerin hemen hemen tamamı kaynaklarını ferrokroma ve paslanmaz çelik üretimine yönlendirerek ülke kaynaklarından maksimum faydayı elde etmektedir [2]. 1970'li yıllardan başlayarak ferrokrom tesisleri, paslanmaz çelik üreten Japonya, Batı Avrupa ve ABD gibi sanayisi gelişmiş ülkelere krom cevherinin üretildiği ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle, bu ülkeler krom cevheri ihtiyaçlarını ferrokrom ithali yoluyla karşılamakta, kendi ülkelerinde ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar [3].

Dünyada, kromit ile ferrokrom üreticisi ve ihracatçısı olan ülkelerde genel strateji bu doğrultuda olmakla birlikte, üç kromit üreticisi ülke Türkiye, Arnavutluk ve Kazakistan bu genel stratejinin dışında plansız bir ticari eğilim içerisindedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri de bu ülkelerin Paslanmaz çelik sanayilerinden yoksun oluşlarıdır. Türkiye Dünyanın en büyük kromit ihraç eden ülkesidir. Ülkemizde son yüzyıl içinde yaklaşık 40 milyon ton satılabilir kalitede krom cevherinin üretildiği belirtilmektedir. Alpin tipi Türk kromitleri Dünya krom pazarlarında her zaman üst seviye fiyatlarla talep gören nitelikli,

metalurjik kalite cevherler olarak tanımlanmaktadır. Birçok sanayileşmiş ülke, özellikle Alpin tipi kromit ve ferrokromu halen stratejik hammadde olarak değerlendirmektedirler. Bu anlamda kromit üreticisi ülkeler uzun süreden beri ferrokrom üretimine, hatta daha ileri aşama olan paslanmaz çelik üretimine yönelmek suretiyle hammaddelerinin katma değerlerini azami ölçüde artırarak değerlendirme stratejilerini uygularken, ülkemizde ilk adım sadece ferrokrom üretimine yönelik olarak, 1958 yılında Antalya da üretime başlayan ve halen varlığını sürdüren 10.000 ton/yıl düşük karbonlu ferrokrom kapasiteli tesisle atılmıştır. Daha sonra 1977 yılında 100.000 ton/yıl yüksek karbonlu ferrokrom üreten Elazığ Ferrokrom İşletmesi ve 1984 yılında devreye giren ve kimyasal kalite kromit cevheri işleyen Özel sektöre ait Mersin Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası yatırımları gerçekleştirilmiştir [2].

Elazığ merkezli Yıldırım Holding bünyesindeki Eti Krom, dünyanın en büyük ikinci yüksek karbonlu ferrokrom (HCFeCr) üreticisi halindedir. Metalurjik (sert parça, ufalanabilir ve konsantre) ve refrakter (sert parça ve ufalanabilir) tipi malzeme üreten Eti Krom, Türkiye'nin çeşitli yerlerinde çıkardığı yüksek tenörlü krom cevherini Elazığ'daki fabrikasında yüksek kaliteli yüksek karbonlu ferrokroma dönüştürmektedir. Büyük miktarda cürufun açığa çıktığı proseste baca gazından elektrik üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. 30 milyon Avro değerinde yatırımla Eti Krom AŞ Ferrokrom Fabrikası'nda kurulu iki adet ark ocağının baca gazlarının ısısından faydalanarak elektrik üretecek olan, 5,5 MW kapasiteli elektrik üretim tesis inşaatı devam etmektedir. Proje ile 600°C sıcaklığındaki ark ocağı baca gazları, proses ısısı kojenerasyon tesisi üzerinden sağlanacak elektrik üretiminden sonra, 200°C'nin altına düşürülecek ve elektrostatik filtrelerden geçirildikten sonra, hava kalitesi kontrol yönetmeliği kriterlerine uygun emisyonlardaki gazlar, atmosfere tahliye edilecektir [4, 5]. Ancak ferrokrom tesislerinde ortaya çıkan devasa boyutlardaki cürufların değerlendirilmesine yönelik kayda değer bir gelişme görülmemektedir [6, 7, 8, 9]. Dünya yüksek karbonlu ferrokrom üretimi (HCFeCr)

2005'te 6 milyon ton civarında kaydedilirken, buna paralel olarak 1 ton ferrokrom üretimi (FeCr) için ton başına 1,1-1,6 ton civarında cüruf olarak gerçekleşmiştir. Neredeyse ferrokromların hepsi elektrik ark fırınlarında üretilmektedir. Metalurjik kok kullanılarak krom ve demir oksitler, elektrik ark fırınlarında metale indirgenir. Eş zamanlı olarak silikanın bir kısmı da indirgenmektedir (Şekil 1). Cürufun sıcaklığı 1700°C iken ferrokromun sıcaklığı 1600°C'dir. Cürufun ergime noktası, metalin ergime noktasından daha yüksek olmalıdır çünkü metal, cürufun sıvı kısmı kullanılarak kızdırılır. Genellikle optimum ergime noktası 1680-1720°C olarak uygulanmaktadır [10].

Özellikle yol yapımı, demiryolu balastı ve hazır beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında agregalar kullanılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler;

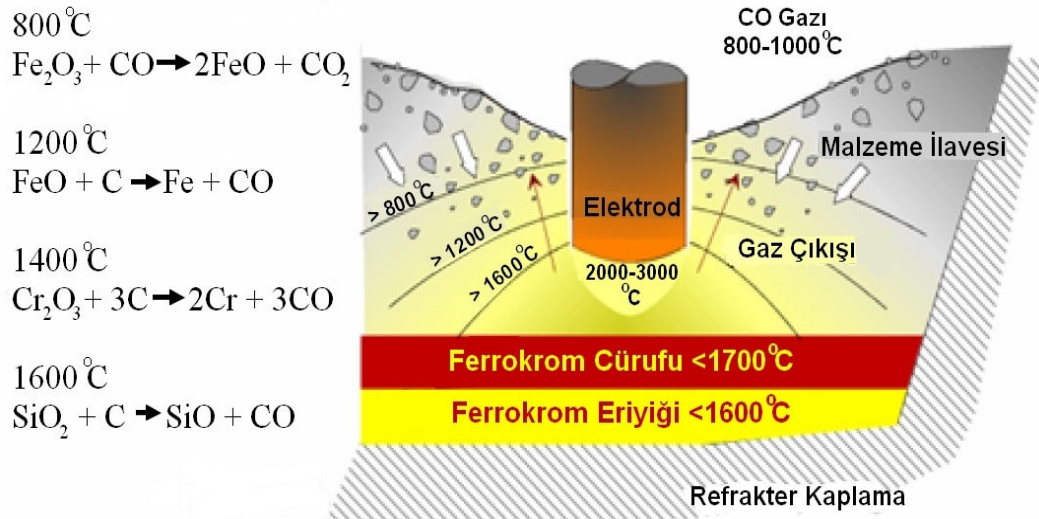
- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler (deniz kabuğu, odun, kömür vb.) içermemeleri,
- Basınca ve aşınmaya karşı mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,

- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir [11].

Agregalar, elde ediliş şekline göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Cüruflardan elde edilen agregalar, yapay (sanayi yan ürünü) agregalardır. Dünya çapında, ferrokrom cürufları başlıca; yol, inşaat ve refrakter endüstrilerinde geniş ölçüde kullanılmaktadır [12].

Türkiye'de iki yerde endüstriyel boyutta Ferrokrom cürufu çıkmaktadır. Bunlardan birisi Antalya Ferrokrom İşletmesi, diğeri ise Elazığ Ferrokrom İşletmesidir. Çıkan cürufların hemen hemen tamamı stok alanlarında depolanmakta olup günümüze kadar bu cürufların ciddi anlamda değerlendirilmesi söz konusu olmamıştır [6].

Bu çalışmada Elazığ ferrokrom tesisi cüruflarının agrega olarak kullanıma uygun olup olmadığı incelenmiştir. Agrega karakteristiğini saptamak amacıyla elek analizi, los angeles aşınma deneyi, donma kaybı deneyi, özgül ağırlık ve su emme deneyi, yassılık indeksi deneyi, organik madde ve suda çözünen klorür tayini, alkali agrega reaktivitesi deneyi, çok ince malzeme deneyi, nokta yük dayanımı deneyi ve Schmidt çekici sertlik deneyi uygulanmıştır.



Şekil 1. Ferrokrom Üretim Isıl İşlem Prosesi [10].

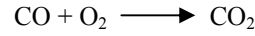
2. MATERYAL

Çalışmaya konu olan materyal Eti Krom Elazığ Ferrokrom Tesisi'nden alınan ark fırını cürufudur. Tesis Elazığ ili, Kovancılar ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Ferrokrom tesisinden getirilen bloklar halindeki cüruflar çeneli kırıcıdan geçirilerek boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyut küçültme işlemi sonrasında cürufların ortalama tane boyutu (d_{50}) 10 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Tesiste minimum %40 Cr_2O_3 tenörüne sahip kromit cevherleri ark fırınlarına beslenmektedir. Daha düşük tenörlü cevherler zenginleştirme tesislerine gönderilmektedir. Şekil 3'de Outokumru şirketine yaptırılan tesisin akım şeması görülmektedir. Ancak, daha sonra akım şemasında değişikliğe gidilmiş olup, tesis yenileme çalışmaları halen devam etmektedir.

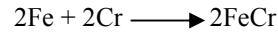
Ferrokrom üretim prosesi akım şeması ve açığa çıkan cürufun kimyasal bileşimi aşağıda gösterilmektedir (Şekil 4).

Diğer kimyasal reaksiyonlara ek olarak; ferrokrom oluşumu sırasında oluşan CO gazı sıcak olduğundan havanın oksijeni ile yanarak CO_2 şeklinde bacadan atılır. Ortalama tane boyutu (d_{50}):



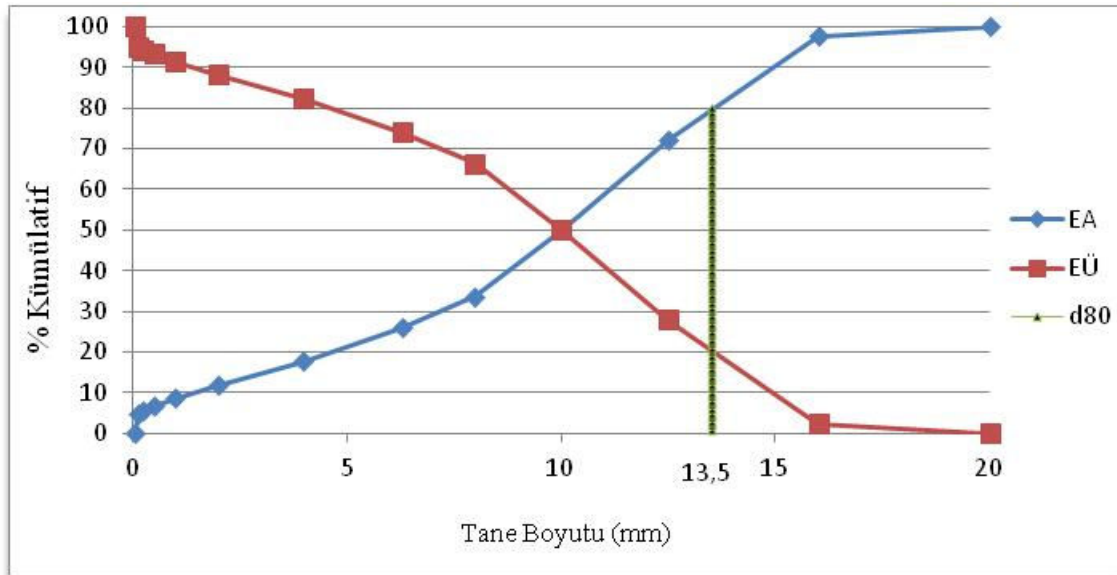
10 mm olan cüruflar Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi'ne (USCS) göre ince çakıl grubunda yer almaktadır (Çizelge 1).

Kırılarak agrega haline getirilen ferrokrom cüruflarının agrega özelliklerini belirlemek üzere çeşitli testler uygulanmıştır.

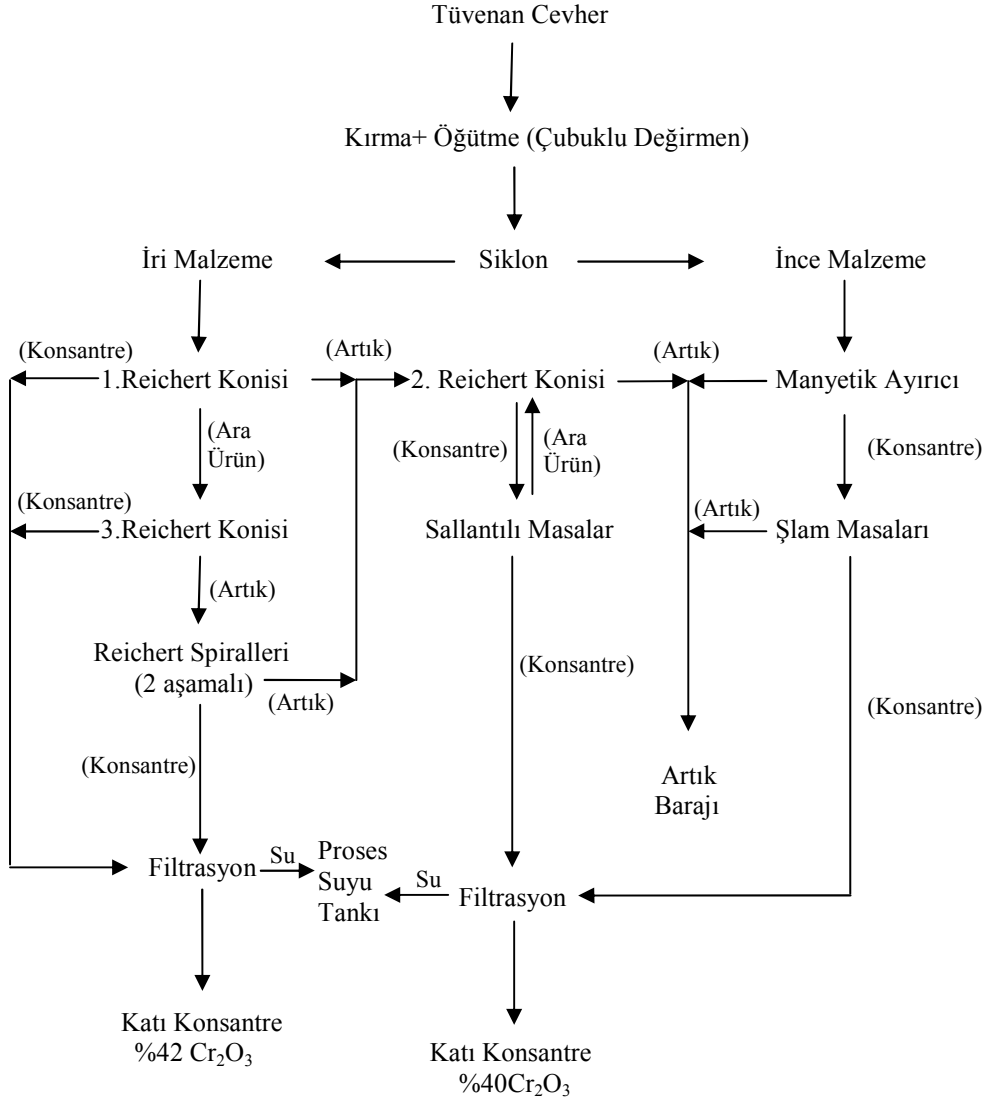


3. DENEYSEL BULGULAR

Agregaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere deneysel çalışmalar uygulanmıştır.



Şekil 2. Kırıcıdan geçirilen cürufların elek altı-elek üstü eğrileri



Şekil 3. Eti Krom Batı Kef Krom Zenginleştirme Tesisi akım şeması

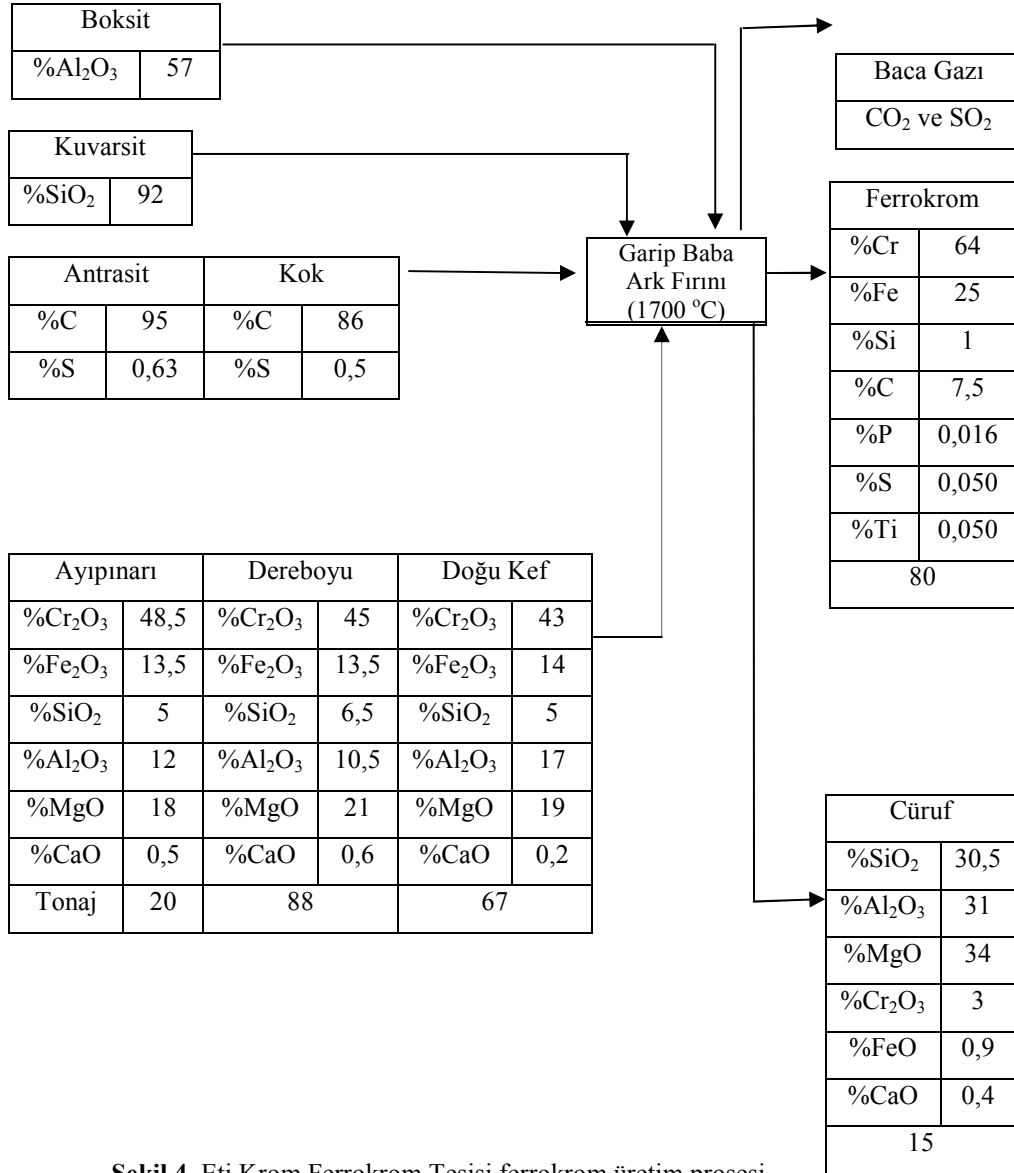
3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Sertlik

Sertlik ölçümleri Schmidt çekici ile yapılmış olup elde edilen değerler Çizelge 2’de görülmektedir.

Ortalama sertlik 78,37 olarak bulunmuştur. Çizelge 3’de ise kaya sınıflama değerleri verilmiştir.

Bulunan 78,37 ortalama değerine göre agregalar aşırı sert sınıfta yer almaktadır. Bu sertlik değeri TS 2513 (1977) “Doğal Yapı Taşları” ve TS 699



Şekil 4. Eti Krom Ferrokrom Tesisi ferrokrom üretim prosesi

Çizelge 1. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemi [13], (mm olarak)

İri	Kaya Bloğu	Blok	Çakıl		Kum			İnce (Kil ve Siltler)
			İri	İnce	İri	Orta	İnce	
>200	-300	+75	-75	-19	-4,75	-2	-0,425	-0,075
	+75	+19	+19	+4,75	+2	+0,425	+0,075	

Çizelge 2. Schmidt çekici sertlik deneyi sonuçları

Deney No	Okunan Değerler
1	80,4
2	73,9
3	80,7
4	75,6
5	85,7
6	72,3
7	79,9
8	80,5
9	71,5
10	83,2
Ortalama	78,37

Çizelge 3. Bieniawski'nin Schmidt Çekici Değerlerine Göre Kayaç Sınıflaması [14]

Schmidt Çekici Değeri	Kayaç Sınıfı
0-10	Yumuşak
10-20	Az Yumuşak
20-40	Az Sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça Sert
>60	Aşırı Sert

(1987) "Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları" ile TCK Fenni Şartnamesi'nde aranan özellikler için agregaların uygun olduğunu göstermektedir [15, 16].

3.1.2. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini

Tane yoğunluğunun hesaplanması piknometre

yardımıyla yapılmıştır. Su emme oranı ise 1 gün süreyle suya daldırılan agregaların ağırlığı ile, etüvde sabit tartıma getirildikten sonraki ağırlık farkının kuru ağırlığa oranlanması sonucu bulunmuştur. TS EN 1097-6 (Mart 2002)'ye göre gerçekleştirilen deneylerde tane yoğunluğu $3,08 \text{ gr/cm}^3$ ve su emme oranı ise %1,27 olarak bulunmuştur. Baz alınan standarda göre bu değerler uygun bulunmuştur [17].

3.1.3. Donma ve Çözülme Sonrası Kütle Kaybı Tayini

Tane boyutu uyarınca 2 kg numune kullanılmıştır. -17,3 derecede numuneyi dondurma ve ardından 20 derece ısıda çözme işleminin 10 döngü halinde gerçekleştirilmesi ile deney başlatılmıştır. Sonrasında agregalar 4 mm elekten elenerek kütle kaybının yüzdesi bulunarak deney tamamlanmıştır. TS EN 1367-1 (2001)'e göre gerçekleştirilen deneylerde kütlece donma kaybı %0,85 olarak bulunmuştur [18]. Standarda göre maksimum oranın %15 olması gerekmektedir. Bundan ötürü agregaların oldukça uygun olduğu söylenebilir.

3.1.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Bu deney metodu, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agrega tanelerinin yassı olarak sınıflandırmasını esas alan bir metottur. İki elek arasında kalan tanenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı tanelerinin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir. Bu deney 4 mm'den küçük veya 80 mm'den büyük olanlara uygulanmaz. Deney iki eleme işleminden oluşmaktadır. Deney elekleri ile ilk elemelerde numune tane büyüklüğü fraksiyonlarına di/Di ayrılır.

Her tane büyüklüğü fraksiyonu di/Di, çubuklar arası açıklığı Di/2 olan paralel çubuklu eleklerden elenir. Toplam yassılık indeksi, çubuklu eleğin arasından geçen tanelerin toplam kütlesi deneye tâbi tutulan tanelerin toplam kütlesinin yüzdesi olarak hesaplanır. İstendiğinde her bir tane büyüklüğü fraksiyonunun (di/Di) yassılık indeksi,

ait olduğu çubuklu elekten geçen tanelerin kütesinden hesaplanır ve bu tane büyüklüğü fraksiyonunun kütlece yüzdesi olarak ifade edilir. Çizelge 4'te gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler ve hesaplanan yassılık indeksi değerleri görülmektedir [19].

Çizelge 4. Yassılık İndeksinin Hesaplanması

di/Di Tane Büyüklüğü Fraksiyonu (mm)	Ri (gr)	Silindirik Çubuklu Elekte Çubuk Açıklığı (mm)	mi (gr)	Fii (%)
50-40	2297	25	243	11
40-31,5	6128	20	241	4
31,5-25	3680	16	247	7
25-20	1877	12,5	132	7
20-16	598	10	53	9
16-12,5	167	8	14	8
Toplam	14747		Ort.	6,31

Her tane büyüklüğü fraksiyonunun yassılık indeksi (Fii), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$Fii = (mi/Ri) * 100 \quad (1)$$

Burada;

Ri :Her bir di/Di tane büyüklüğü fraksiyonunun kütle (gr)

mi :Her tane büyüklüğü fraksiyonunun çubuklar arası açıklığı Di/2 olan çubuklu eleklerden geçen tanelerinin toplam kütle (gr)

TS 9582 EN 933-3 (Nisan 1999)'e göre yapılan deneylerde yassılık indeksinin %50'den az olması istenmektedir. Bulunan ortalama değer bu bakımdan oldukça uygundur.

3.1.5. Çok İnce Malzeme Deneyi

TS 3530 EN 933-1 (1999)'e göre uygun elekler seçilerek yapılan deney sonucu çok ince malzeme oranı %1,17 olarak bulunmuştur [20]. Agrega olarak kullanım için uygun bir değerdir.

3.2. Kimyasal Özellikler

3.2.1. Organik Madde, Asitte Çözünen Sülfat ve Suda Çözünen Klorür Tayini

TS EN 1744'e göre yapılan analizlerde asitte çözünen sülfat %0,05 olarak bulunurken, organik madde ve suda çözünen klorür tespit edilememiştir [21]. Baz alınan standarda göre bu oranlara sahip agrega kullanıma uygundur.

3.2.2. Alkali Agrega Reaktivitesi Deneyi

Betonda çatlak oluşumuna ve zaman içinde hasarlara neden olan alkali-agrega reaksiyonu, agregada bulunan aktif silika ile çimento içindeki alkali oksitler arasında meydana gelen kimyasal reaksiyondur. Reaksiyonun oluşabilmesi için agregada reaktif silika bulunması ve çimento alkali içeriğinin eşdeğer Na₂O değeri olarak %0,6 değerini aşması gerekir. Portland çimentosunun toplam alkali içeriği, sodyum oksit in eşdeğeri olarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir.

$$(Na_2O)_e = Na_2O + 0.658 K_2O \quad (2)$$

Alkali içeriği, sodyum eşdeğeri olarak %0,6'nın altında kalan çimentolar, alkali oksit oranı düşük çimentolar grubuna girerler ve genellikle ASR'na yol açamazlar.

Ancak agreganın reaktivliği arttıkça alkali oranı daha düşük çözeltilerde de reaksiyonun gelişebilir. Alkali agrega reaksiyonunda agregaların türü ve çimentonun kimyasal bileşiminden başka betonun boşluk yapısı, betonda kullanılan mineral katkıları ve ortamın bağıl nemi önemli rol oynar. Ortamda su bulunması durumunda, boşluk çözeltilisindeki OH⁻ iyonları, agregalardaki aktif silika ile reaksiyona girer, silikat jeli oluşturur. Bu jelin hacmi su emdikçe arttığından, deniz yapıları, karayolu sanat yapıları gibi suya ve atmosfer

etkilerine maruz yapılarda olayın daha belirgin ve zararlı olacağı açıktır. Yavaş gelişen bu olayın etkileri yapımdan 1-2 sene sonra ortaya çıkmakta, beton kütlelerinde önemli çatlaklar meydana gelmekte ve dayanım belirgin bir şekilde azalmaktadır [22].

TS 2517 (1977)'e göre gerçekleştirilen deneylerde;

Alkali Azalması : 100 mmol/lit

Çözünen Silis : 50 mmol/lit olarak bulunmuştur [23].

Standartta yer alan diyagramda, bulunan değerler işlendiğinde Elazığ Ferrokrom Tesisi cürufklarının Zararsız Agregalar bölgesinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5).

3.3. Mekanik Özellikler

3.3.1. Los Angeles Aşınma Kaybı Deneyi

8-12,5 mm tane boyutunda 2,5 kg ve 12,5-16 mm tane boyutunda 2,5 kg olmak üzere toplam 5 kg agrega ve 12 adet çelik bilya deneylerde kullanılmıştır. Los Angeles Deney Aleti içerisine bilyalar ve agregalar yerleştirildikten sonra alet döndürülmeye başlanmış ve 100 ile 500 dönme sonunda malzeme aletten çıkartılarak 1,6 mm'lik açıklığa sahip kare gözlü elekten elenmiştir. Bu şekilde K100 ve K500 değerleri aşağıdaki eşitliklerden belirlenmiştir.

$$K100 = [(GT-G100)/GT] \times 100 \quad (3)$$

$$K500 = [(GT-G500)/GT] \times 100 \quad (4)$$

Burada;

K100 : 100 Dönüş Sonundaki Aşınma Değeri (%)

K500 : 500 Dönüş Sonundaki Aşınma Değeri (%)

GT : Malzemenin Toplam Ağırlığı (gr)

G100 : 100 dönüş sonrasında 1,6 mm'lik elek üstünde kalan ağırlık (gr)

G500 : 500 dönüş sonrasında 1,6 mm'lik elek üstünde kalan ağırlık (gr)

TS EN 1097-1:2011 (2011) ve TS 699 (2009)'a göre Los Angeles Aşınma Kaybı Deneyi'nde, ağırlıkça, 100 dönüş sonunda %10 ve 500 dönüş sonunda ise %50'den az kayıp varsa agreganın yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada 500 dönüş sonunda elde edilen %18'lik kayıp oranı gayet uygundur [24, 25].

3.3.2. Nokta Yük Dayanımı Deneyi

Bu deney kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılmıştır. Bu deneyin ucuz ve pratikliği yanında düzensiz numunelere de uygulanabilir olması deneyi devamlı uygulanan bir deney haline getirmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak nokta-yük indeksi (Is):

$$Is = P/D_e^2 \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada:

P : kuvvet (kN)

D_e: Eşdeğer karot çapı (cm)

$$A = W * D \quad (6)$$

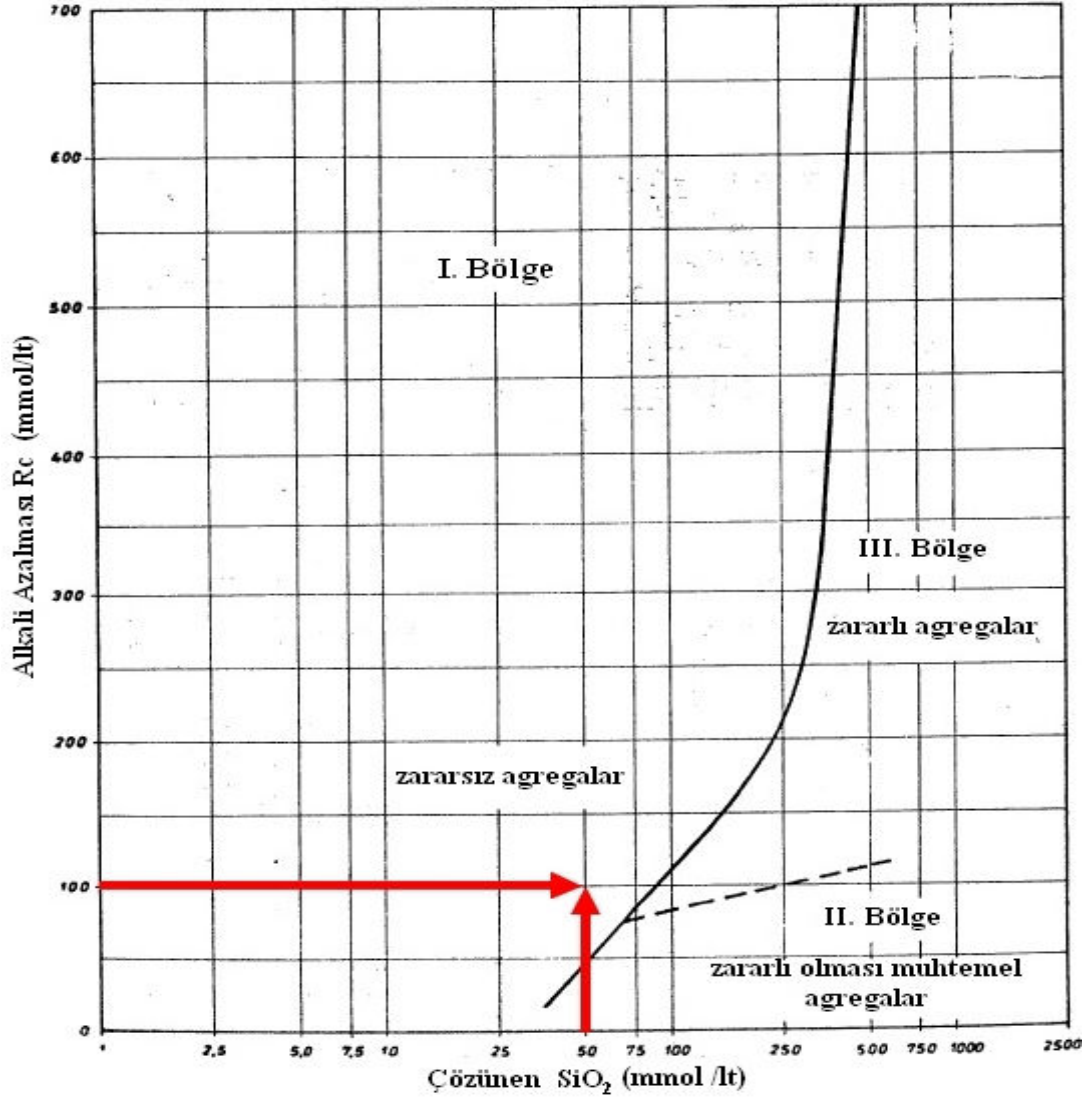
(Boyutların çarpımı, konik başlıkların temas noktaları boyunca örneğin en küçük kesit alanı) Düzensiz örneklerde:

$$D_e = 4A/\pi \text{ dir.} \quad (7)$$

Is değeri çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise D_e'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle Is değerinin eşdeğer bir karot çapına (D=50 mm) göre boyut düzeltilmesi gereklidir.

Bu amaçla hazırlanmış nomogram yoksa düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi

$$Is(50) = F * Is \quad (8)$$



Şekil 5. Alkali agrega reaktivitesi yardımıyla agrega sınıflaması

eşitliğinden hesaplanır. Boyut düzeltme faktörü (F) doğrudan Broch ve Franklin tarafından 1972 yılında hazırlanmış nomogramdan veya

$$F=(De/50)^{0,45} \quad (9)$$

eşitliğinden belirlenebilir [26].

Nokta Yük Dayanımı Deneyi'nden elde edilen sonuçlardan da anlaşıldığı üzere malzeme çok yüksek dayanıma sahiptir (Çizelge 5,6).

Çizelge 5. Ferrokrom cürufunun nokta yük dayanımı

D (cm)	W (cm)	P (kN)	Is ₍₅₀₎ (MPa)
2,04	5,72	26	15,6
3,01	3,61	18	11,4
3,01	4,62	26	13,6
3,88	2,39	24	17,2
2,91	4,62	15	8
3,01	4,18	22	12,4
3,01	2,05	15	14,7
Ort.			14,14

Ortalama Dayanım : 84,9/6 = 14,14 MPa
Standart Sapma Miktarı : 14,14±2,5 MPa'dır.

Çizelge 6. Kayaçların nokta yükü dayanımına göre sınıflandırılması [27, 28]

Sınıfı	Dayanım Sınıfı	Bieniawski (1975)	Deere (1968) MPa
A veya 1	Çok Yüksek	>8 MPa	>10
B veya 2	Yüksek	4-8 MPa	5-10
C veya 3	Orta	2-4 MPa	2,5-5
D veya 4	Düşük	1-2 MPa	1,25-2,5
E veya 5	Çok Düşük	<1 MPa	<1,25

4. SONUÇLAR

Çalışma boyunca Eti Krom Ferrokrom Cüruflarının agrega özelliklerini ortaya koymak için gerekli fiziksel, kimyasal, ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki çıkarımlarda bulunulabilir:

- Elazığ Ferrokrom Tesisi Cürufuları yol ve yapı işlerinin gerektirdiği agrega ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilecek özelliğe sahiptir.
- Atıl durumdaki cürufuların değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine girdi olarak kazandırılabilmesi ülke kalkınması için gereklidir.
- Eğer ülkemizdeki ferrokrom cürufularının verimli bir şekilde yeniden kullanılabilmesi sağlanabilirse; sadece depo alanı gereksinimi değil, canlı yaşamını da olumsuz etkileyebilecek birçok zararlı etken (ağır metallerin neden olabileceği zararlar gibi) bertaraf edilebilecektir.
- Cürufuların yeniden kullanımı için gereken destek sağlanmalı ve alternatif kullanım alanları ortaya çıkarılmalıdır. Örneğin; Elazığ ferrokrom tesisi cürufularının sertliği oldukça yüksektir ve aşındırıcı olarak kullanım özellikleri önemli bir çalışma konusu olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Reuter, M., Xiao, Y., and Boin U., Recycling and Environmental Issues of Metallurgical Slags and Salt Fluxes, VII. International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004.
2. Çinkı, M., M., Krom; Imf, Wfo ve Wb Kısacında Özelleştirmeye Kadar Uzanan Kanlı Bir Öykü, Metalurji Dergisi, sayı 128, 2002.
3. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı Ankara, DPT: 2626 - ÖİK: 637, 2001.
4. Madencilik ve Feroalyaj, (<http://www.yildirimholding.com/?mode=yildirim&UID=1267>), erişim tarihi: 4.15.2013.
5. Ferrokrom Enerji Santrali Projesinin Temeli Atıldı, (<http://www.ilkehaberajansi.com.tr/haber/ferrokrom-enerji-santrali-projesinin-temeli-atildi.html>), erişim tarihi: 4.15.2013, yayımlandığı yıl: 2012.

6. Yılmaz, A., Antalya Ferrokrom İşletmesinin Elektrik-Ark Fırını Cüruflarının ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 2002.
7. Yılmaz, A. ve Süttaş, İ., Ferrokrom Cürufunun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, sayfa 4455-4470, 2008.
8. Yılmaz, A. and Karşahin, M., Use of Ferrochromium Slag as an Artificial Aggregate in Pavement Layers, ASTM International Journal, 9(1), pp 9, 2012.
9. Yazıcıoğlu, S., Gönen, T. ve Çobanoğlu, Ö. C., Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 17(4), 2005.
10. Niemela, P. ve Kauppi, M., Production, Characteristics and Use of Ferrochromium Slags, Innovations in Ferro Alloy Industry, 2007.
11. Alp, S., İstanbul Ticaret Odası, Kum, Kil ve Taş Ocakları Sektör Raporu, 2004.
12. Booyesen, H., The use of the waste delisting process - case study : the management of ferrochrome slag as a construction product in South Africa., 2008.
13. Hogentogler, C. A. and Terzaghi, C., Interrelationship of load, road and subgrade, Public Roads: pp. 37-64, 1929.
14. Brown, E. İ., Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 1981.
15. TS 2513 (1977) .
16. TS 699 (1987).
17. TS EN 1097-6 (Mart 2002).
18. TS EN 1367-1 (2001).
19. TS 9582 EN 933-3 (Nisan 1999).
20. TS 3530 EN 933-1 (1999).
21. TS EN 1744-1 (2008), TS EN 1744-5 (2011) .
22. Aköz, F., ve Çakır, Ö., Alkali Agregat Reaksiyonunun Betonda Neden Olduğu Hasarların Deneysel Olarak Araştırılması, İMO, 2008.
23. TS 2517 (1977).
24. TS EN 1097-1:2011 (2011).
25. TS 699 (2009).
26. Topal, T., Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, sayı 24, Teknik not, 1985.
27. Bieniawski, Z. T., The Point Load Test in Geotechnical Practice, Engineering Geology, Vol. 9, pp 1-11, 1975.
28. Deere, D. U., Rock Mechanics in Engineering Practice, Published by John Wiley and Sons, London, 1968.