

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON HARCININ BASMA VE EĞME
DAVRANIŞLARINA FERRO-KROM CÜRUF
KATKISININ ETKİSİ**

Selçuk KARATAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi
Doç. Dr. M. Halidun KELEŞTİMUR

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON HARCININ BASMA VE EĞME
DAVRANIŞLARINA FERRO-KROM CÜRUF
KATKISININ ETKİSİ**

Selçuk KARATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 20/07/06 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr M. Halidun KELEŞTİMUR

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca değerli görüşlerini, yakın ilgisini ve desteğini hiçbir şekilde benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. M. Halidun KELEŞTİMUR a benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Osman YILMAZ ve Yrd Doç. Dr. Nihat KAYA 'ya, deney çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Arş. Grv. Ömer GÜLER e ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
1.Giriş	1
2.Yüksek Fırında Üretim	2
3.Elazığ Ferrokrom İşletmesi	5
3.1.KURULUŞUN TARİHÇESİ	5
3.2. COĞRAFI KONUM	5
4. Kromit Cevheri	6
4.1. Kromit Cevheri Türleri	7
4.2. Şirkete Bağlı Kromit Cevheri Çıkarma Bölgeleri	8
4.2.1.Elazığ Bölgesi	8
4.2.2. Adana Bölgesi	8
4.2.3. Hatay Bölgesi	8
5. Kromit Cevheri Zenginleştirme İşlemleri	10
5.1. Briket Üretilimi	10
6. Yüksek Karbonlu Ferrokrom Üretilimi	11
6.1. Ferrokrom	11
6.2. Ferrokrom Özellikleri	11
6.3.Ferrokromdaki Alaşım Elementlerinin Etkisi	12
6.4. Ferrokrom Üretilimi	13
6.4.1. Fırın İçinde Meydana Gelen Olaylar	15
6.4.2. A Tesisi	16
6.4.3.. B TESİSİ	19
7.Ferrokrom Tüketim Alanları	22
7.1Yüksek Alaşımli Çeliklerde Ferrokrom Tüketimi	22
7.2. Yüksek Muk. Düşük Alaşımli Çelikler(HSLA)De Krom Tüketimi	22
7.3. Karbonlu Çeliklerde Krom Tüketimi	22
7.4.Takım Çeliklerinde Krom Tüketimi	23
7.5. Dökme Demirlerde Krom Tüketimi	23
8. Ferrokrom Üretilimi Sonucu Oluşan Atık Malzemeler	24
8.1. Baca Tozu Elek Analizi	24
8.2.Baca Tozu Kimyasal Analizi	24
8.3. Baca Gazı Analizi	24
8.4. Baca Gazı Teknolojik Değerleri	25
8.5.Ferrokrom Curufu	25
8.5.1. İdeal Curuf Kompozisyonu	25
8.5.2. Curufdaki Alaşım Elementlerinin Etkisi	26
8.5.3. Curuf Yoğunluğu	27
9.Curufklar ve Geri Dönüşüm Uygulamaları	28
9.1. Yapı Malzemesi Uygulamaları	28
9.2. Agrega Olarak Uygulamaları	30
9.3. Kompozit Uygulamaları	31
9.4. Cam Seramik Uygulamaları	31
10. Malzeme ve Metod	33
10.1 Numunelerin hazırlanması	33
10.2 Karışım Miktarları	33
10.3 Numune Kalıpları	33

10.4 Deney Malzemeleri	34
10.5 Deney Yöntemi	35
10.5.1 Sertleşmiş Betonun Basınç Dayanımı	35
10.5.2. Sertleşmiş Betonun Eğilme Dayanımı	36
11. Deney Sonuçları	39
12 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	47
13. Genel Sonuçlar	51
KAYNAKLAR	52

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Krom Cevheri Kullanım Alanları.....	10
Şekil 6.1. $Al_2O_3 - MgO - SiO_2$ üçlü denge diyagramı	14
Şekil 6.2 A Tesisi Akım Şeması.....	18
Şekil 10.1. Basit kırışteki kayma kuvveti ve eğilme momenti.....	36
Şekil 10.2. Basit bir kırışte A elemanı üzerinde çekme ve eğik çekme kuvvetleri	37
Şekil 10.3. Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti	37
Şekil 11.1 üç günlük numunelerin eğilme mukavemetleri	40
Şekil 11.2 üç günlük numunelerin eğilme mukavemetleri max yük değerleri	40
Şekil 11.3 üç günlük numunelerin basma mukavemetleri max yük değerleri	41
Şekil 11.4 üç günlük numunelerin basma mukavemetleri	41
Şekil 11. 5 yedi günlük numunelerin eğilme mukavemetleri	42
Şekil 11.6 yedi günlük numunelerin eğilme mukavemetleri max yük değerleri	43
Şekil 11.7 yedi günlük numunelerin basma mukavemetleri	43
Şekil 11.8 yedi günlük numunelerin basma mukavemetleri max yük değerleri	44
Şekil 11.9 yirmi sekiz günlük numunelerin eğilme mukavemetleri	45
Şekil 11.10 yirmi sekiz günlük numunelerin eğilme mukavemetleri max yük değerleri	45
Şekil 11.11 yirmi sekiz günlük numunelerin basma mukavemetleri	46
Şekil 11.12 yirmi sekiz günlük numunelerin basma mukavemetleri max yük değerleri	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Tipik Curuf Analizi	3
Tablo 2.2. Yüksek Fırın Pikinin Analizi.....	3
Tablo 2.3 Yüksek Fırın Gazının Özellikleri	4
Tablo 2.4. Baca Tozu Analizi	4
Tablo 4.1 Krom Cevherinin Kimyasal Özellikleri	7
Tablo 4.2. Dünya kromit rezervleri (Bin Ton).....	9
Tablo 4.3. Türkiye kromit rezervleri (Bin Ton)	9
Tablo 6.1. Yüksek Karbonlu Ferrokromun Genel Nitelikleri.....	19
Tablo 7.1. Paslanmaz Çelik Üreten ülkelerde Krom Ara ürünleri Tüketim Tahminleri (1000 Ton)....	22
Tablo 7.2. Dünya Ülkeleri 1985 ve 1982 yılı Paslanmaz Çelik ve Krom ara ürünleri tüketim Projeksiyonları	22
Tablo 10.1 Hazırlanan numunelerin karışım oranları (2,03 dm ³)	33
Tablo 10.2. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler.....	34
Tablo 10. 3 Elazığ Ferrokrom cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	35
Tablo 11.1 üç günlük numuneler için eğilme ve basma deneyi sonuçları	39
Tablo 11.2 yedi günlük numuneler için eğilme ve basma deneyi sonuçları	42
Tablo 11.3 yirmi sekiz günlük numuneler için eğilme ve basma deneyi sonuçları	44

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

BETON HARCININ BASMA VE EĞİME DAVRANIŞLARINA FERRO-KROM CÜRUF KATKISININ ETKİSİ

Selçuk KARATAŞ
Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Anabilim Dalı

Bu çalışmada, Elazığ Ferrokrom İşletmesinden elde edilen curufun betonda basınç dayanımı ve eğilme mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla maksimum tane çapı 4mm olan agregası ile hazırlanan beton karışımlarına çimento ağırlığının %3, %5, %7 ve %10'u şeklinde olmak üzere değişen oranlarda curuf katılmıştır. Çalışma sabit slump altında yapılarak, deney numuneleri 3 , 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre çalışmada % 3 curuf katkılı betonların en yüksek basma ve eğilme dayanıma ulaştığı ve curufun betonda çimento katkı maddesi olarak %5'e kadar kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Curuf, Basınç Dayanımı, Beton.

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF FERRO – KROM SLAG ADDICTED CONCRETE MORTAR’S COMPRESSION AND BENDING BEHAVIOUR

Selçuk KARATAŞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

In this study, the effects of the slag from Elazığ Ferrocromium Plant on the compressive and bending strength of the concrete were investigated. With this aim ,slag in different proportions(3%, 5%, 7%, 10%) of cement weight added into the concrete. The study was performed under constant slump and the specimens were tested (compression and bending) after a cure of 3, 7 and 28 days. From the results compression and bending strength In addition maximum strength was obtained in the concrete with 3% slag and it was understood that slag could be added upto 5%.

Keywords: Slag, Compressive strength, concrete.

BETON HARCININ BASMA VE EĞME DAVRANIŞLARINA FERRO-KROM CÜRUF KATKISININ ETKİSİ

1.GİRİŞ

Endüstriyel tesis ve çeşitli imalathanelerde üretim işlemleri sonucu açığa çıkan ve istenmeyen nitelikteki katı maddelere katı atık (cüruf) adı verilmektedir. Günümüzde bu atıklar ekonomi ve çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Tabiatıta bulunan doğal kaynaklar sınırsız olmayışı bu atıkların da bir şekilde kullanılması gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Katı atıklar zehir etkisi olan ağır metaller veya bileşikler içermektedir. Bu atıkların tekrar üretimde veya başka sahalarda kullanılması, hem ekonomi hem de çevre kirliliği açısından büyük fayda sağlayacaktır[1].

Metalürjik katı artıklardan cürufların teknolojik kullanımları yıllarca metalürji ve çevre mühendislerini ilgilendiren konuların başında yer almıştır. Cüruflar genellikle sanayi tesisleri ile inşaat sektöründe değerlendirilmeye çalışılmaktadır. İçerdiği oksitlerin miktarlarına göre cüruflar; klinker, harç tuğlası katkısı, gübre hammaddesi ve yalıtım malzemesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1].

Çalışmamıza konu olan Elazığ Ferro-krom Fabrikasında çıkan cüruf, yıllık olarak 80.000 – 100.000 ton arasında değişmektedir. Çıkan cüruf fabrika sahasında atıl vaziyette bekletilmektedir. Yaklaşık olarak 1 milyon ton cüruf değerlendirilmeyi beklemektedir. Böyle bir potansiyelin değerlendirilmesi hem ekonomik açıdan hem de saha ve çevre kirliliği açısından büyük katkılar sağlayacaktır [2]. Çalışmamızda bu cürufun inşaat sektöründe çimento yerine ikame edilebilmesi araştırılmıştır.

2.YÜKSEK FIRINDA ÜRETİM

Yüksek fırınlar, pik demir üretmek amacı ile çalışan tesislerdir. Yüksek fırınlarda pik demir üretiminin yanı sıra; cüruf, yüksek fırın gazı, baca tozu, yıkayıcı çamuru gibi yan ürünler de üretilir. Cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı malzemeler ile çakmak taşı, dolomit, kireç taşı, olivin gibi cüruf yapıcı malzemeler ve ısı kaynağı olan kok, fırının üst bölgesinden şarj edilirken; kömür, katran, fuel oil, doğal gaz gibi ısı kaynakları ise fırının alt bölgesinden verilir. Fırın üst bölgesinden şarj edilen malzemelerden sadece kok, fırın alt bölgesine kadar katı ve akkor halinde inerken diğer malzemeler belirli aşamalar geçirerek fırın alt bölgesine sıvı olarak inerler[3].

Tüyer yardımıyla ve yüksek fırın sobalarında ısıtılarak sıcaklığı 1000 – 1250 °C' a kadar yükseltlen hava, fırına tüyer bölgesinden girer ve aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Bu reaksiyondaki C (Karbon), Kok, Kömür, Katran, Fuel Oil, Doğal Gaz gibi ısı kaynaklarından sağlanırken; O₂ ısıtılmış tüyer havasından veya havaya karıştırılan saf oksijenden sağlanır [3].

Oluşan sıcak gaz (2000 – 2250 °C) fırın alt bölgesinden üst bölgesine hareket ederken cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı malzemeler ile çeşitli aşamalarda reaksiyona girerek bu malzemelerin demir içeriklerini diğer oksitlerden ayırır. Ayrılan demir ve birlikte çözünen diğer elementler pik olarak adlandırılır ve sıvı halde fırın hazne bölgesinde birikir. Hammaddelerin içerisindeki demir haricindeki diğer oksitler ise cüruf olarak adlandırılır ve sıvı halinde hazne bölgesinde sıvı pikin üzerinde birikir [3].

Reaksiyona giren CO (karbon monoksit) gazı oluşan diğer gazlar ile birlikte fırını terk eder ve Yüksek Fırın Gazı olarak adlandırılır. Yüksek fırına şarj edilen malzemelerin içerisindeki demir (Fe) haricindeki diğer elementler (pik içerisinde çözünemeyen kısımları) ve oksitler cürufu oluştururlar. Cüruf elde ediliş şekline göre granüle cüruf ve parça cüruf olmak üzere iki gruba ayrılır. Granüle cüruf çimento hammaddesi olarak kullanılırken, parça cüruf dolgu malzemesi olarak kullanılır. Kullanılan hammadde kalitesine ve çalışma şartlarına bağlı olarak 1 ton sıvı pik ile birlikte 200 – 300 kg arasında cüruf üretilir[3].

Üretilen cürufun tipik analizi tablo 2.1 de verilmiştir :

Tablo 2.1 Tipik Cüruf Analizi

FeO	% 0.20 - 0.70
SiO ₂	% 36.0 - 38.0
MnO	% 0.70 - 1.50
Al ₂ O ₃	% 13.0 - 15.0
CaO	% 37.0 - 40.0
MgO	% 4.00 - 8.00
S	% 0.80 - 1.20
Na ₂ O	% 0.20 - 0.40
K ₂ O	% 0.50 - 1.00
TiO ₂	% 0.70

Pik, yüksek fırınların ana üretimi ve çeliğin hammaddesidir. Yüksek fırınlarda üretilen pikin analizi Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 Yüksek Fırın Pikinin Analizi

Fe	% 94.0 – 96.0
Si	% 0.60 – 1.20
Mn	% 0.50 – 0.70
C	% 4.20 – 4.50
P	% 0.07 – 0.10

Yüksek fırın içerisinde hammaddelerin ergimesi ve demirin oksitlerinden ayrışarak indirgenme işlemleri CO gazı ile elde edilir. İndirgenme ve parçalanma reaksiyonları sonrası açığa çıkan çeşitli gazlar fırın içerisinde belirli mertebelerde reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonrasında kullanılamayan gazlar yüksek fırını terk eder ve yüksek fırından ayrılırken beraberinde küçük yapılı (toz) malzemeleri de fırından uzaklaştırır. Gaz içerisindeki bu malzemeler ayrıştırılıp temizlendikten sonra geriye kalan ürün, yüksek fırın gazı olarak adlandırılır ve fabrikanın çeşitli yerlerinde yakıt olarak kullanılır. Yüksek fırın gazının özellikleri Tablo 2.3 de verilmiştir [3].

Tablo 2.3 Yüksek Fırın Gazının Özellikleri

Sıcaklık	30 – 35 °C
Basınç	75 gr/cm ²
CO	% 20 – 22
CO ₂	% 20 – 22
H ₂	% 2.0 – 4.0

Fırını terk eden yüksek fırın gazı, fırına şarj edilen hammaddeler içerisinde bulunan ince yapılı malzemeleri de beraberinde taşır ve fırından uzaklaştırır. Gaz içerisindeki bu toz, gazdan ayrılarak toz silosunda birikir ve baca tozu olarak adlandırılır [3]. Biriken baca tozu analizi Tablo 2.4 de verilmiştir.

Tablo 2.4 Baca Tozu Analizi

Fe	% 45 – 50
C	% 20 – 25
SiO ₂	% 5.0 – 8.0
Al ₂ O ₃	% 2.0 – 3.0
CaO	% 5.0 – 7.0
MgO	% 1.00 – 1.20
S	% 0.60 – 0.80
Na ₂ O	% 0.10 – 0.20
K ₂ O	% 0.50 – 0.80
Zn	%0.05 – 0.070

Not : Baca tozu, Sinter Fabrikasında sinter hammaddesi olarak kullanılır[3]

3. ELAZIĞ FERRO-KROM İŞLETMESİ

3.1. Kuruluşun Tarihçesi

1935 yılında Elazığ ilinin Alacakaya (Guleman) ilçesi yakınlarında ilk krom cevheri yatakları bulunmuştur. 1936 –yılında ise Alacakaya'da Şark kromları T.A.Ş. kurulmuştur. 1939 da Etibank Şark kromları İşletmesi Müessesesi kurularak, Etibank Genel Müdürlüğü'ne bağlanmıştır. 1982 yılında Etibank Genel Müdürlüğü Yönetim Kurulu Kararı ile Elazığ Ferro-krom İşletmesi adını almıştır. 1984 de Etibank Şark kromları-Ferro-krom İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü adı altında birleştirilmiş. 1998 ETİ KROM A.Ş. Genel Müdürlüğü adını almıştır[4]. 2004 yılında Blok satışı yapılan Eti Krom A.Ş. Genel Müdürlüğü, Yıldırım Şirketler Gurubu tarafından tüm hakları ile devir alınmış bulunmaktadır.

3.2. Coğrafi Konum

Eti Krom A.Ş. Genel Merkezi ve Ferro-krom Üretim Tesisleri; Elazığ Bingöl karayolu üzerinde olup, Elazığ il merkezine uzaklığı 55 km'dir. 2.118.589_m² lik bir alana üzerine kurulmuştur. Genel Müdürlük Merkezinde fabrikalar ve yardımcı tesisler için 61.000 m² alan, sosyal tesisler için ise 13.000 m² alan olmak üzere toplam 74.000 m² alan kullanılmıştır[4].

Krom cevheri üretiminin yapıldığı Eti Krom A.Ş. Maden Ocakları; Elazığ İli Alacakaya İlçesi (Guleman) bölgesinde yoğunlukla yer alıp, il merkezine uzaklığı 76 km, Eti Krom A.Ş. Genel Müdürlük merkezine uzaklığı ise 31 km.dir. Maden İşletme Müdürlüğü 761.463 m² açık, 16.286 m² kapalı alana sahiptir [4].

4. KROMİT CEVHERİ

Krom (Kromit) Cr_2O_3 :

Krom ilk defa Fransız kimyageri Vauguelin tarafından 1797 yılında Krokoit filizinde keşfedilmiş ve bu mineralin bütün bileşikleri kuvvetli renklendirici oldukları için Yunanca renk manasına gelen Chrome adı verilmiştir. Yerkabuğunun yaklaşık %0,037'sini oluşturur. %4–5 kadar da göktaşlarında bulunduğu tespit edilmiştir[5].

En basit şekliyle oktahedral kristalli Kromit, Spinel grubundan FeCr_2O_4 formülü ile ifade edilmektedir. Dünyada tespit edilen 50'ye yakın Krom minerali bilinmekle beraber ekonomik değer taşıyan ve krom yataklarının esasını teşkil eden tek mineral Kromittir. Krom cevher yatakları, Peridotik genel adıyla Ultrabazik, magmatik kayalar içerisinde stratiform (Tabakalı) ya da pediform (Merceksi) kütleler halinde bulunur. Kromit gri-kahverengi-siyah renkte olup sertliği 5,5 ve yoğunluğu ise 4,5–4,8 civarındadır. Kimyasal bileşiminde Cr_2O_3 - FeO - Al_2O_3 - MgO - SiO_2 ve CaO ihtiva eder [5].

Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristalleşir. Teorik formülü FeCr_2O_4 olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$ olarak verilmektedir [4].

Kromit mineralinin bazı fiziksel özellikleri şöyledir:

Özgül ağırlığı	: 4,1 – 4,9 g/cm^3
Sertliği	:5,5 (Mohs)
Rengi	:Parlak siyah
Çizgi rengi	:Kahverengi
Genelde manyetik özellik taşımaz.	

Element olarak sembolü Cr olan kromun, atom ağırlığı 51,996, özgül ağırlığı 7,2 gr/cc. (20 °C), erime noktası 1857 °C, kaynama noktası 2672 °C dır [5].

Kromit minerali ve krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayacın (dunit, serpantinit) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masif, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve dissemine bantlı gibi

nitelendirilmelerini sağlar. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır [4].

Krom cevherinin kimyasal bileşimi, cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 yüzde miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği % 68'dir [4]. Metalürji sektöründe kullanılan krom cevherinin kimyasal özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1 Krom Cevherinin Kimyasal Özellikleri

Cr_2O_3	% 34-48
SiO_2	% 8-12
Al_2O_3	% 8-15
MgO	% 16-22
CaO	% 0,5- 1
P+S	eser
Cr/Fe	2/1 – 3/1

4.1. Kromit Cevheri Türleri

Yüksek Kromlu Cevher (Metalurjik Cevher)

%48-54 Cr_2O_3 Cr/Fe > 2,1 dir

Yüksek Demirli Cevher (Kimyasal Cevher)

%40-48 Cr_2O_3 Cr/Fe= 1,5- 2,1 dir

Yüksek Alüminyumlu cevher (Refrakter Cevher)

Al_2O_3 min. %20, ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$) Min. %60

4.2. Şirkete Bağlı Çıkarılabilir Kromit Cevheri Çıkarma Bölgeleri :

4.2.1. Elazığ Bölgesi

1936 yılından beri üretime devam edilen Alacakaya (Guleman) dâhilindeki, Gölalan, Sori – Kef, Murat (Bağın – Herpete) Maden (Pütyan –Heridan-Dicle) ve Nacaran bölgesindeki sahalarda krom cevheri üretimi, kapalı ve açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır.

Sori - Kef bölgesinde yer alan 20 adet maden ocaklarından yer altı üretim yöntemi ile, 3 adet açık maden ocağından açık işletme yöntemi ile %34–50 tenörlü, 5.950.000 Ton görünür + 4.200.000 Ton muhtemel rezerve sahiptir

Murat (Bağın – Herpete) bölgesinde yer alan 2 adet maden ocaklarından açık işletme ve yer altı yöntemi ile %42–48 tenörlü, 6.500 Ton görünür + 410.000 Ton muhtemel rezerv bulunmaktadır.

Maden bölgesinde yer alan 5 adet maden ocaklarından, açık işletme yöntemi ile %24–46 tenörlü, 1.000 Ton görünür + 290.000 Ton muhtemel rezerve sahiptir.

Nacaran bölgesinde 2 adet maden ocağından %38–46 tenörlü, 160.000 Ton muhtemel rezerv bulunmaktadır [4].

4.2.2. Adana Bölgesi

Adana ili dâhilindeki Aladağ – Karsantı bölgesindeki sahada açık işletme yöntemi ile ortalama %5,8 tenörlü 144.095.948 Ton görünür + 540.000.000 Ton muhtemel rezerv bulunmaktadır [4].

4.2.3. Hatay Bölgesi

Hatay ili dâhilindeki İskenderun bölgesindeki sahada yer alan 6 adet maden ocağından açık işletme ve yeraltı üretim yöntemi ile %42–48 tenörlü, 15.000 Ton görünür + 800.000 Ton muhtemel rezerv mevcuttur [4].

Dünya kromit rezervleri Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2: Dünya kromit rezervleri (Bin Ton) [4]

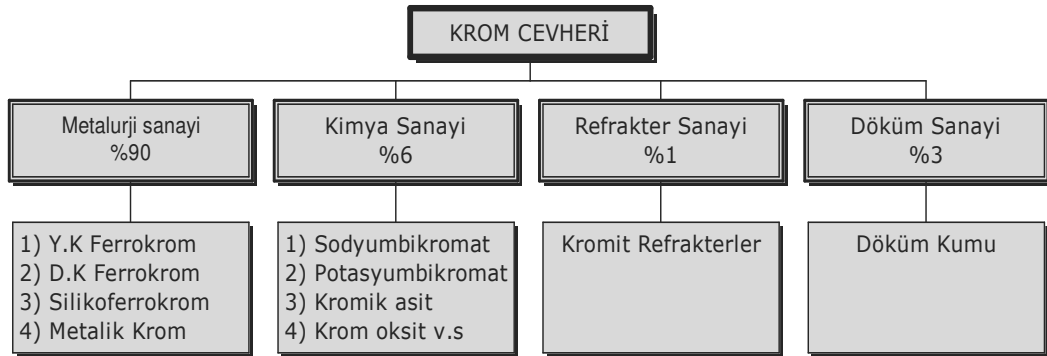
ÜLKELER	Rezerv		Baz Rezerv	
ABD	-	*	10.000	*
Cezayir	6.100		6.100	
Brezilya	14.000		17.000	
Finlandiya	41.000		120.000	
Hindistan	26.000	*	57.000	*
İran	2.400		2.400	
Kazakistan	320.000	*	320.000	*

Rusya	4.000		460.000	
Güney Afrika	3.000.000	*	5.500.000	*
TÜRKİYE	8.000	*	20.000	*
Zimbabwe	140.000		930.000	
Diğer Ülkeler	40.000		99.000	
DÜNYA TOPLAMI	3.600.000		7.600.000	

Türkiye kromit rezervleri ise Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3: Türkiye kromit rezervleri (Bin Ton) [4]

	BÖLGELER	TOPLAM REZERV		TENÖR (% Cr2O3)
		Miktar	%	
1	Guleman (Elazığ)	11.828	45	20-48
2	Sivas-Erzincan-Kopdağ	7.067	26	
3	Bursa-Kütahya-Eskişehir	3.399	13	
4	Mersin-Adana-Kayseri	2.770	10	
5	Fethiye-Köyceğiz-Denizli	1.486	6	
6	İskenderun-Hatay-Gaziantep	123	0	
	TOPLAM	26.673	100	
	Karsantı (Adana)	198.000		5,38



Şekil 4.1 Krom Cevheri Kullanım Alanları[5]

Şekil 4.1 de krom cevherinin kullanım alanları şematik olarak gösterilmiştir.

5. KROMİT CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME İŞLEMLERİ

Zenginleştirme tesisi olarak; 1991 yılında üretime alınan Outokumpu / Finlandiya teknolojisi ile yapılan 250.000 Ton/Yıl kapasiteli Kef Konsantratörü bulunmaktadır.

Kef Konsantratör Tesisi, Batı Kef açık ocağından üretilen düşük tenörlü (%13–37 Cr_2O_3) tüvenan cevheri işlemek üzere kurulmuştur. Kef Konsantratör tesisi; Açık ocaktan gelen max. +600 mm. boyutundaki cevheri -20 mm. ebadında nihai ürün olarak ara ürün silosuna nakledilir.

Konsantratör tesisinin amacı, %25 Cr_2O_3 ortalama besleme tenöründeki krom cevherini zenginleştirme işlemine tabi tutarak %40–42 Cr_2O_3 ortalama tenörlü konsantre kromit elde etmektir [4].

5.1. Briket Üretimi

Eti Krom A.Ş. Kef Konsantratöründe elde edilen konsantre kromitlerin, ferrokrom ark fırınlarında kullanılabilmesi için briketlenmesi gerekmiştir.

Bu amaçla 1997 yılında 130.000 Ton/Yıl kapasiteli bir Briket Tesisi kurulmuştur. 2000 yılında ek bir paralel üretim hattı daha devreye alınarak, kapasite 260.000 Ton/Yıl olmuştur [4].

6. Yüksek Karbonlu Ferro-Krom Üretimi

6.1. Ferro-Krom

Kalkınmış ülke sanayilerinin temel girdilerinden biri olan paslanmaz çeliğin ikame edilemeyen unsurlarından biri de ferro-krom dur.

Dünyada ferro-krom; (büyük bir kısmı metalürjik kalitede olan) kromit cevherlerinin kok kömürü kullanılarak elektrik ark-direnç fırınlarında indirgenmesiyle üretilmektedir.

Karbon içeriğine göre; 3 çeşit ferro-krom üretilmektedir. Bunlar; Düşük Karbonlu Ferro-krom, Orta Karbonlu Ferro-krom, Yüksek Karbonlu Ferro-krom dur. Ayrıca yüksek karbonlu olmakla beraber krom miktarı düşük olan (% 50–55 Cr) ferro-krom ise şarj krom olarak adlandırılmaktadır.

Dünya ferro-krom endüstrisinde uygulanmakta olan üretim prosesleri; Outokumpu Prosesi, SCR Prosesi, Plazma Ark Prosesi ve CDR Prosesi gibi üretimlerdir. Ancak en yaygın olarak kullanılan üretim, Outokumpu Prosesinde olduğu gibi; peletleme-sinterleme, ön ısıtma ve kapalı tip elektrik ark-direnç fırını ünitelerinden oluşmaktadır.

Outokumpu Prosesi'ndeki peletleme-sinterleme, gerek prosesi daha karmaşık hale getirmesi ve gerekse üretim maliyetini yükseltmesi nedeniyle işletmecilik açısından istenen bir durum olmamasına rağmen, zengin parça cevherlerinin giderek azalması ve düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi ile elde edilen konsantre cevherlerin ferro-krom fırınlarında kullanılabilmesi için, üretim proseslerinde giderek yaygınlaşmaktadır [2].

6.2. Ferro-krom Özellikleri

Bir alaşımın Cr içeriği kromit cevherindeki Cr / Fe ile belirtilir ve ferro-krom üretimi maliyeti, içindeki karbon yüzdesine bağlıdır.

Saf kromit'in endüstride Cr_2O_3 / FeO oranı ancak 2.1 civarındadır. Buna rağmen standart ferro-krom izabesi için gerekli olan oran 2,5'den büyük olmalıdır [2].

6.3. Ferro-krom da ki Alaşım Elementlerinin Etkisi

Si' in Ferro-krom Üzerine Etkileri

- Cüruf'ta SiO_2 miktarının %30'un üstüne çıkması.
- Cüruf'ta Al_2O_3 oranını düşmesi ve cüruf sıcaklığının azalması.

- Hammadde’de kok oranının iyi ayarlanmaması ve fazla olması.
- Hammadde’de SiO₂ fazlalığı ve CaO azlığı neticesinde Si aktivitesinin artmasıdır [5].

Fe’ in Ferro-krom Üzerine Etkileri

- Hammadedeki Fe oranının yüksekliği
- Fe oksitlerin kromite göre indirekt kolayca redüklenme özelliği.
- Spinel bir yapı gösterdiğinden kolayca bir redüksiyona tabii tutulması.
- Redüksiyon sıcaklığının düşük olmasından [5].

C’ nun Ferro-krom Üzerine Etkileri

Yapılan alaşımlarda “C” etkisi ile çeliğin yüksek mukavemet etkisi kaybolur. Metalik yapıya geçiş nedenleri

- Sıvı alaşım ve cüruf sıcaklığının düşmesi
- Cüruf’un elektrik direncinin azalması
- Hammadde kok şarjının gereğinden fazla yapılması
- Reaksiyon bölgesin’ de yeterince Cr₂O₃ bulunmaması
- Hammadde Al₂O₃ oranını düşmesi
- Cüruf sıcaklığı 1700 – 1750⁰C aralığında ölçülmelidir [5].

S’ ün Ferro-krom Üzerine Etkileri

- Kükürdü fazla kokla çalışılması
- Cüruftaki CaO miktarının düşüklüğü (Yüksek karbonlu FeCr’ da daima söz konusudur, çünkü sıcaklığını düşürür.)
- Cüruf sıcaklığının 1700⁰C nin altına düşmesi [5].

P’ un Ferro-krom Üzerine Etkileri

- Hammaddelerde fosfor fazlalığı
- CaO azlığında etkisi artar
- Demirle karışık kristal oluşturma özelliğinden dolayı geçer [5].

6.4. Ferro-krom Üretimi

Ferro-krom un ana hammaddesi olan krom cevheri, parça ve konsantre halinde kullanılarak ferro-krom a dönüştürülür. Krom cevheri ile birlikte kok kömürü, kuvarsit, boksit ve soderberg yardımcı maddeler olarak ferro-krom üretiminde kullanılmaktadır. Kullanılan hammaddeler ve yardımcı maddeler istenilen ebatta kırılarak ferro-krom tesisi hammadde silolarında depolanır.

Otomatik kantarlar vasıtasıyla belirli oranlarda karıştırılan hammadde ve yardımcı maddeler ferro-krom fırınlarına beslenmekte ve eriyen malzemeler belirli aralıklarla dışarı alınmaktadır.

Ark fırınlarının taban ve yan duvarları refrakter örgülü olup tabanlar hava ile soğutulmakta, Üretim B tesisinde yan cidarlar su ile soğutulmaktadır. Fırına elektrik enerjisi soderberg tip elektrotlarla verilir. Elektrotlar fırın içerisindeki şarja 1,5- 2m. gömülü olup elektrot uçlarında oluşan arklar neticesi ısı enerjisine çevrilerek reaksiyonlar ve erime için gerekli (1700–1800 °C) sıcaklık temin edilmiş olur.

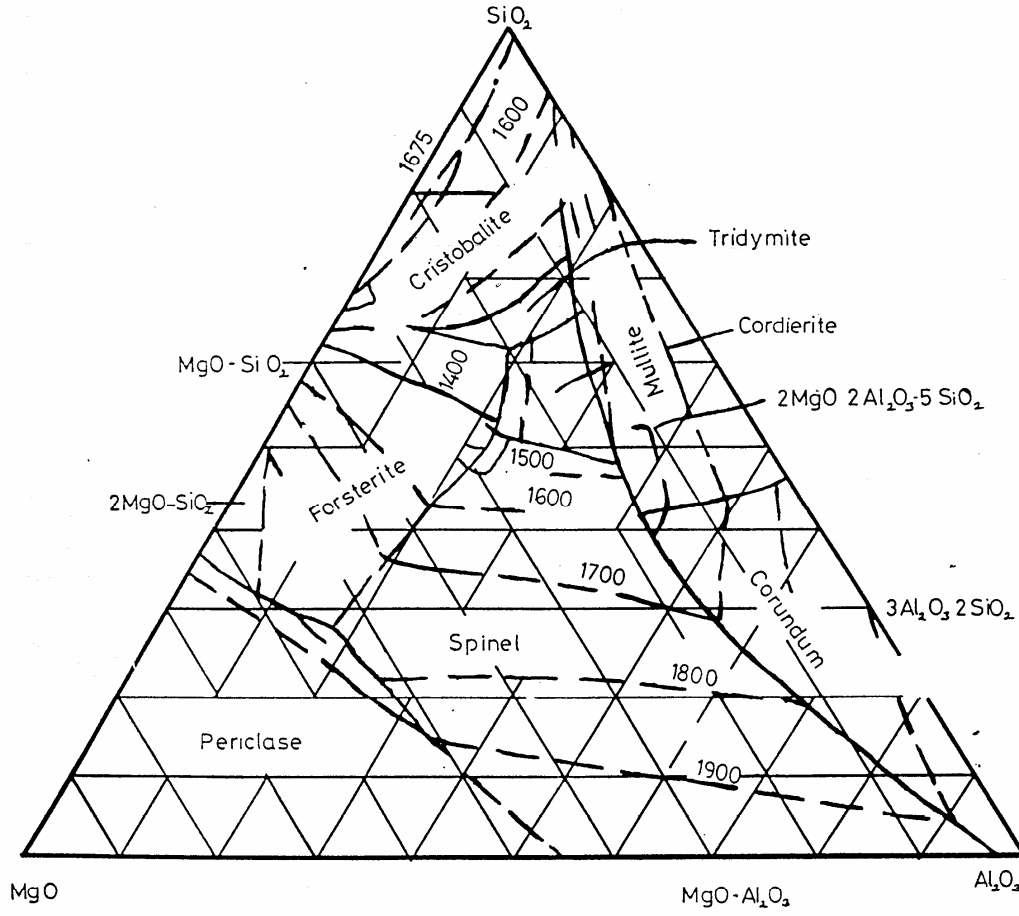
Hammaddelerin kimyasal özelliklerine göre fırınlara beslenecek karışım oranları aşağıdaki gibi tespit edilmektedir.

Ferro-krom üretiminde kullanılacak kromit cevherlerinin kimyasal analizlerinin (Cr_2O_3 , FeO, MgO, Al_2O_3 ve SiO_2) oranları tespit edilir.

Ferrokrom içerisindeki Cr, Fe, Si ve C yüzdelerinin tahmini ile; ilgili faz diyagramlarından (Cr-Fe, Cr-Si, Cr-C) bu ferro-krom un erime sıcaklığı tahmin edilir.

Erime sıcaklığının sağlanması için gerekli olan cüruf kompozisyonu MgO- Al_2O_3 - SiO_2 üçlü faz diyagramından bulunur. Ancak cürufun erime sıcaklığının metal erime sıcaklığına göre 100 °C kadar daha yüksek olmasına dikkat edilir [2].

Şekil 6.1 de Al_2O_3 – MgO – SiO_2 üçlü denge diyagramı gösterilmektedir.

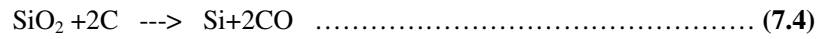
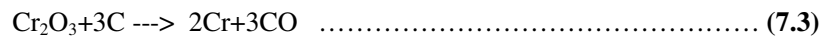
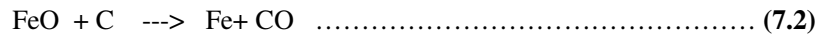
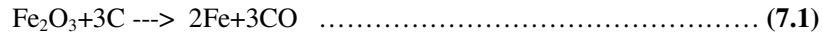


MgO-SiO₂-Al₂O₃ Sistemi
Faz Diyagramı

Şekil 6.1. Al₂O₃-MgO-SiO₂ üçlü denge diyagramı [5]

Tespit edilen bu cüruf kompozisyonunun sağlanması için gerekli olan kuvarsit ve boksit miktarları hesap yolu ile bulunur.

Reaksiyonlar için gerekli olan kok kömürü miktarı hesaplanır fırın içerisindeki reaksiyonlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;



Bu reaksiyonlar sonucu oluşan Cr ve Fe Ferro-kromu oluşturarak sıvı halde fırın tabanında toplanır. Ferro-krom şarj içerisindeki şartlara bağlı olarak bir miktar Si ve C içerir. Reaksiyonlar sonucu oluşan CO ise gaz halinde üst kısımlardaki şarj içerisinde geçerek fırın yüzeyine çıkar.

Yüksek Karbonlu Ferro-krom üretimi, Üretim-A Tesisi ve Üretim-B Tesisi olmak üzere iki birimde ve ayrıca Cüruftan Metal Kazanma Tesisinde gerçekleştirilir.

6.4.1. Fırın İçinde Meydana Gelen Olaylar

1- Şarjdan nemin ve gazların uzaklaştırılması ve şarjın üstünde yanan ve fırını terk eden yanma gazları ve ısıtılması

2- Demir ve kromun Demir – Karbür ve Krom – Karbür halinde redüksiyonu

3- Elementlerin ergimiş ferro-krom şeklinde redüksiyonu

4- Cüruf teşekkülü ve ergitilmesi

5- Cüruftan silisyum ve kromun redüksiyonu

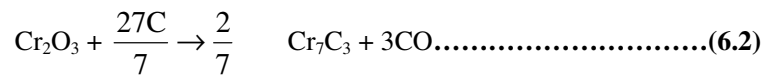
Fırındaki kabuk, cüruf ve şarjın yarı ergimiş bir karışımıdır. Elektrotların altındaki metalin üzerinde %61 e varan tenörde Cr_2O_3 içeren bir cevher tabakası vardır. Fırının üst zonlarında %12 ye kadar “C” içeren ferro-krom ve metalin %6 ya kadar dekarbürize şekli olan ferro-krom cevher tabakasından metal damlalarının geçişini sağlar.

Yüksek karbonlu ferro-krom üretiminde kullanılan krom cevherinin içerdiği oksitler; karbon redükleyiciler tarafından redüklenir.

Krom oksit, $1230^{\circ}C$ aşağıdaki reaksiyona göre ısı absorpsiyonu ile karbon tarafından redüklenir.



Stabil karbürler, krom oksidin karbon tarafından $1100^{\circ}C$ redüklenmesi ile oluşur. $1100^{\circ}C$ de meydana gelen redüklenme reaksiyonu;

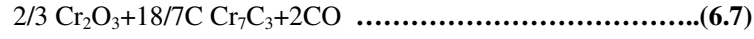
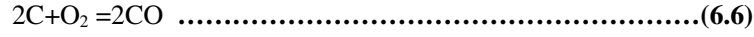


Demir oksidin redüklenmesi aşağıdaki reaksiyona göre ilerler.



Genel reaksiyonun yüksek sıcaklıklara tekabül eden serbest enerji denklemi aşağıdaki reaksiyonların hesaplanması sonucu elde edilir.





$$\Delta 2^0 = 183,740 -44,21 T \dots\dots\dots(6.8)$$

$$\Delta 2^0 = -8,354- 0,9 T \dots\dots\dots(6.9)$$

$$\Delta 2^0 = -53,400 -41,9 T \dots\dots\dots(6.10)$$

$$\Delta 2^0 = 121,986 -87,01 T \dots\dots\dots(6.11)$$

Cr₂O₃'ün krom haline redüklenmesi aşağıdaki reaksiyona göre cereyan edebilir.



$$\Delta 2^0 = 130,340-68,11T \dots\dots\dots(6.13)$$

Cevherden indirgenen demir, kromun redüklenmesini ilerletir. Çünkü krom karbür, son proseste görüldüğü gibi demir içinde çift karbür (Cr, Fe)₇.C₃ oluşumu ile çözünür. Ticari karbon ferro-krom un ergime noktası 1500⁰C'dir [4].

6.4.2. A TESİSİ

1977 yılında üretime alınmış olan A-Tesisinde; Mitsubishi / Japonya teknolojisi ile kurulmuş 50.000 Ton/Yıl kapasiteli iki adet açık tip 17 MVA gücünde Ark Fırınından oluşan Ferro-krom Üretim Ünitesi mevcuttur [5].

Üretilcek yüksek karbonlu ferro-krom un genel nitelikleri ise aşağıda verilmiştir.

Cr	: %67 min
Fe	: % 25 – 27
C	: % 6.0 max
Si	: % 1.5 max
S	: % 0.040 max
P	: % 0.015–0.017

Seçilen fırın kapasitelerine göre proje kapasitesi aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Trafo: } 2 \times 17.00 = 34.000 \text{ KVA}$$

$$\text{Güç faktörü } \cos\phi = 0,8$$

$$\text{Fırın gücü } 34.000 \times 0.8 = 27.200 \text{ Kw}$$

$$\text{Ortalama enerji sarfıyatı} = 3930 \text{ kwh / ton}$$

Hammadde Özellikleri:

1- Parça Kromit Cevheri

Cr_2O_3 : %48 min
Cr / Fe oranı : 3.0 min
P : % 0.004 max
 Al_2O_3 : % 12.5 max
Nem : % 5 max
Parça iriliği : 25- 125 mm
2- Konsantre Kromit Cevheri
 Cr_2O_3 : % 47 min
Cr / Fe oranı : 2.8 min
P : % 0.004 max
 Al_2O_3 : % 15.5 max
Nem : % 5 max

3- Metalürjik kok gurubu (Baz)

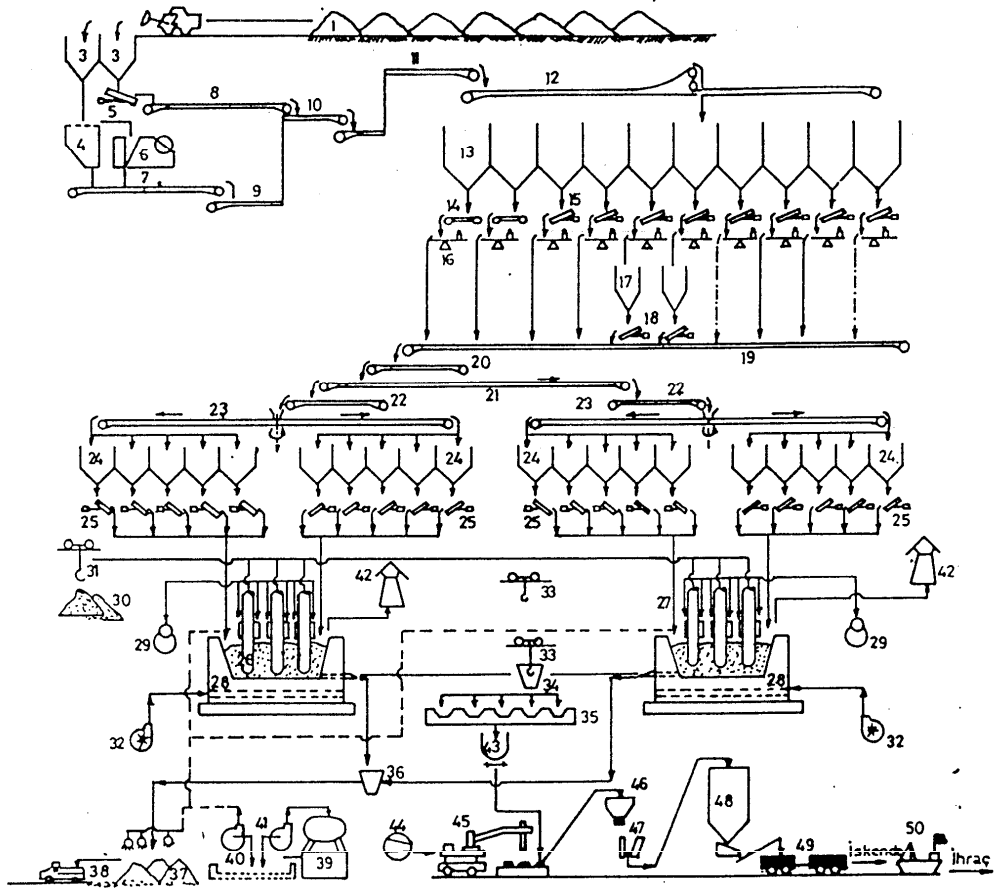
Sabit Karbon : % 84 min
Kul : % 8 max
Uçucu madde : % 1 max
P : % 0.040 max
S : % 0.8 max
Nem : % 12 max
Parça iriliği : 5 – 25 mm

4- Kuvarsit

SiO_2 : % 90 min
P : %0.0.15 max
Parça iriliği : 5 – 75 mm

Şekil 6.2 de A tesisine ait iş akış şeması verilmiştir.

50.000 TON/YIL KAPASİTELİ FERROKROM TESİSİ
AKIM ŞEMASI



- | | | |
|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 1 Ham madde stokları | 18 Titreşimli besleyiciler | 35 Soğutma kalıpları |
| 2 Yükleyici | 19 Bant konveyör | 36 Curuf potası |
| 3 Hammadde siloları | 20 " " | 37 Curuf soğutma sahası |
| 4 Izgaralı besleyici | 21 " " | 38 Curuf atma kamyonu |
| 5 Titreşimli besleyici | 22 " " | 39 Su soğutma kulesi |
| 6 Çeneli kırıcı | 23 Döner bant konveyör | 40 Su dinlendirme havuzu |
| 7 Bant konveyör | 24 Karşım siloları | 41 Su pompaları |
| 8 " " | 25 Titreşimli besleyiciler | 42 Fırın bacası |
| 9 " " | 26 Elektrodlar | 43 Kalıplanmış metali taşıma arabası |
| 10 " " | 27 Fırın şarjı | 44 Kompresör |
| 11 " " | 28 Fırın astarı | 45 Hareketli ağaç kakan kırıcı |
| 12 " " | 29 Trafolar | 46 Hopper |

Şekil 6.2. A Tesisi Akım Şeması[5]

6.4.3. B TESİSİ

1989 yılında üretime başlamış olan B-Tesisinde ise; Outo Kumpu / Finlandiya teknolojisi ile kurulmuş 120.000 Ton/Yıl kapasiteli peletleme-sinterleme ünitesi, iki adet döner fırından oluşan ön ısıtma ünitesi ve Eklem / Norveç teknolojisi ile kurulmuş 100.000 Ton/Yıl kapasiteli iki adet kapalı tip 30 MVA gücünde Ark Fırınından oluşan Ferro-krom üretim ünitesi ile gaz temizleme ünitesi bulunmaktadır [5]. Üretilen Yüksek Karbonlu Ferro-kromun Genel Nitelikleri tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1. Yüksek Karbonlu Ferro-kromun Genel Nitelikleri

Cr	% 64.1 min
Fe	% 26.0
C	% 7.0
Si	% 2.0
P	% 0.04 max.
S	% 0.05 max.

Seçilen fırın kapasitesine göre proje kapasitesi aşağıda hesaplanmıştır:

Güç faktörü $\rightarrow \cos\phi = 0.8$

Fırın Gücü $\rightarrow 60.000 * 0.8 = 48000 \text{ KW}$

Ortalama enerji sarfiyatı $\rightarrow 3300 \text{ KWH} / \text{Ton}$

Ortalama Üretim $\rightarrow 48000 \text{ KW} / 3300 \text{ KWH} / \text{Ton} = 14.54 \text{ Ton/H}$

Yıldaki saat $\rightarrow 365 * 24 = 8760 \text{ h}$

Zaman faktörü $\rightarrow 0.825$

Üretim yapılacak etkili saat $\rightarrow 8760 / 0.825 = 7227 \text{ h/ Yıl}$

Yıllık üretim $\rightarrow 7227 \text{ h} / \text{Yıl} * 14.54 \text{ Ton/ h} = 105080 \text{ Ton}$

Bu hesaplamalar sonucu proje kapasitesi 100.000 Ton / Yıl FeCr

Hammadde Özellikleri:

1- Parça Kromit Cevheri (Kuru Baz)

Cr_2O_3 : % 48.5

FeO : % 13.5

SiO_2 : % 7.5

Al_2O_3 : % 9.4

MgO : % 18.7

CaO : % 0.4

Uçucu madde	: % 1.7
Diğer	: % 0.3
Nem	: % 2.0
Parça iriliği	: 25 – 125 mm

2- Konsantre Kromit Cevheri (Kuru Baz)

Cr_2O_3	: % 44.0
FeO	: % 15.6
SiO_2	: % 9.6
Al_2O_3	: % 15.0
MgO	: % 13.1
CaO	: % 0.9
Uçucu madde	: % 1.8
Nem	: % 2.0

3- Metalürjik Kok (Kuru Baz)

Sabit Karbon	: % 84.0
Kül	: % 15.0
Uçucu madde	: % 0.9
P_2O_5	: % 0.04
S	: % 0.8
Diğer	: % 0.1
Nem	: % 6
Parça iriliği	: 5 – 25 mm

4- Kuvarsit (Kuru Baz)

FeO	: % 5.8
SiO_2	: % 90.0
Al_2O_3	: % 2.0
MgO	: % 0.2
CaO	: % 0.8
P_2O_5	: % 0.04
Diğer	: % 1.06
Nem	: % 2.0
Parça iriliği	: 5 –50 mm

5- Bentonit (Kuru Baz)

SiO ₂	: % 60.0
Al ₂ O ₃	: % 17.0
MgO	: % 1.2
Fe ₂ O ₃	: % 3.0
CaO	: % 2.5
Diğer	: % 4.3
Uçucu madde	: % 12.0
Parça iriliği	: 200 mesh altı ağırlıkça % 95

7. FERRO-KROM TÜKETİM ALANLARI

7.1. Yüksek Alaşımli Çeliklerde Krom Tüketimi

ABD de kromun ikinci büyük kullanım alanı yüksek alaşımli çeliklerdir. Tablo 7.1 de paslanmaz çelik üreten ülkelerde krom ara ürünleri tüketim tahminleri verilmiştir.

Tablo 7.1. Paslanmaz Çelik Üreten ülkelerde Krom Ara ürünleri Tüketim Tahminleri (1000 Ton) [4]

Ülkeler	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Japonya	299	256	259	387	390	267	251	329
B. Almanya	92	67	94	113	140	76	110	103
Fransa	94	72	87	98	116	72	82	93
İsveç	72	62	70	85	106	72	69	53
İtalya	43	39	47	52	63	46	60	68
İngiltere	47	30	36	44	46	26	36	31

Tablo 7.2 de dünya ülkeleri 1985 ve 1982 yılı paslanmaz çelik ve krom ara ürünleri tüketim projeksiyonları verilmiştir.

Tablo 7.2. Dünya Ülkeleri 1985 ve 1982 yılı Paslanmaz Çelik ve Krom Ara Ürünleri Tüketim Projeksiyonları [4]

(1000 Ton)	1985	1992
Paslanmaz Çelik ingot üretimi	7.882	11.851
Krom ara ürünleri Tüketimi	2.124	3.111
Düşük Karbonlu Ferro-krom	236	345
Yüksek Karbonlu Ferro-krom	1.673	2.451
Ferro – sliko – krom	157	230
Diğerleri	58	85

7.2. Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelikler (HSLA) de krom tüketimi

Bu çeliklerde krom tüketimi % 0.45 - %1.55 arasında değişmektedir.

7.3. Karbonlu Çeliklerde Krom Tüketimi

Çok küçük oranlarda krom tüketimi olmaktadır.

7.4. Takım eliklerde Ferro-krom tüketimi

%5 civarında krom ihtiva ederler. Sertliği ve aşınma direncini yükseltir.

7.5. Dökme Demirlerde Ferro-krom tüketimi

Krom; Ni ve Mo ile birlikte dökme demirlere ilave edilen alaşıım elemanlarından biridir. Dökme demirlerde Karbür teşekkülüne yardım eder. Dökme demirler % 0.5 – 2 Ni, % 0.8 Cr, % 0.6 Mo ihtiva eder.

8. FERRO-KROM ÜRETİMİ SONUCU OLUŞAN ATIK MALZEMELER

8.1. Baca Tozu Elek Analizi

+ 1.000 mm % = 20.93
+ 0.500 mm % = 3.20
+ 0.250 mm % = 3.54
+ 0.125 mm % = 5.12
+ 0.075 mm % = 6.38
+ 0.045 mm % = 2.00
- 0.045 mm % = 58.83

8.2. Baca Tozu Kimyasal Analizi

Al_2O_3 % = 30 -34
 MgO % = 20 -26
 SiO_2 % = 12-14
 Cr_2O_3 % = 3-14
 FeO % = 5-13
C % = 1.5-3.5
S % = 1-25.
CaO % = 0.5-0.7
K % = 12
Zn % = 8
Na % = 2
Mn % = 0.2
Ni % = 0.04

8.3. Baca Gazı Analizleri

Ortalama :

CO	70 -90	% 85	CO gazı yoğunluğu : 0,968
CO ₂	2 -5	% 2,5	
H ₂	2-8	% 7,5	
H ₂ O	2-3	% 2,5	
N ₂	2-4	% 2,5	

8.4. Baca Gazının Teknolojik Değerleri

Gaz miktarı	: 4 Nm ³ / h
Kalorik Değeri	: 2200 kcal/kg
Sıcaklığı	: 800 ⁰ C
Kül Miktarı	: 50 g/Nm ³
Fırın İçi Basınç	: 5 mmH ₂ O

8.5. Ferro-krom Cürufu

Cüruf geniş anlamı ile birbiri ile kimyasal bileşikler katı – sıvı çözeltiler ve ötektik karışımlar yapabilen çeşitli oksit aşlımlar olarak tanımlanırlar.

Ana görevleri kıymetli metallerin bileşiklerden ayrılmasını sağlamaktır. Cüruf teşekkülü çeşitli oksitlerin birbirleri ile hem kimyasal reaksiyona girmesi hem de oluşan bu oksit karışımının sıvı faz haline eritilmesinden ibaret olan kimyasal ve fiziksel dönüşümleri kapsamaktadır. Kazanılması istenen kıymetli metaller bu arada kimyasal bileşikler halinde ayrı bir fazda toplanırlar ve saflaştırılırlar. Eritme reaksiyonlarında önemli olan husus oluşan bu iki fazın birbiri içerisine karışmaması ve özgül ağırlıklarının farklı olması nedeni ile birbirinden kesin fiziksel sınırlarla ayrılmasıdır.

% 4 – 6 C içeren ferro-krom cürufu için ideal cüruf sıcaklığı 1700 – 1750 ⁰C dir. Krom ve demir oksitlerin redüklenme sıcaklığı nispeten düşük olmasına rağmen, karbon ferro-krom 1650 – 1700⁰C de ergir. Bu sıcaklıklar yeter miktarda cüruf ve alaşım akışkanlığı ile uygun cüruf – alaşım ayırımı sağlar. Cüruf kompozisyonunun seçimi karbon ferro-krom da önemli bir husustur.

Cüruf kompozisyonu ve ergime noktası hemen tamamen krom cevheri yangın kompozisyonuna bağlıdır [2].

8.5.1. İdeal Cüruf Kompozisyonu :

Yüksek karbonlu FeCr üretiminde ideal cüruf kompozisyonu şöyledir:

SiO ₂	: % 27–31.5
Al ₂ O ₃	: % 28–32.5
MgO	: % 30–33.5
Cr ₂ O ₃	: % 2.5–3
CaO	: % 0–2
FeO	: % 0–2

Ayrıca cüruf içinde şu oranların sağlanması gerekir.

$$\text{MgO} / \text{SiO}_2 = 1 - 1.2$$

$$\text{MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 0.87 - 1.06$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 = 1 - 1.2$$

SiO_2 : Asit karakterlidir.

FeO , MgO , CaO : Bazik karakterlidir.

Cr_2O_3 ve Al_2O_3 : Amfoter karakterlidir.

8.5.2. Cüruftaki Alaşım Elementlerinin Etkisi

SiO_2 'in Cüruf Özelliklerine Etkileri

- Elektrik iletkenliğini artırır.
- Cürufa geçen Cr_2O_3 miktarını düşürür, SiO_2 düşer, ve kok sabit tutulursa cürufta Cr_2O_3 miktarı artar.
- CaO 'ın az kok miktarının fazla olduğu durumlarda redüklenerek metale geçer.
- Cürufun akışkanlığını azaltır [2].

Al_2O_3 'in Cüruf Özelliklerine Etkisi

- Cüruf'un elektrik direncini artırır.
- Cüruf'ta 1700°C 'nin üzerindeki sıcaklığa erişmeyi sağlar.
- Cüruf'un ergime sıcaklığını yükseltir.
- Metal yapısındaki karbon ve kükürt oranını düşürür.
- Metalin aşırı ısıtılmasını temin ederek akışkanlığını artırır [2].

MgO 'ın Cüruf Özelliklerine Etkisi

- Cürufa akışkanlık kazandırır.
- Cürufa bazik özellik kazandırır.
- Miktarının SiO_2 den fazla olması halinde bazik tuğlaları korur.
- Elektrik direnci ve ısı etkisi önemsizdir.
- CaO olmayan ortamlarda onunu bazı absorpsiyon özelliklerini kısmen üstlenir [2].

CaO ve Fe_2O_3 'ün Cüruf Özelliklerine Etkisi

- Cüruf'un ergime sıcaklığını düşürür.
- Kükürt; Karbon ve Fosforun metale geçmesini zorlaştırır.
- Metalin soğumasına sebep olurlar. Cürufta ancak yüksek oranlarda iseler etkili olurlar. Aksi halde etkileri görülmez.
- İyi absorpsiyon özellikleri vardır [2].

Kısaca cüruftaki MgO miktarı hammaddenin tenörüne bağlıdır. Kuvarsit miktarı artıkça cüruftaki MgO miktarı düşer. Cüruftaki SiO₂ miktarı %30'ün üstüne çıkarsa ve aynı zamanda Al₂O₃ miktarının düşmesiyle cürufun ergime sıcaklığı 1600⁰C ye kadar düşer. Normalde cürufun ergime sıcaklığını ise 1700⁰C ile 1750⁰C civarındadır. Cüruf sıcaklığının düşmesiyle direnç düşer ve elektrik ark fırınlardaki elektrotların çektiği amper yükselir cüruf sıcaklığı artarsa metaldeki karbon oranı düşer. Yüksek sıcaklıkta metalde karbürler oluşmaz.

Cüruf sıcaklığı 1700⁰C altına düşerse metalik yapıya kükürt girer. Kükürt %60–70 metale %30-20'si cürufa %10'u kadarda baca gazları yoluyla atmosfere atılır. Cüruftaki SiO₂ miktarının %30'un üstünde olması metalik yapıya geçişi düşürür. Cüruf sıcaklığı artıkça viskozitesi düşer, akışkanlık fazlaşır. Cüruf sıcaklığının yüksek olması metaldeki silis yüzdesini yükseltir.

Fırında enerji tüketiminin artmaması için metal / cüruf oranı 1.65 de tutulmalıdır. Açık tip fırınlarda metal kum kalıplara cüruf ise normal zemine kurulu sahalara soğutulmadan dökülür ve su ile soğutma yapılır. Bunun sonucunda granüle cüruf açığa çıkar ve ani soğuma olduğundan atomlar düzenli hale geçemezler, amorf bir yapı alırlar. Bu tip cüruf gözenekli bir yapıya sahip olup sıkıştırılabilme özelliğine sahiptir.

Kapalı tip fırınlarda cüruf mal alma sırasında basınçlı su püskürtülerek granüle edilmekte ve nihai cüruf toz haline gelmektedir. Bu tip cüruf daha yumuşak bir yapıya sahiptir [2].

8.5. 3. Cüruf Yoğunluğu

Cürufun bazı özellikleri aşağıdaki gibidir;

$$P= 4000\text{gr}$$

$$V= 1351\text{cm}^3$$

$$D= 4000/1351=2,958\text{gr/cm}^3 \text{ [6]}$$

Burada, cüruftan numune alınıp normal terazide tartılarak P ve bakırdan taşıdığı su ile V bulunarak d hesaplanmıştır.

9. Cüruflar ve Geri Dönüşüm Uygulamaları

Cüruflar bu güne kadar genellikle inşaat sektöründe yapı malzemesi, agrega v.b. alanlarda kullanılmaya çalışılmıştır. Bu alanlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

9.1. Yapı Malzemesi Uygulamaları

2000 yılında Dongxu L. ve arkadaşları alkali ve sülfatların aktivasyon teorisinde esas olan yüksek çimento cüruf içeriğinin özelliklerine karışım bileşiminin etkisi mikro yapı, hidrat, gözenek yapısı ve mukavemetleşme testleri yapılarak incelemiştir. Testler sonucunda yüksek çimento cürufunda karışım bileşiminin çimentonun özelliklerini geliştirdiği görülmüştür [12].

Daha sonraki benzer bir çalışmada, Sheng W. ve arkadaşları cüruf tozu inceliğinin, aktivatör miktarının yüksek mukavemetli cüruf çimentosunun kuru çekmesi üzerine etkilerini incelemiştir. DeneySEL sonuçlar % 9 (Na_2SiO_3) aktivatör ve % 10 Portland çimentosu eklentili cüruf çimentosunun yüksek mukavemetli cüruf çimentosu ve normal Portland çimentosu ile aynı özellikler gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuçlar X-RD ve SEM incelemeleri ile desteklenmiştir [13].

Q. NİU 2000 yılında yaptığı çalışmada yoğun toz paketlemenin (PSD) parçacık boyut dağılımı ve gerçek çimento tozlarının parçacık boyut dağılımı süper ince tozların paketlenmesini açıklamak için incelemiştir. Karıştırılan çimento ve süper ince cüruf tozu harcının mukavemeti üzerinde incelemeler yapılmıştır. Paketlemeden dolayı porozite miktarını ve boşluk boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. Harcın mukavemetinde artış saptanmıştır [16].

B. Sioulas ve arkadaşları 2000 yılında yaptıkları çalışmada mavi – yeşil renkteki cüruf harmanlı çimentodaki bazı eksikliklerin ortaya çıkmasına yardımcı olmuşlardır. Bu örnekte renklerin çimento üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Beş farklı çimento – cüruf karışım oranında numuneler hazırlanmış ve bunların kür rejimleri incelenmiştir [14].

- a. Banyo kürü
- b. Plastik kapta basma (sabit sıcaklık, nemsiz ortam)
- c. Su banyosu sıcaklık değişken

Renklendirilen numunelerin basma mukavemeti daha yüksek çıkmıştır. Renklerin ise oksidasyonun bir fonksiyonu olduğu gözlenmiştir [14].

2005 yılında T. BİLİR ve arkadaşları yaptığı çalışmada betonun aşınma direncine yüksek fırın cürufunun etkisini incelenmişlerdir. Betonun dayanıklılığını gösteren en önemli özelliklerden biri aşınma direncidir. Aşınma direncini yükseltmek için betonda agrega kullanmak gerekir yüksek fırın cürufu öğütülerek beton ve çimento endüstrisinde kullanılmaktadır ve belirli bir ekonomik değere sahiptir [8] .

Son yıllarda cürufun toz halinde değil agrega olarak kullanılması üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. % 10 ,20 ,30, 40 ve 50 oranlarında cüruf katılarak hazırlanan numuneler aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Böhme yöntemine göre aşınma deneyi uygulanmıştır. Deney sonucu çıkan değerler TS 699 da verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları doğal agrega yerine granüle yüksek fırın cürufunun kullanıldığı numunelerin aşınma direncinin daha iyi çıktığını göstermiştir. Bu sonuç özellikle aşınma etkisinin fazla olduğu taşıt ve yaya yolları, hava alanı, otoparklar gibi yerlerde kullanılan beton parke ve ordür imalatında söz konusu yan ürün ve katı atıkların değerlendirilmesi açısından önemlidir [8].

Fırat üniversitesi TEF de yapılan bir çalışmada M. E. EKİNCİ ferro-krom cürufunun iç yapısı bakımından amorf durumda olup çimentoda puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilir olduğunu bulmuştur [23].

Malzeme yavaş priz yapan bir bağlayıcı madde özelliğine sahiptir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Türk standartlarında verilen çeşitli çimentoların basınç dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında standartların üzerinde değerler elde edilmiştir [23].

T. YILDIZ ın araştırmaları sonucunda ferro-krom cürufunun çimento üretiminde kullanılması için kimyasal analizinde bazı koşullar sağlaması gerektiği ortaya çıkmıştır. Örneğin bunlardan biri aşağıda verilen TS 20 kriteridir [1].

$mCaO + mMgO / m SiO_2 > 1$ olmalıdır.

Bu oran Elazığ ferrokrom cürufunda ise 1.3 dür. Bu sonuca göre Elazığ ferro-krom cürufu TS 20 ye göre kimyasal bileşimi bakımından gerekli koşulu sağlamıştır [1].

Ş. YILDIRIMIN çalışmaları sonucunda ferro-krom cürufunun oldukça hafif ve gözenekli yapıya sahip olduğunu dolayısı ile statik yönden fazla yüklere maruz kalmayan ve özgül ağırlığının önemli olduğu beton elemanlarının teşekkülünde Elazığ ferro-krom cürufu kullanılabilir sonucuna varılmıştır.[24].

Bu amaçla hazırlanan beton briketlerinden olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca malzemenin boşluklu bir yapıda olması birim hacim ağırlığının düşük olmasını sağlamakla beraber ses ve ısı yalıtımı için uygun özelliklere sahiptir [24].

9.2. Agrega Olarak Uygulamaları

İ. YÜKSEL ve arkadaşları 2001 yılında yaptığı çalışmada granüle yüksek fırın cürufunu betonda ince agrega olarak kullanımını araştırmışlardır. Bu çalışmada Ereğli demir çelik fabrikaları

granüle yüksek fırın cürufunun öğütülmeden doğrudan beton içerisinde ince agregaya yerine kullanılabilirliği araştırılmış, öncelikle cürufun özgül ağırlık, kil miktarı, aşınmaya dayanıklılık ve su emme oranı gibi özellikleri incelenmiştir [11].

İnce agregaya olarak kullanılacak cüruf % 25–50–75 oranlarında karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler birbirleriyle karşılaştırılıp cüruf oranı ile özelliklerin nasıl şekillendiğine bakılmıştır. Sonuçta cüruf/kum oranının yüksek olması halinde gözenekli, mukavemeti düşük ve dayanım özellikleri iyi olmayan bir beton olduğu görülmüştür. İki farklı ince agregaya kullanıldığında boşluklu yapının kaybolduğu ve mukavemette görülen düşüşlerin makul ölçülerde kaldığı gözlenmektedir [11].

2003 yılında W.Sheng ve arkadaşları yaptığı çalışmada doğal hafif agregalar, ülkemizin doğal hafif agregaya açısından durumu ve suni hafif agregaların (cürufllu) dayanım özellikleri incelenmiştir [13].

1991 yılında B. BULUT ferro-krom cürufunun beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Cüruf katkılı numunelerin basma, çekme dayanımı ve aşınma özelliklerini incelemiş ve yükün az olduğu sadece dolgunun önemli olduğu beton elemanlarında cürufun ince agregaya olarak kullanılabilir olduğunu bulmuştur [7].

Ö. Çakır ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları bir araştırmada alkali agregaya reaksiyonu sonucu harç çubuklarındaki boy değişimini incelemiştir. Normal şartlarda bu deneyler yaklaşık altı ay sürecektir. Kısa olması için numuneler sabit basınçta kaynar suda tutulmuş ve Na₂O oranı artırılmıştır. Üç farklı agregaya değeri için harca % 0, 30, 60 oranlarında yüksek fırın cürufu eklenmiştir. Sonuçta sıcaklık basınç ve nem artışının alkali agregaya reaksiyonunu hızlandırdığı cürufun ise bu reaksiyonu yavaşlattığı gözlemlenmiştir [21].

GESOĞLU M. ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları bu çalışmada soğuk bağlama yöntemi ile üretilen suni uçucu kül hafif agregalı beton numuneler üzerinde kısıtlanmış rötre çatlağı oluşumunu incelemiştir. Hafif agregalar uçucu kül ve çimento kuru karışımının su püskürtülerek oda sıcaklığında peletlenmesiyle üretilmişlerdir. Hafif agregalar iri agregaya ve doğal kum içermektedir. Çimento/uçucu kül oranı farklı 8 adet numune hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre agregaya özellikleri değiştirilerek rötre deformasyonu bir miktar azaltılabilmektedir [22].

9. 3. Kompozit Uygulamaları

A. TOPUZ ve arkadaşları uçucu kül dolgu epoksi matrisli kompozit malzemelerin özellikleri incelemiştir. Numuneler döküm yolu ile elektrik santrali kömürün yanması sonucu ortaya çıkan uçucu kül kullanılarak üretilmiştir. Yaklaşık olarak 100 ton kömürün yanması ile 12 ton

civarında uçucu kül oluşmaktadır. Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak epoksi reçine dolgu malzemesi olarak ise Tunçbilek termik santralinden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Bu kömürün bileşimleri değişken olmakla beraber ana bileşenleri metal oksitlerdir. Hazırlanan numuneler çekme, eğme ve darbe testlerine tabi tutulmuştur. Kül hacim oranının artması ile darbe, çekme ve basma dayanımları düşmüştür. Porozite ve mikro yapı incelemeleri ile mekanik özelliklerde azalma elastik modülde yükselme görülmüştür [10].

1999 yılında B. MU tarafından yapılan araştırmada çubuk fiberin ve tabaka fiberle birlikte cüruf katkılı kompozitin davranışları incelenmiştir. Çeşitli oranlarda cüruf katkılı kompozitler hazırlanmış ve bu numuneler diğer fiberlerle hazırlanan numunelerle mukavemet açısından karşılaştırılmıştır. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen kısa fiber katkılı numuneler çekme ve darbe testi uygulandı. Cüruf katkılı numunelerin normal çimentodan daha iyi mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Ancak bunun optimum bir orana kadar geçerli olduğu vurgulanmıştır. Çekme ve darbe direnci açısından en iyi direnci cam fiber takviyeli kompozit göstermiştir. Fakat unutulmaması gereken bir noktada cam fiber takviyeli kompozitin kırılgan bir yapıya sahip olmasıdır. İki fiberin karışımı dayanım ve tokluk açısından daha iyi sonuç verecektir. Sonuçta söylenebilir ki belirli optimum sınırlar içinde kalmak sureti ile cüruf takviyeli betonlar dayanım açısından olumlu sonuçlar verecektir [15].

9.4. Cam Seramik Uygulamaları

2001 yılında G. KHATER yaptığı çalışmada Çelik cürufundan ve silikon magnezit cürufundan çeşitli cam seramik numuneler hazırlayıp mikro yapı incelemeleri yapmıştır. Elde edilen cam ve benzeri ısıtılmış numuneler DTA, XRD ve polarize mikroskopla incelenmiştir. Camda bustamite fazının artması halinde 1000 °C de 2 saat ısıtıldığında kristal hacminde bir artış görülmüştür. Buna karşı camda fayalite fazının içeriğinin artması halinde 1000 °C de 2 saat ısıtıldığında kristal hacminde bir azalma görülmüştür [17].

M.L. ÖVEÇOĞLU 1997 yılında yaptığı çalışmada cüruf katkılı cam seramik malzemelerin 950 ve 1100 °C deki kristalizasyon davranışlarını incelemiştir. Numuneler Çayırhan toz cürufu kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan numuneler TiO₂ ile geliştirilmiştir. 950°C de numunelerde camsı bölgelerin olduğu gözlenmiştir. 1100 °C de ise kristalizasyon tamamlanmıştır. Çekirdekleşme ve kristalizasyon sıcaklığı arttıkça aşınma, sertlik ve kırılma tokluğu da birlikte artmıştır [9].

M. EROL ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları çalışmada SEYİT ÖMER termik santralinden elde edilen uçucu kül ile hazırlanan numunelerin karakteristiklerini incelemişlerdir. Numuneler DTA sonuçlarına göre ısıtma işlemi ve uygun çekirdekleşme ile kristalleştirilmiştir [18].

SEM ve XRD kullanılarak mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Sonuçta numunelerin termal uzama katsayısı ve mekanik özellikleri kristal fazın miktarına bağlı olduğu görülmüştür. Üretilen cam seramik numunelerin kimyasal dayanımının yüksek olduğu gözlenmiştir [18].

M.L. ÖVEÇOĞLU ve arkadaşları 1999 yılında uçucu kül den faydalanarak cam seramik malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri bu cam seramik numunelerin kristalizasyon davranışları üzerinde durmuşlar ve $[Ca(Mg, Al)(Si, Al)_2O_6]$ fazının cam seramiği oluşturduğunu gözlemişlerdir. SEM ve XRD sonuçları ışığında bu fazın homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Aşınma deneyi uygulanmış ve mikro sertlik değerleri ölçülmüştür [19].

Kullandıkları uçucu kül kömür kullanılan bir termik santrale aittir. Temin edildikten sonra kurutma işlemi uygulanmıştır. Bu araştırmada yine sabit sıcaklıkta iki farklı bekleme süresinin kristalizasyon üzerine etkileri incelenmiştir. Matematiksel denklemler kullanılarak aktivasyon enerjileri bulunmuştur. Ayrıca aktivasyon enerjisinin DTA analizinde ısıtma oranından bağımsız olduğuna dikkat çekilmiştir. SEM analizi sonucunda üretilen cam seramik numunelerin ince taneli bir mikro yapıya sahip oldukları görülmüştür [19].

10. MALZEME VE METOD

10.1 Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada, ağırlıkça %, 3, 5, 7 ve 10 oranlarındaki ferro-krom cürufu çimento ile yer değiştirilerek beton numuneler hazırlanmıştır. Agregası olarak kullanılacak kum 0 – 4 mm olarak ayarlanmıştır. Ferro-krom cürufu ise 250 meshlik eleklerden geçirilerek belirtilen oranlarda betona çimento yerine eklenmiştir. Hazırlanan beton numuneler 100 mm küp ve 100x100x500 mm prizma kalıplara kalıplama tekniğine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. 100 mm küp numuneler cüruf katkılı betonun basınç dayanımı için 100x100x500 mm prizma numuneler eğilme dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Taze beton 100 mm³'lük küp kalıplara vibrasyonla yerleştirilmiştir. Üretilen beton numuneler ilk 24 saat laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Bu numuneler 3 , 7 ve 28. güne kadar 23±2 °C' deki kirece doymuş suda bekletilmiştir.

10.2 Karışım Miktarları

Hazırlanacak numunelerin karışım oranları TS 802'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Karışım oranları hazırlanırken maksimum agrega çapı 4 mm ve Su/Çimento oranı (0.55) sabit alınmıştır. Beton içerisine toplam çimentonun ağırlığına göre % 3, 5, 7 ve 10 oranlarında sırasıyla cüruf çimento ile yer değiştirilecek şekilde hazırlanan karışım oranları Tablo 10,1'de verilmektedir.

Tablo 10.1 Hazırlanan numunelerin karışım oranları (2,03 dm³)

Numune	Kum (gr)	Su (gr)	Çimento (gr)	Cüruf (gr)
Kontrol	3845	671	1032,64	0
% 3	3845	671	999,67	32,07
% 5	3845	671	981,04	51,63
% 7	3845	671	960,35	72,28
% 10	3845	671	929,4	103,24

10. 3 Numune Kalıpları

Basınç dayanımı için beton numunelerin hazırlanmasında 100 mm küp kalıplar kullanılmıştır. Eğilme dayanımı için hazırlanacak numunelerde ise 100 x 100 x 500 mm kalıplar kullanılmıştır.

10. 4 Deney Malzemeleri

Deneylerde kullanılacak kum 0 – 4 mm boyutunda olan Elazığ Palu kumudur. Kumun özgül ağırlığı 2.65 gr / cm ³ tür.

Bu çalışma kapsamında bütün deneylerde Elazığ Altınova Çimento Fabrikası AŞ.'nin ürettiği PÇ 42.5 Portland Çimentosu (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal analizler firma tarafından yapılmış olup analiz sonuçları Tablo 10.2’de verilmektedir.

Tablo 10.2. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler

Kimyasal Özellikler	
Bileşen	Miktar (%)
Silisyum dioksit (SiO ₂)	20.4
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	5.61
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3.27
Kalsiyum oksit (CaO)	63.01
Mağnezyum oksit (MgO)	2.49
Kükürt trioksit (SO ₃)	2.26
Klorür (Cl)	0.006
Kızdırma kaybı (K.K.)	1.64
Tayin edilemeyen (T.E.)	1.68
Çimentonun fiziksel özellikleri	
Özgül ağırlık, (gr/cm ³)	3.02
Özgül yüzey, (cm ² /gr. Blaine)	3470
Hacim genleşmesi, (mm)	7
Priz başlama süresi, (h/dk.)	03:10
Priz sonu, (h/dk.)	04:15
Çimentonun mekanik özellikleri	
2. gün mukavemet, (N/mm ²)	24.2
7. gün mukavemet, (N/mm ²)	43.5
28.gün mukavemet, (N/mm ²)	54.5

Betonda karışım suyunun iki önemli işlevi vardır. Bunlardan birincisi, çimentonun kimyasal reaksiyonunu sağlaması ve çimentonun hidrasyonunu tamamlayarak mukavemet kazandırmasıdır. İkincisi ise agrega ile çimento hamurunun birbirine yapışması, betonun boşluksuz olarak yerleştirilip sıkıştırılması için gerekliliğidir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan bütün beton numunelerde karma ve temas suyu olarak Fırat Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan Elazığ ferro-krom cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri tablo 10.3 de verilmiştir.

Tablo 10. 3 Elazığ Ferro-krom cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+0,658K ₂ O
29,62	31,90	1,05	0,38	35,57	1,48
Fiziksel Özellikler					
Birim ağırlık (gr/cm ³)		Su emme (%)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)		
1,06		13,63	2,86		

10.5 Deney Yöntemi

10.5.1. Sertleşmiş Betonun Basınç Dayanımı

Beton üzerinde yapılan araştırmalarda, malzemenin muhtelif özellikleri ve basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır. Betonun en önemli mekanik özelliğinden birisi basınç dayanımıdır. Beton mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Pratikte betonun çekme gerilmesinin hiç olmadığı, hemen çatladığı varsayılır. Bundan dolayı beton sadece basma kuvvetlerinin etkisinde çalıştırılır. Betonun basınç dayanımı, betonun diğer nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir betonun, kompazitesi yüksek, su geçirgenliği çok az, dış etkilere dayanıklı ve aşınması az olur. Pratik yönden dayanım 3, 7, 28 ve günlerde tayin edilebilir. Basınç dayanımı zamana bağlı olarak artar ve genel olarak, standart bir beton numunesinin basınç dayanımının 28 günlük değeri %100 kabul edilir. Beton, yaşlandıkça mukavemet değeri artar ve bu artış 28 güne kadar hızlı, bundan sonra yavaş devam eder. Betonların 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri arasındaki bağıntıya bakıldığında mukavemetin 2/3'ü kadar bir mukavemet kazandığı görülür. Betonun 7 günlük basınç mukavemeti, imalatçıya genel olarak kalitesi hakkında fikir vermektedir. Betonun basınç dayanımının bilinmesi diğer bazı mekanik özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olur. Temel bir yapı malzemesi olan beton, doğası bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Beton özelliklerinin, tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi zamanla gelişme gösterdiği saptanmıştır. Betonun bir bütün olarak doğası, bileşenlerinin özelliklerinin tek tek süper pozisyonu ile elde edilemez. Beton davranışlarının önemli bir bölümü, bu bileşenlerin arasındaki etkileşimler sonucu ortaya çıkar. Beton, kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü de basınç dayanımıdır. Genellikle betonun kalitesi, dayanımıyla temsil edilmektedir.

Bu çalışmada betonun basınç dayanımı tayin edilirken TS 3114 standartlarına uyulmuştur. 27. günün sonunda kürden çıkarılan 100 mm küp numuneler bir gün süreyle 20 °C derecedeki laboratuvar ortamında kurumaya bekletilmiştir. Daha sonra numunelerin yüzeyleri kurutularak deneye hazır hale getirilmiştir. TS 3114 esasına göre beton karışımlarına kuvvet uygulanması, basınç presi aletinin tablaları arasına yerleştirildikten ve tablaların numunenin alt ve üst yüzüne iyi bir şekilde oturması sağlandıktan sonra başlanmıştır. Bu şartlar altında yürütülen deneyde, basınç presi makinesi, beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaştığı anda yüklemeye otomatik olarak son vermiştir. Maksimum kırılma yüklerine göre değişik oranlarında hazırlanmış küp numunelerin basınç dayanımları Formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma : P / A \text{ (N / mm}^2 \text{) } \dots\dots\dots (10. 1)$$

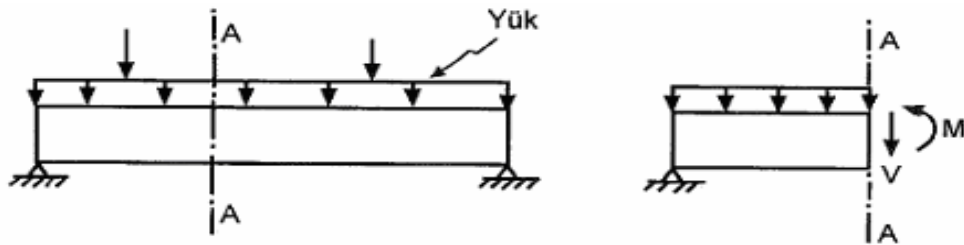
σ = Maksimum basınç gerilmesi (N/mm²),

P = Numunenin kırıldığı maksimum yük miktarı (N),

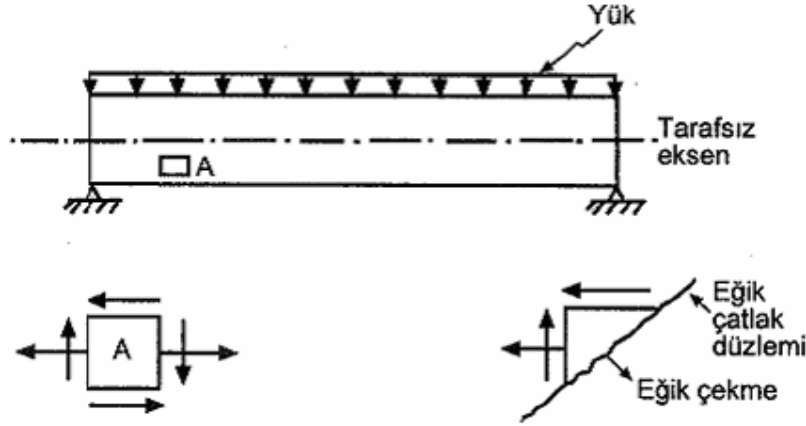
A = Numunenin kesit alanı (mm²).

10. 5.2. Sertleşmiş Betonun Eğilme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmaktadır. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 10.1. Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti



Şekil 10.2. Basit bir kirişte A elemanı üzerinde çekme ve eğik çekme kuvvetleri .

Şekil 10.1' den de görülebileceği gibi, basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvvet ve eğilme momenti yaratmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Yani, Şekil 10.2' de gösterildiği gibi, tarafsız eksenin altındaki bölgede bulunan küçük bir A elemanın üzerinde hem çekme hem de kayma gerilmeleri bulunmaktadır. Kayma gerilmelerine diyagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak eğik çekme kuvveti oluşmaktadır. Şekil 10.3' den görülebileceği gibi, betonun üzerine basınç yükü uygulanması durumunda da, betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedirler.



Şekil 10.3. Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti

Betonun çekme dayanımı, üç değişik deney yöntemiyle bulunabilmektedir. Bunlar;

- Doğrudan çekme dayanımı, çekme yüklerinin doğrudan yüklenmesi ile çekme Dayanımının elde edildiği yöntem,
- Yarmada çekme dayanımı, çekme yüklerinin dolaylı olarak yüklenmesi ile çekme Dayanımının elde edildiği yöntem,

- Eğilmede çekme dayanımı, beton kirişlere eğilme yüklerinin uygulanması ile eğilme dayanımının ve böylece çekme dayanımının elde edildiği yöntem. Bu çalışmada betonun eğilme dayanımını elde edebilmek için TS EN 12390-5'e göre orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu kullanılmıştır. 100x100x500 mm prizma beton numuneleri 27. günün sonunda kür tankından çıkarıldıktan sonra bir gün süreyle laboratuvar şartlarında kurumaya bırakılmış ve orta noktasından kırılıncaya kadar yüklenerek eğilme mukavemetleri Formül 6.7 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_e: \frac{3PL}{2bd^2} \text{ (N / mm}^2 \text{)} \dots\dots\dots (10.2)$$

Burada;

σ_e = Eğilmede çekme dayanımı (N/mm²),

P = Maksimum kırılma yükü (N),

L = Serbest açıklık (mm),

b = Kırılma kesitinin ortalama genişliği (mm) ve

d = Kırılma kesitinin ortalama yükseklik (mm).

11. DENEY SONUÇLARI

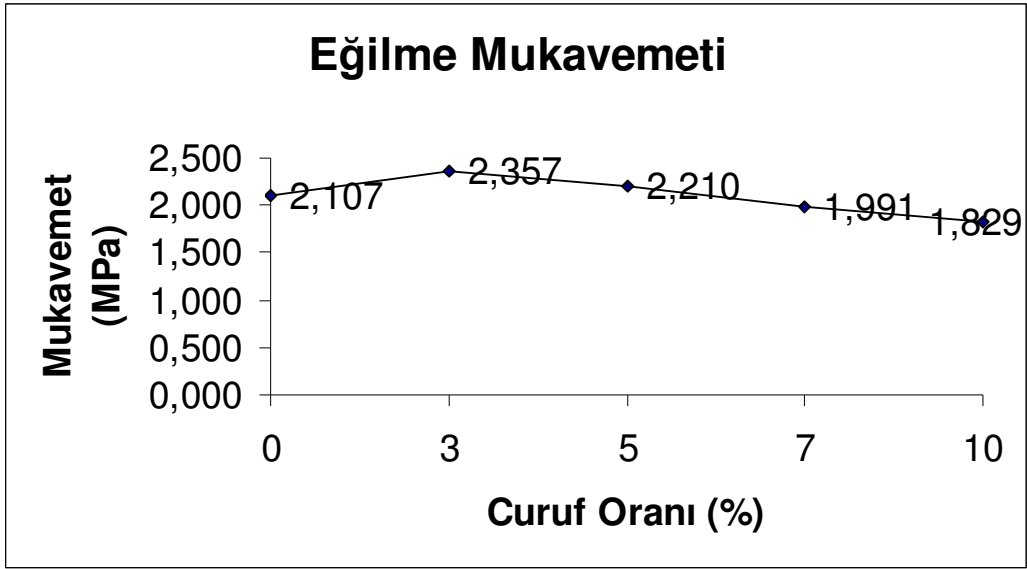
Bu çalışmada Elazığ ferro-krom cürufunun çimento katkı malzemesi olarak maksimum agregata tane çapı 4 mm olan betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda ferro-krom cürufu betonun gerek basınç dayanımında gerekse eğilmesinde iyi bir iyileştirme sağlamıştır. Betonda sağladığı iyileştirme şekil 11. 1 -11.12 arasında gösterilmiştir. Betonuyla cüruf katkılı betonlar incelendiğinde kontrol betonuna göre % 3 cüruf katkısına kadar hem basınç dayanımlarında hem de eğilmesinde artış görülmüştür. Cüruf katkısının % 5 olması durumunda ise basınç dayanımı ve eğilme değerleri kontrol betonu ile eşit değerler göstermiştir. Bu durumda; % 3 e kadar cüruf katkısı betonun mekanik özelliklerini iyileştirmiş % 5 cüruf ilavesinde ise kontrol betonu ile aynı mukavemet değerlerini almıştır. Elazığ ferro-krom cürufunun % 5 oranında betona ilavesi ile bu atık malzemenin ekonomiye kazandırılması açısından düşünülebilecek bir çimento katkı malzemesi olduğu açıktır. Ferro-krom cürufunun beton basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi iki önemli ölçüt içerisinde iyileştirmede bulunması bu malzemenin hem çimento üretiminde bir ilerleme kaydetmesi hem de üretim maliyetini azaltması açısından önemli bir kaynak olduğunu göstermiştir. 3 Günlük numuneler için deney sonuçları Tablo 11.1 ve Şekil 11.1 – 11.3 de gösterilmiştir.

Tablo 11.1 Üç Günlük Numuneler İçin Eğilme Ve Basma Deneyi Sonuçları

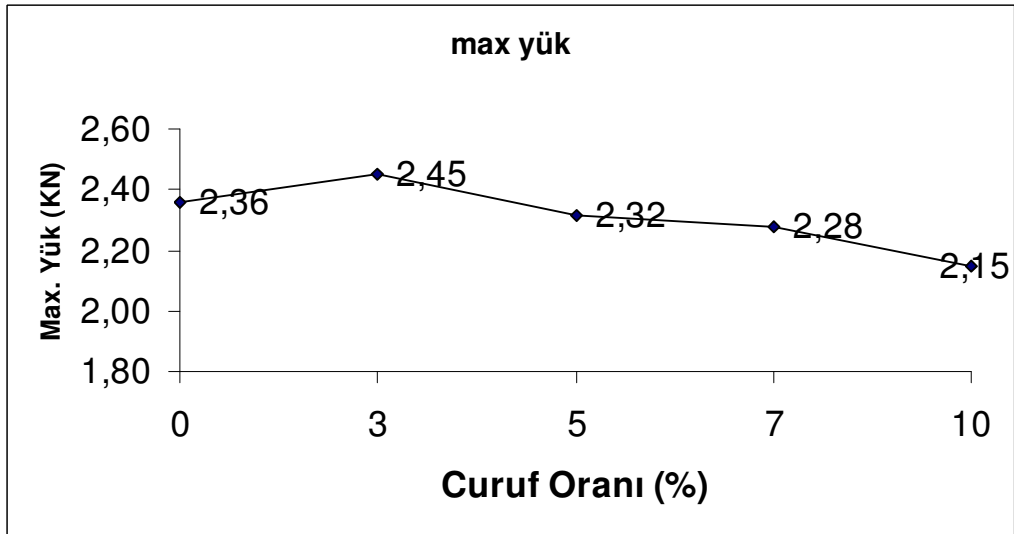
NUMUNE	EĞİLME		BASMA	
	MUKAVEMET(MPa)	MAX. YÜK (KN)	MUKAVEMET (MPa)	MAX. YÜK (KN)
KONTROL	2,107	2,356	44,19	27,9
% 3	2,357	2,451	46,98	27,86
% 5	2,210	2,315	43,89	27,89
%7	1,991	2,280	41,38	27,76
%10	1,829	2,145	40,26	26,9

Tablo 11. 1 de görüldüğü gibi üç günlük numunelerden % 3 cüruf içeren numune mukavemet açısından beton harcının özelliklerini en fazla geliştiren numune olmuştur.

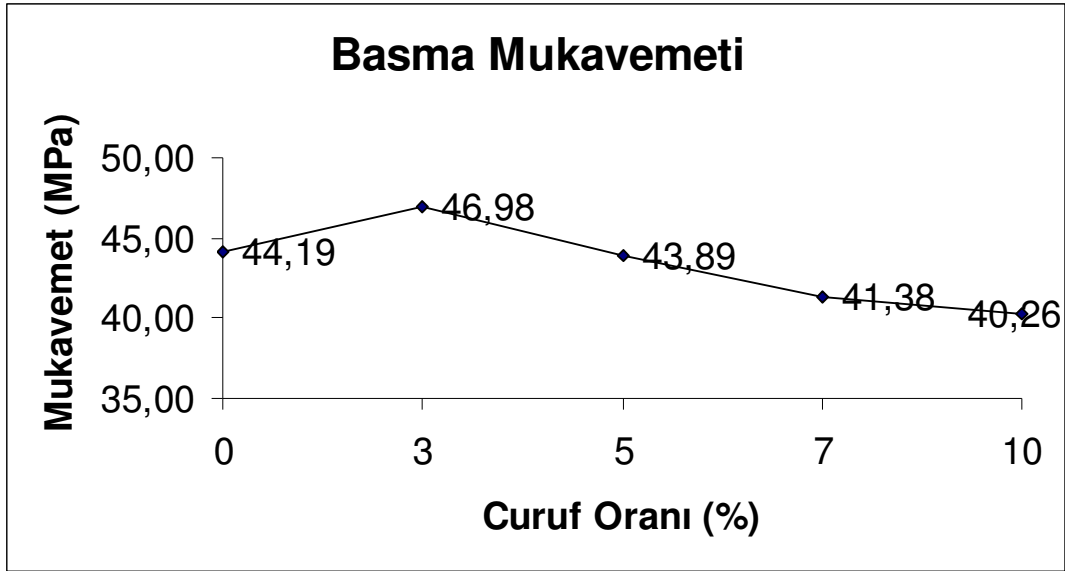
Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi (Şekil 11.1 – 11.4), üç günlük numunelerde basma, eğilme mukavemeti ve max. yükler için en yüksek değerler % 3 cüruf ihtiva eden numunelerde sağlanmıştır. % 5 cüruf içeren numunelerde ise kontrol numunesine yakın değerler elde edilmiştir. % 7 ve % 10 cüruf içeren numunelerin mukavemet ve max. yük değerlerinde ise çok fazla olmamakla beraber bir düşüş gözlenmiştir.



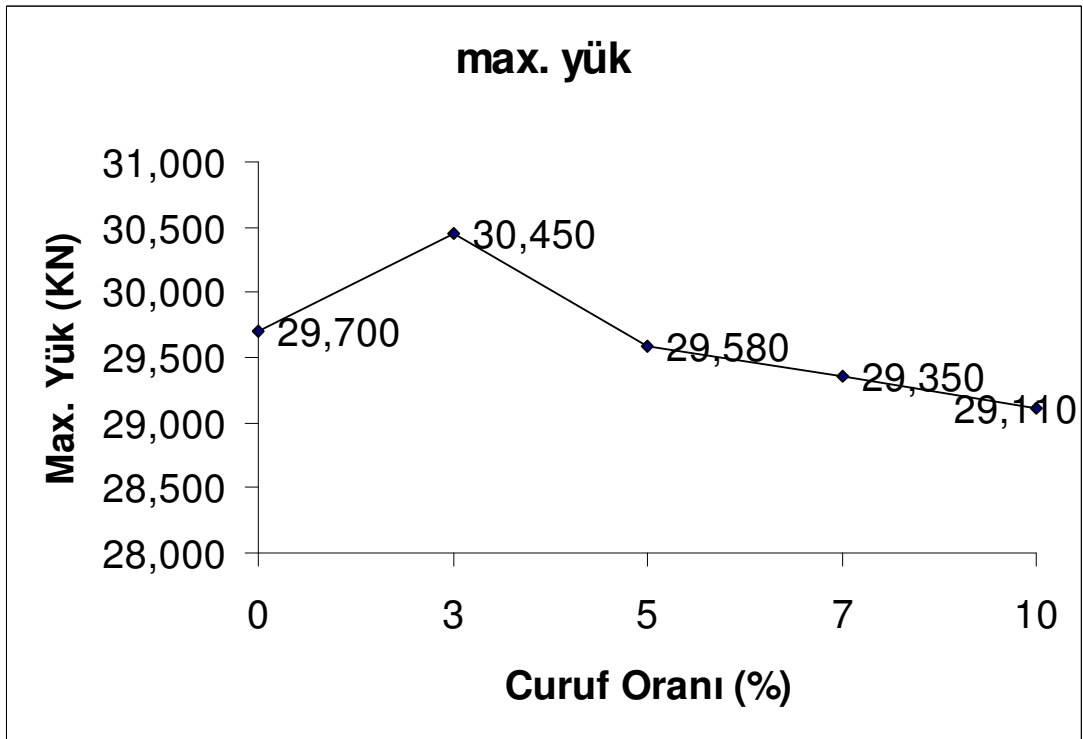
Şekil 11.1 Üç Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri



Şekil 11.2 Üç Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri Max Yük Değerleri



Şekil 11.3 Üç Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri



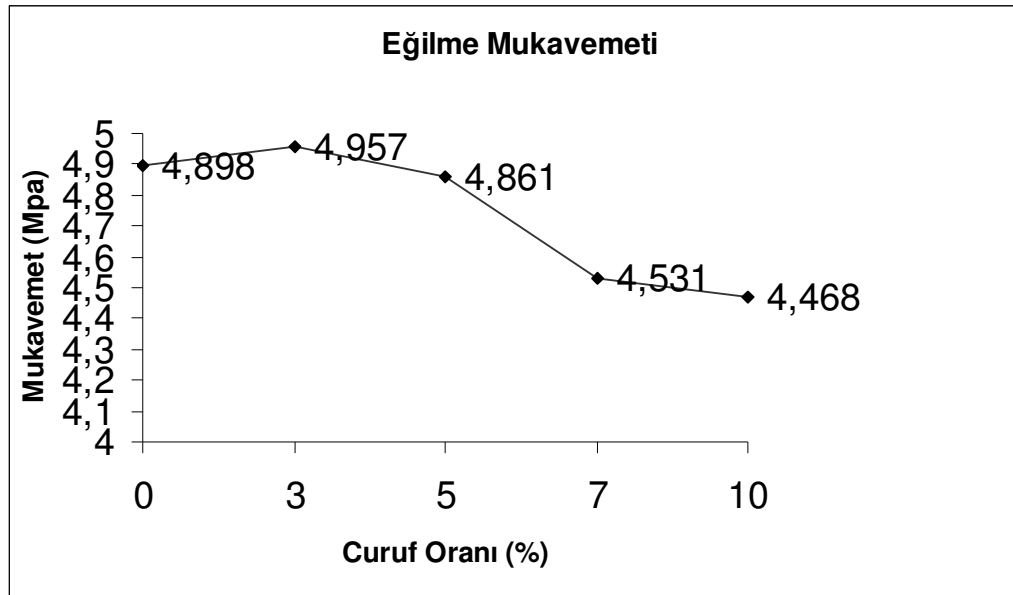
Şekil 11.4 Üç Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri Max Yük Değerleri

Tablo 11. 2 de görüldüğü gibi yedi günlük numunelerden % 3 cüruf içeren numune mukavemet açısından beton harcının özelliklerini en fazla geliştiren numune olmuştur. % 5 de kontrol numunesine yakın değerler, sonraki yüzdelerde ise daha düşük değerler elde edilmiştir.

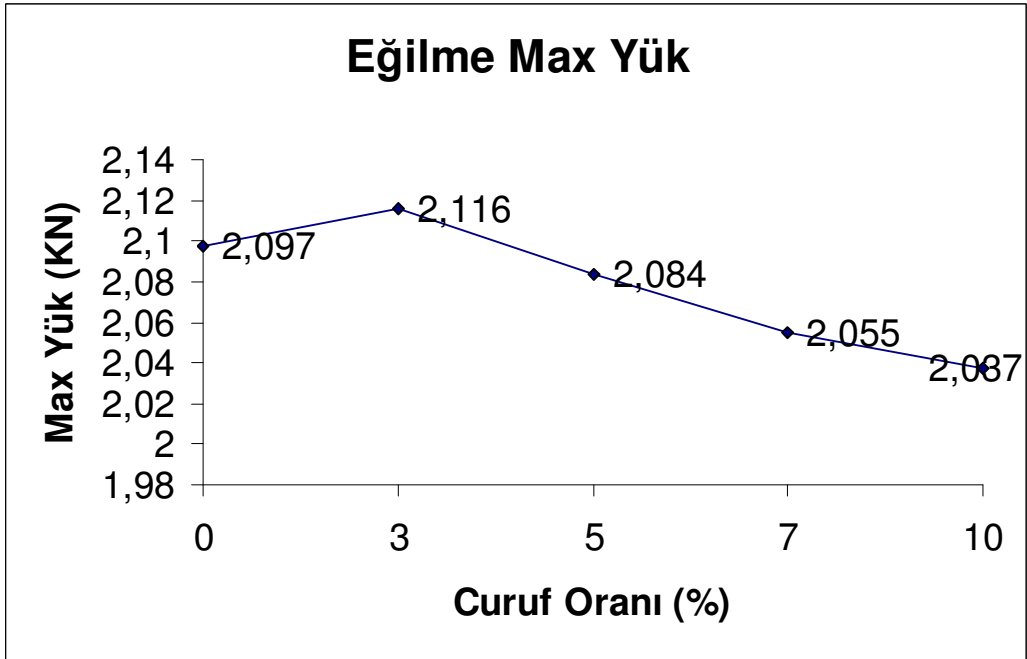
Tablo 11.2 Yedi Günlük Numuneler İçin Eğilme Ve Basma Deneyi Sonuçları

NUMUNE	EĞİLME		BASMA	
	MUKAVEMET	MAX. YÜK	MUKAVEMET	MAX. YÜK
KONTROL	4,898	2,097	49,84	27,65
% 3	4,957	2,116	50,92	29,37
% 5	4,861	2,084	49,8	27,43
%7	4,531	2,055	48,7	25,93
%10	4,468	2,037	48,1	24,86

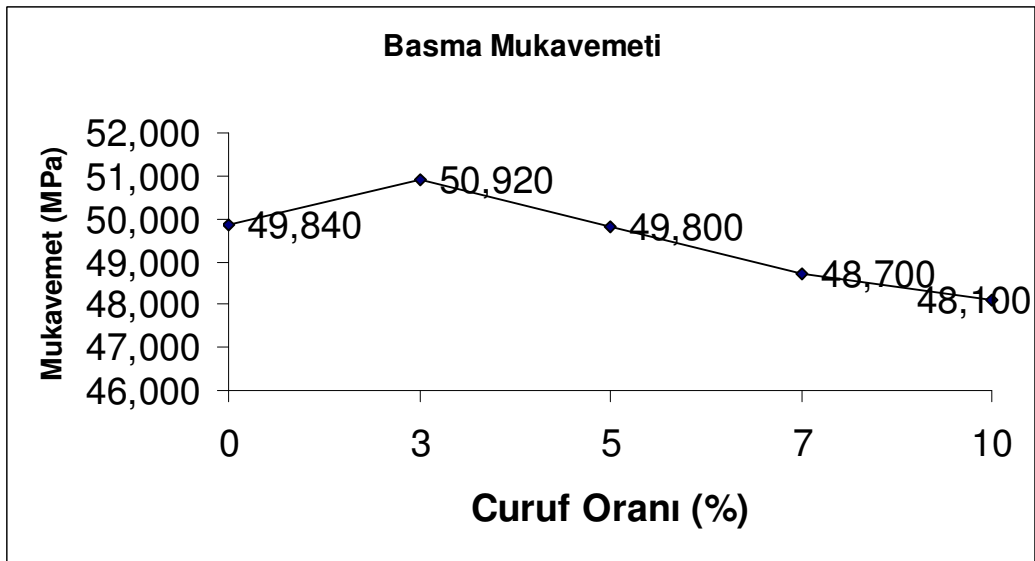
Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi (Şekil 11.5 – 11.8), yedi günlük numunelerde basma, eğilme mukavemeti ve max. yükler için en yüksek değerler % 3 cüruf ihtiva eden numunelerde sağlanmıştır. % 5 cüruf içeren numunelerde ise kontrol numunesine yakın değerler elde edilmiştir. % 7 ve % 10 cüruf içeren numunelerin mukavemet ve max yük değerlerinde ise çok fazla olmamakla beraber bir düşüş gözlenmiştir.



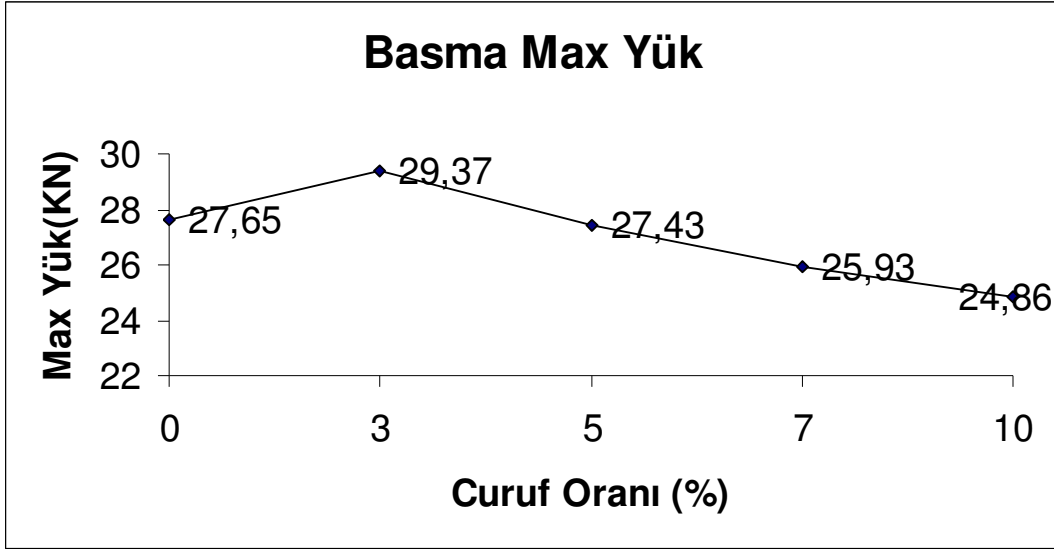
Şekil 11. 5 Yedi Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri



Şekil 11.6 Yedi Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri Max Yük Değerleri



Şekil 11.7 Yedi Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri



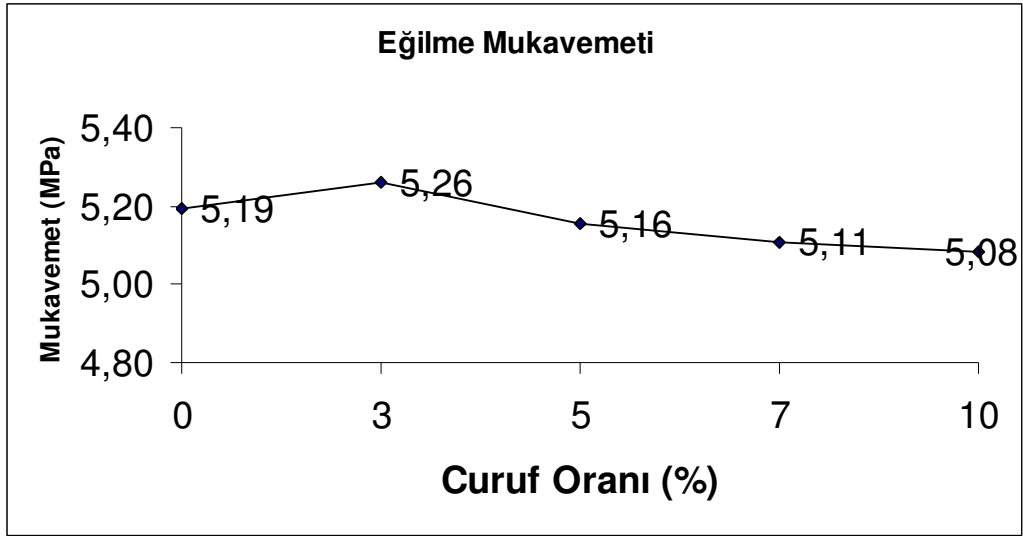
Şekil 11.8 Yedi Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri Max Yük Değerleri

Tablo 11. 3 de görüldüğü gibi yirmi sekiz günlük numunelerden % 3 cüruf içeren numune mukavemet açısından beton harcının özelliklerini en fazla geliştiren numune olmuştur. % 5 de kontrol numunesine yakın değerler, sonraki yüzdelerde ise daha düşük değerler elde edilmiştir.

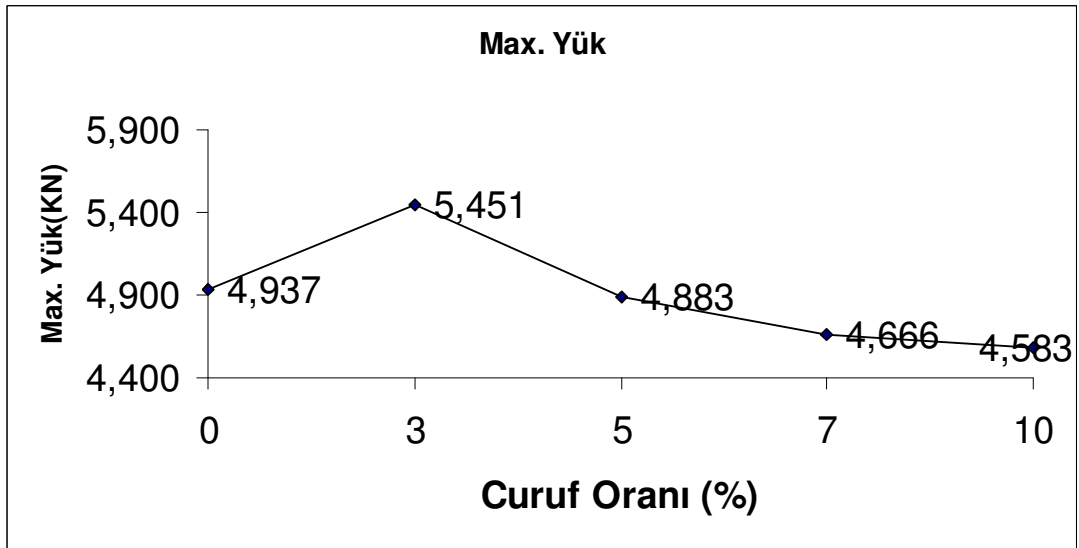
Tablo 11.3 Yirmi Sekiz Günlük Numuneler İçin Eğilme Ve Basma Deneyi Sonuçları

NUMUNE	EĞİLME		BASMA	
	MUKAVEMET	MAX.YÜK	MUKAVEMET	MAX.YÜK
KONTROL	5,194	4,937	53,330	33,600
% 3	5,261	5,451	56,530	35,330
% 5	5,156	4,883	52,840	34,260
%7	5,109	4,666	49,150	33,420
%10	5,083	4,583	48,060	32,400

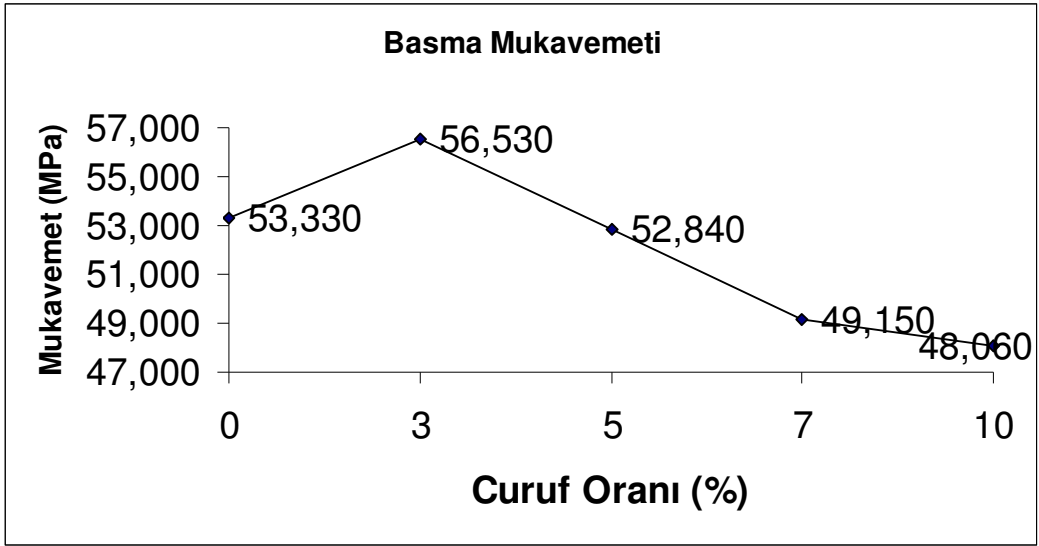
Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi (Şekil 11.9 – 11.12), yirmi sekiz günlük numunelerde basma, eğilme mukavemeti ve max. yükler için en yüksek değerler % 3 cüruf ihtiva eden numunelerde sağlanmıştır. % 5 cüruf içiren numunelerde ise kontrol numunesine yakın değerler elde edilmiştir. % 7 ve % 10 cüruf içeren numunelerin mukavemet ve max yük değerlerinde ise çok fazla olmamakla beraber bir düşüş gözlenmiştir.



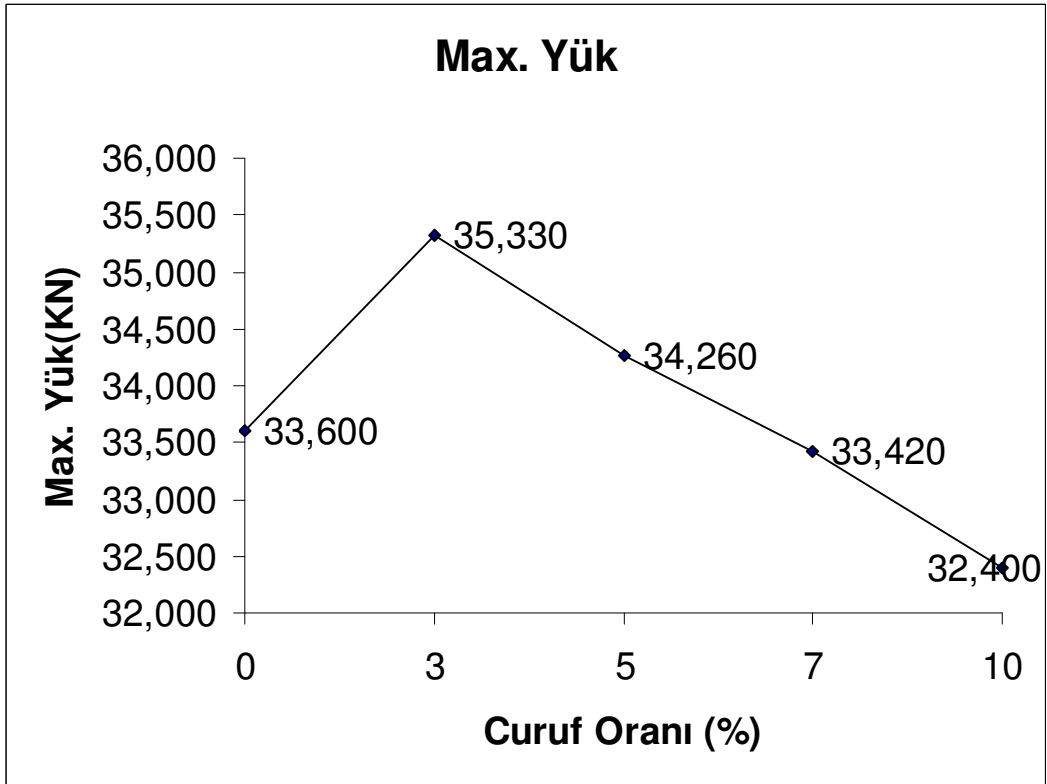
Şekil 11.9 Yirmi Sekiz Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri



Şekil 11.10 Yirmi Sekiz Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetleri Max Yük Değerleri



Şekil 11.11 Yirmi Sekiz Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri



Şekil 11.12 Yirmi Sekiz Günlük Numunelerin Basma Mukavemetleri Max Yük Değerleri

12. DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Atık malzemelerin betonda çimento ile yer değiştirilmesinin en önemli amacı ; ekonomik malzemeler elde etme isteğidir. Bu amaçla kullanılan her atık malzemenin betonda kullanılabilecek optimum değeri farklılık gösterir. Elazığ Ferro – krom cürufu ile yapılan bu çalışmada cüruf, çimento ile %0 , %3 , %5 , %7 , %10 oranlarında yer değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Beton dayanım değerlerinin maksimum olduğu cüruf değerinin % 3 olduğu görülmüştür. Çimento numunelerinin hem eğilme hem de basınç dayanımları, % 3 için üç yedi ve yirmi sekiz günde maksimum değerdedir. Eğilme dayanımında 3 günden 28 güne dayanım artışı oranı sırasıyla %52 ve % 6 olarak görülmektedir. Aynı şekilde basınç dayanımında sırasıyla % 8 ve %11 dayanım artışı saptanmıştır. [25]

Termik santrallerden toz halinde elde edilen uçucu küllerin düşük yoğunlukları nedeni ile çimento fabrikalarına kadar taşınması ekonomiklik açısından sorun oluşturur. Bu nedenle uçucu külün pratikte doğrudan beton içine katılması yoluna gidilmektedir. Bu durumda da , yoğunlukları oldukça farklı olan uçucu kül ve çimentodan oluşan bağlayıcının homojen bir beton karışımı elde etmek için karıştırma işlemi güçleşmektedir. Bir puzolanik madde olan uçucu külün serbest kireç ile reaksiyonu yavaş yürür. Bunun doğal sonucu olarak uçucu kül katılmış betonların normal çimentolar ile yapılmış betonlara göre daha geç mukavemet kazanacağı göz önüne alınarak , uçucu kül içeren betonların daha uzun süre ıslak küre tabi tutulması gerekir. Uçucu kül ile yapılan numunelerin normal betonlarla yapılan betonların mukavemetlerine erişebilmesi için gerekli olan süre yaklaşık bir yıldır. [25]

Uçucu küllerin puzolanik aktivasyon için ihtiyaç duydukları sürenin uzun olması bunların yapı içerisinde çözünme ve hidrate olmalarının yavaş gerçekleşmesinden kaynaklanır. Yani uçucu küllerin mukavemete olan artı yöndeki etkilerinin incelenmesi için daha uzun sürelerde kürleşmeler sonucu ortaya çıkan değerler incelenmelidir. [27]

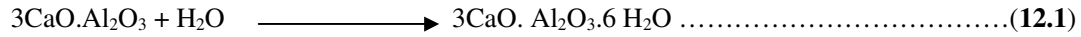
Cürufllu çimentonun hidrasyon reaksiyonlarında alçı ve çimentonun silikat bileşenlerinin hidrasyonu ile oluşan Ca(OH)_2 aktivatör rolü oynar. Hidrasyonun başında cüruf su içinde kısmi olarak çözünür ve kalsiyum silikat hidratlar jel halinde çözeltiye geçer. Bütün cürufllu çimentolarda klinker cüruftan daha hızlı hidrate olur. Böylece çözelti içinde cürufun çözünmesi ile oluşan silikatları bağlayacak kalsiyum hidroksit hazır olur.[27]

Hidrasyon reaksiyonlarının hızı üzerinde çimento inceliğinin büyük etkisi vardır. Ancak 28 günden sonra klinker inceliği etkisini kaybeder. Buna karşın cüruf inceliği mukavemet

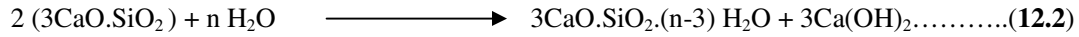
üzerinde etkili olur. Genel olarak % 70 den az cüruf içeren çimentolar klinker özelliklerinin etkisinde kalır. Cürufllu çimentoların en önemli etkisi hidrasyon ısısında kendini gösterir. Bu tip çimentoların hidrasyon ısısı çıkış hızı düşük olduğundan , hem max. beton sıcaklığı düşmekte, hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süre uzamaktadır. Özellikle bu ikinci husus pratikte büyük önem taşır. [25]

Düşük CaO miktarına sahip cüruflarda hidrasyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için dışardan bir aktivatör (kireç taşı , alkaliler v.b.) eklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tane inceliği çimentoda dayanımlar için önem taşır. Çok ince taneli proseslerde parça dağılımı betonun mekanik özelliklerini geliştirir. Cüruf oranı beton içinde mekanik özelliklerin hepsini iyi yönde etkilemez. Bu oran optimum bir değere haizdir. Bu değerden sonra özellikle eğilme dayanımı olmak üzere diğer dayanımlarda da düşüş gözlenmesi beklenecektir. [26]

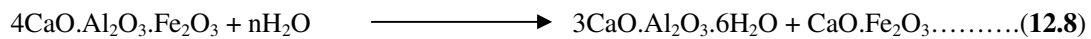
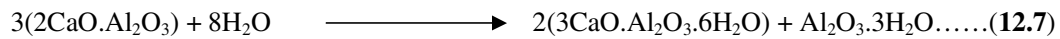
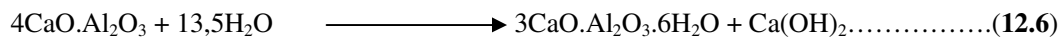
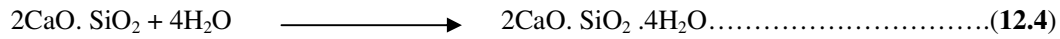
Çimentonun hidrasyonu ve prizi sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar aşağıda ki sıra ile gerçekleşir. İlk olarak trikalsiyum alüminat aşağıdaki reaksiyon ile hidrasyon yapar. [25]



Bu reaksiyon egzotermik bir reaksiyon olup ısı açığa çıkarır. İkinci olarak trikalsiyum silikat reaksiyona girer.



Bu reaksiyon çimentonun ilk birkaç gün içerisinde sertleşmesini sağlayan temel hidrasyon reaksiyonudur. Burada oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ doygun hale gelerek kristalleşir. Trikalsiyum silikat ise jel halindedir. Diğer hidrasyon reaksiyonları ise şöyledir ; [25]



Çimento içindeki alçı taşının görevi ise priz başlangıcının sorumlusu olan trikalsiyum alüminatı geçici olarak bağlayıp reaksiyon hızını yavaşlatmaktır.

Oluşturulan harç imento numunelerinde bu reaksiyonlar sonucu sertleşme ve mukavemet kazanımı gerçekleşirken , aynı zamanda bir takım boşluklarda oluşur. Bu boşluklar iki eşitir.

Kapiler boşluk : Çimento hidratasyonu sırasında ürünler ile doldurulamayan boşluklardır ve hidratasyon derecesi arttıa bu boşlukların miktarı düşer.

Jel boşlukları : Eğer karma suyu olarak gereğinden fazla su kullanılmış ise bu suyun buharlaşması ile jel boşlukları oluşur. Standartlara sertleşmiş betonda jel boşluğu miktarı % 20 – 25 arasındadır. [25]

Deneyler sonucunda % 3 e kadar crf katılımlında çimentonun mukavemet değerlerinde bir artış tespit edilmiş ve bu değerden sonraki yüzdelerde ise mukavemet değeri düşmeye başlamıştır. Hidratasyon reaksiyonları incelendiğinde açıkça görülecektir ki reaksiyon için en fazla kullanımına ihtiyaç duyulan bileşik CaO dir. Kullanılan Ferro – krom crfunun ise CaO değeri çok düşüktür (0,38). Bu nedenle crf bulunan bölgelerde hidratasyon reaksiyonlarının gerçekleşme ihtimali çok düşüktür. Crf bulunduğu bölgelerde ancak fiziksel bir etki yapmıştır. Buda crfun tane yapısının imentonunkinden ince olmasından kaynaklanmıştır.

Yani % 3 oranına kadar crf kapiler boşluk ve jel boşluklarını doldurarak çimentoya artı bir dayanım kazandırmıştır . bu orandan sonra ise crf harç yapısı içerisinde çimentonun görevini üstlenmiştir. Fakat hidratasyon reaksiyonları için gerekli bileşiklerin crf içerisinde çok düşük olması bu reaksiyonların gerçekleşmemesine yol açmıştır. Bu nedenle crflu bölgelerde priz ve sertleşme (mukavemetleşme) tam gerçekleşemediğinden basma ve eğilme dayanımlarında bir düşüş grlmştir.

 günden yirmi sekiz güne mukavemetlerde ise bir artış grlmştir. TSE standartlarında da belirtildiği gibi hazırlanan numunelerin bekleme süreleri arttıa hidratasyon reaksiyonlarının tamamlanma yüzdesi de artar. Yani TSE normlarında hidratasyon reaksiyonlarının tam bitmesi ve prizlenmenin % 100 gerçekleşmesi için gerekli süre 28 gün olarak belirlenmiştir. Gözlenen bu atış 28 güne kadar hızlı 28 inci günden sonra ise yavaştır. Bu nedenledir ki yapılan deneylerde de harç numunelerinin bekleme süreleri arttıa reaksiyonların gerçekleşme yüzdeleri de artmıştır.  günden 28 güne mukavemet değerlerinde bir artış gözlenmiştir.

Ayrıca Tablo 12.1 de crf kullanılan numunelerde çimentoya göre sağlanan yoğunluk da ki düşüş verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi crf ilavesi ile yapılan harcın, daha da hafif olması sağlanmıştır.

Tablo 12.1 Cüruf katılan numunelerdeki yoğunluk düşüşü

cüruf (%)	3	5	7	10
yoğunluk(%)	1,920	3,090	4,330	6,190

Tablo12.2 de ise cüruf ve çimentonun maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanan maliyet değerleri verilmiştir. Bu tabloda da açıkça görülüyor ki cüruf kullanımı ekonomik açıdan imalatçıya büyük bir kazanç sağlamaktadır.

Tablo 12.2 Cürufllu numunelerdeki fiyat düşüşü

cüruf (%)	3	5	7	10
fiyat (%)	1,12	1,84	2,63	3,8

13. GENEL SONUÇLAR

- Alınan sonuçlar ışığında % 3 oranında çimento yerine cüruf kullanımının yapılan harcın mukavemet özelliklerine katkıda bulunacağı gözlenmiştir. % 5 cüruf kullanımının ise mukavemet değerlerinde fazla bir değişiklik yapmayıp sadece maddi açıdan ülke ekonomisine ve çevre kirliliğini çözmek adına fayda sağlayacağı belirlenmiştir.
- Ferro-krom cürufunun kullanılmasının maddi faydasının yanı sıra sahada atıl durumda olmaktan kurtarılıp değerlendirilmesi hem ülkemizin zenginliklerinin geri dönüşümü hem de çevre koşullarının iyileştirilmesi açısından büyük bir başarı olacaktır.
- Çimento numunelerinin yaşları ilerledikçe eğilme ve basınç dayanımlarının artması çalışmanın doğru ilerlediğinin bir göstergesidir. Çünkü çimento numunelerinde yaş ilerledikçe su ile olan reaksiyon (Hidratasyon) artar ve dayanımda da artış olur.
- Cürufun bu boşluk doldurma özelliğinden dolayı eğilme ve basınç dayanımlarında % 3 değerinde artış sağlanmıştır. Bu çalışmadaki amaç ise boşluk doldurma etkisinin dayanımları maksimum yapacağı cüruf oranının tespitidir. Bu oran dayanımı maksimum , maliyeti minimum yapan en uygun orandır. % 3 den fazla cüruf kullanımında ise dayanımlarda azalma görülmüştür. Bu durum fazla oranda cüruf kullanımının , reaksiyon için gerekli çimento oranının düşmesine yol açmasından kaynaklanmıştır.
- Üç günden yirmi sekiz güne mukavemetlerde ise bir artış görülmüştür. TSE standartlarında da belirtildiği gibi hazırlanan numunelerin bekleme süreleri arttıkça hidratasyon reaksiyonlarının tamamlanma yüzdesi de artar. Yani TSE normlarında hidratasyon reaksiyonlarının tam bitmesi ve prizlenmenin % 100 gerçekleşmesi için gerekli süre 28 gün olarak belirlenmiştir. Gözlenen bu artış 28 güne kadar hızlı 28 inci günden sonra ise yavaştır. Bu nedendir ki yapılan deneylerde de harç numunelerinin bekleme süreleri arttıkça reaksiyonların gerçekleşme yüzdeleri de artmıştır. Üç günden 28 güne mukavemet değerlerinde bir artış gözlenmiştir.
- % 3 oranına kadar cüruf kapiler boşluk ve jel boşluklarını doldurarak çimentoya artı bir dayanım kazandırmıştır . bu orandan sonra ise cüruf harç yapısı içerisinde çimentonun görevini üstlenmiştir. Fakat hidratasyon reaksiyonları için gerekli bileşiklerin cüruf içerisinde çok düşük olması bu reaksiyonların gerçekleşmemesine yol açmıştır. Bu nedenle cürufllu bölgelerde priz ve sertleşme (mukavemetleşme) tam gerçekleşemediğinden basma ve eğilme dayanımlarında bir düşüş görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Yıldız T. , 1994. Elazığ, Ferrokrom Cüruflarının Çeşitli Bağlayıcı Kombinasyonlarında Isı İletim Özelliklerinin İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü
2. Demirocak Ü. , 2003, ferrokrom teknolojisi temel bilgileri , Elazığ
3. Karabulut H. , 2005 , Erdemir İşletmesi Üretim Notları
4. Tahtakıran E. Ve Çiçek N. 2003, Eti Holding A.Ş. krom komisyon raporu, Ankara
5. İzmiroğlu A. , 2001 , Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu , Yayın no: 637 , Ankara
6. Yıldırım Ü. , 1998, Elazığ, Elazığ Ferrokrom Cürufunun Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği , Bitirme Ödevi, İnşaat Müh., Fırat Üniversitesi
7. Bulut B. , 1991 , Elazığ , Ferrokrom Cürufunun Beton Agregası Olarak Kullanılmasının Araştırılması , Bitirme Ödevi, İnşaat Müh., Fırat Üniversitesi
8. Bilir T. Ve Yüksel İ. 2005, Betonun Aşınma Direncine Yüksek Fırın Cürufunun Etkisi
9. Öveçoğlu M. L. , 1997 , Microstructural Characterization And Physical Properties Of A Slag- Based Ceramic Crystallized At 950 And 1100 °C
10. Topuz A. Ve Mollaoğlu H. , 2005, Uçucu Kül Dolgulu Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri
11. Yüksel İ. Ve Özkan Ö. , 2001, Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonda İnce Agregası Olarak Kullanımı
12. Dongxu L. And Jinlin S. , 2000 , The Influence Of Compound Admixtures On The Properties Of High – Content Slag Cement
13. Sheng W. And Lian S. , 2002 , Study On Modification Of The High-Strength Slag Cement Material
14. Sioulas B. And Sanjayan J., 2000 , The Coloration Phenomenon Associated With Slag Blended Cements
15. Mu B. And Li Z. , 1999 , Short Fiber Reinforced Cementitious Extruded Plates With High Percentage Of Slag And Different Fibers
16. Niu Q. And Feng N. , 2000 , Effect Of Superfine Slag Powder On Cement Properties
17. Khater G.A. , 2000 , The Use Of Saudi Slag For The Production Of Glass Ceramic Materials
18. Erol M. Ve Öveçoğlu M.L. , 2002 , Characterization Investigations Of Glass Ceramics Developed From Seyitömer Thermal Power Plant Fly Ash
19. Erol M. Ve Öveçoğlu M.L. , 1999 , Characterization Of A Glass – Ceramic Produced From Thermal Power Plant Fly Ashes
20. Erol M. Ve Öveçoğlu M.L. , 2000 , Crystallization Behaviour Of Glasses Produced From Fly Ash
21. Çakır Ö. Ve Aköz F. , 2005 , Alkali Agregası Reaksiyonunun Hızlandırılmış Deney Yöntemleri İle Araştırılması

22. Gesoğlu M. Ve Özturhan T. , 2005 , Uçucu Kül Agregalı Betonlarda Kısıtlanmış Rötire Çatlağı Oluşumunun İncelenmesi
23. Ekinci M. , 1999 , Ferrokrom Cürufunun Mikro Yapı İncelemesi
24. Yıldırım Ş. , 1999 , Ferrokrom Cürufunun Beton Malzemesi Olarak Kullanımı
25. Yalçın H. ve Gürü M. ,2006 , Çimento ve Beton , Palme Yayıncılık No: 414 , 75 – 83
26. Feng-Qing Zhaoa,, Wen Ni , Hui-Jun Wang , Hong-Jie Liu , 2007 , Activated Fly Ash / Slag Blended Cement , 308p
27. Yılmaz B. , Olgun A , 2006 , Studies on Cement and Mortar Containing Low-Calcium Fly Ash, Limestone, and Dolomitic Limestone , 200p

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1983 yılında Elazığ'da doğdu. 2000 yılında Elazığ Mehmet Akif Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2004 yılında mezun olarak tamamladı. 2004 - 2007 yılları arasında Elazığ ETİ KROM A.Ş. bünyesindeki Ferro - krom fabrikasında metalurji mühendisi olarak görev yapmıştır.