



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSDEMİR YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ATIKLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

RAŞİT EREN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

Haziran-2014



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSDEMİR YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ATIKLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

RAŞİT EREN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

Haziran-2014

**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSDEMİR YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ATIKLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**RAŞİT EREN
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Yrd.Doç.Dr. Yasin ERDOĞAN danışmanlığında hazırlanan bu tez 04./06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN
Başkan

Prof. Dr.A.Mahmut KILIÇ
Üye

Yrd. Doç. Dr. N.Adil ÖTÜRK
Üye

Kod No: 729

**Prof.Dr. İsmail Hakkı KARAHAN
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

04.06.2014

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Raşit EREN

ÖZET

İSDEMİR'DE YÜKSEK FIRIN VE ÇELİKHANE ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülkemizdeki üç entegre demir çelik üreticisinden biri olan İsdemir'de üretim aşamaları sonucunda ortaya çıkan atıkların büyük kısmı yüksek fırın (YF) toz ve çamuru, çelikhane toz ve çamuru, yağlı hadde tufali tipindeki katı atıklardan oluşmaktadır.

Bu atıkların çelikhane ve YF gaz yıkama atıkları, yağlı tufal, baca tozu ve çelikhane cürufunun büyük bir kısmı kullanılmamakta ve atık sahalarında stoklanmaktadır.

Türkiye demir ve çelik sanayisi için önemli bir problem oluşturan yüksek fırın ve çelikhane gelen demir içerikli çamurlar üzerinde çalışmaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çelik üretiminde ortaya çıkan oldukça fazla miktardaki atıkların mümkün olduğunca yeniden kullanılması için yoğun çalışmalar yapılmakta ve yasalarla desteklenmektedir. Bu durum son yıllarda artan çevre bilincinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında atıkların değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmalar ve çözüm önerileri belirtilmiştir. Atıkların değerlendirilmesi için kurulan tesisler ve projeler ele alınmış, araştırma ve geliştirme çalışmalarına değinilmiştir.

2014,74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atık, Çamur, Sinter, Çelikhane, Yüksek Fırın, İsdemir

ABSTRACT
RECOVERY OF BLAST FURNACE AND STEEL MAKING WASTES IN
İSDEMİR

Blast furnace dust/ sludge, BOF sludge/dust and oily mill scale wastes constitutes most of the production wastes which are produced as result of production steps at İsdemir (one of the three iron and steel producer company in Turkey)

Of this waste, big amount of BOF and BF flue gas cleaning wastes, oily mill scale, stack dust and BOF slag are not used and stock as land fill at stockyards.

There is a necessity to improve the experiments on BF and BOF oriented sludge which including iron content and causes important problem on Industry of Iron and Steel production in Turkey

Today, big efforts are continue to recover the big amount of wastes which produced at steel production and this efforts supported by regulations. This situation has an important role on environmental consciousness which especially increased in recent years.

In this thesis, some experiments and solution advises are submitted. Waste facilities established for the evaluation of the project were discussed, research and development are discussed.

2014, 74 pages.

Keywords : Churn, Mire, Sinter, Steelworks, Blast Furnace, İsdemir

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminde ve hazırlanmasında değerli bilgi ve önerileriyle çalışmalarına yön veren, yardımını ve anlayışını hiç bir zaman eksik etmeyen Yrd. Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez komisyonumda bulunarak beni onurlandıran Prof. Dr. A. Mahmut KILIÇ'a ve Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında değerli tavsiyeleriyle yakın ilgi gösteren Prof. Dr. Ergül YAŞAR'a, Yrd. Doç. Dr. Bayram Ali MERT'e ve Yrd. Doç. Dr. Cumali KARAKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda bilgi paylaşımında desteğini esirgemeyen Erdemir Ar-Ge Müdürü Ferhat PARLAK'a, Erdemir Sinter İşletme Mühendisi Erol AKKÜLAH'a, Erenco A.Ş Mühendisi Evren ERSOY'a, İsdemir A.Ş Etüd Plan Proje Müdürü Ali Horoz'a, İsdemir A.Ş Haddehaneler Etüt Plan proje Başmühendisi Tekin KOLUKIRIK'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında anlayışını ve desteğini esirgemeyen, bugünlere gelmemdeki en büyük paya sahip eşim Rabia EREN, kızım Rana Betül EREN ve oğlum Ahmed Kaan EREN'e sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Erdemir ve İsdemir Sinter Fabrikasında Atık Malzeme Kullanımı Konusunda	
Yapılan İyileştirme Çalışmaları	3
2.1.1. Ham Karışımın Makine Üzerine Düzgün Serilmesi	5
2.1.2. Sızdırmazlık Sağlanması ve Hava Emişinin İyileştirilmesi.....	6
2.1.3. Torba Filtre Değişimi	6
2.1.4. Dairesel Soğutucu Sızdırmazlıklarının İyileştirilmesi.....	6
2.2. Erdemir ve İsdemir Çelikhane Cüruflarının Asfalt Betonu Agregası ve	
Demiryolu Balast Malzemesi Olarak Kullanılması İmkanları	7
2.2.1. Çelikhane Cürufları.....	8
2.2.1.1. Çelikhane Cüruflarının Kullanım Alanları.....	10
2.2.1.1.1. Karayolunda Kullanımı.....	14
2.2.1.1.2. Trenyolu Balastlarında Kullanımı.....	17
2.3. Erdemir ve İsdemir Sinter Fabrikasında Ark Ocaklı	
Tesislere Ait Tufalin Değerlendirilmesi.....	18
2.3.1. Tufal Kullanımı.....	18
2.3.1.1. Ark Ocaklı Tesislere Ait Tufal Kullanımı.....	19
3.MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Cüruflar.....	25
3.1.1. Yüksek Fırın Cürufları.....	25
3.1.2. Kükürt Giderme Cürufu.....	26
3.1.3. Konverter Cürufları.....	26
3.2. Toz Çamur ve Tufal.....	27
3.2.1. Yüksek Fırın Tozu ve Çamuru.....	27
3.2.2. Bazik Oksijen Fırın Tozu ve Çamuru	28

3.2.3. Hadde Tufali.....	29
3.3. İsdemir Atıklarının Tespiti ve Değerlendirilmesi.....	31
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	37
4.1. Entegre Demir ve Çelik Tesislerinde Oluşan Çamurdaki Çinkonun Ayrıştırma Çalışması.....	37
4.1.1. Çinkonun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi.....	38
4.2. Çinkonun Ayrıştırılması Çözüm Önerileri ve Yöntemleri.....	39
4.2.1. Hidrosiklon Ayırma Yöntemi.....	39
4.2.2. Aglomerasyon Yöntemi.....	41
4.2.3. Hidrometalurji Yöntemleri.....	42
4.2.4. Pirometalurjik Yöntemler.....	43
4.2.5. Primus Teknolojisi.....	49
4.3. İsdemirde Çelikhane ve Yüksek Fırın Çamurundan Çinkonun Uzaklaştırılması için Deneysel Çalışmalar.....	50
4.3.1. Elektroliz.....	51
4.3.2. Kimyasal Çöktürme.....	52
4.4. Yağlı Tufal İçerisindeki Yağın Uzaklaştırılması İçin Ar-Ge Çalışmaları.....	52
4.4.1. Isıl Ayrıştırma Tesisleri.....	52
4.4.2. Alkali Çözücüler ile Yağın Tufalden Ayrıştırılması.....	53
4.5. Çelikhane Çamurunun Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	54
4.5.1. İsdemir’de Yatırımlar Kapsamında Kurulan Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma ve Kurutma Tesisleri	54
4.5.1.1. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisindeki Dekantör Çözüm Önerileri.....	57
4.5.1.2. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisindeki Kurutucu Çözüm Önerileri.....	59
4.5.1.3. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisinin Çalışabilir Hale Getirilmesi Amaçlı Yapılan çalışmalar.....	62
4.5.2. Erdemirde Atıklarla İlgili Yapılan Çalışmalar ve Çözüm Önerileri.....	64
4.5.2.1. Demir ve Karbon İçerikli Atıkların Briketlenerek Proseste Yeniden Kullanılması Projesi.....	67

4.5.2.2. Yüksek Fırın Çamurunun Manyetik Separasyon Yöntemi İle	
Zenginleştirilmesi Pilot Tesisi.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
6.KAYNAKLAR.....	73
7.TEŞEKKÜR.....	76
8.ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Atık malzeme kaynakları ve kullanım kısıtları.....	4
Çizelge 2.2. Çelikhane cürufklarının ölkelere göre birim ham çelik üretimi başına oluşan miktarları ile kullanım oranları.....	11
Çizelge 2.3. Cürufkların gerçek yol testlerinde kullanımı.....	16
Çizelge 2.4. Tufal kullanım oranları.....	18
Çizelge 2.5. Tufal kullanımı mukayese çizelgesi.....	19
Çizelge 3.1. Kaba tufalin ve yağlı hadde tufalinin ortalama kimyasal analizleri.....	31
Çizelge 3.2. İsdemir 2005 yılı atık tespit ve taşıma yerleri.....	33
Çizelge 3.3. İsdemir 2013 itibariyle toplam atık miktarı ve taşınma yerleri.....	34
Çizelge 4.1. Çamurun içerikleri kullanım yeri ve kısıtları.....	37
Çizelge 4.2. Çamurdaki Zn ve Fe tenör ve dağılımı.....	40
Çizelge 4.3. Hidrosiklon Deneme sonuçları.....	41
Çizelge 4.4. Dekantör testleri sonuçları özeti tablosu.....	59
Çizelge 4.5. İsdemir çelikhane konvertörü çamuru modernize öncesi Fe analizi.....	60
Çizelge 4.6. İsdemir çelikhane konvertörü çamuru modernize sonrası Fe analizi.....	60
Çizelge 4.7. Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisi kurutma sonrası çelikhane çamurunun tam kimyasal analizi.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çelikhane cürufları.....	9
Şekil 2.2. Avustralya cüruf üretim ve kullanım miktarları.....	12
Şekil 2.3. Amerika Birleşik Devletleri'nde çelikhane cürufu kullanım alanları ve Oranları.....	12
Şekil 2.4. Çelikhane cürufu saha resimleri.....	13
Şekil 2.5. Tufal sahası görünümü.....	20
Şekil 3.1. Sinter müdürlüğü çamur hazırlama ve kurutma ünitesi.....	22
Şekil 3.2. Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi çökeltme havuzları.....	23
Şekil.3.3. Çelikhane cürufu saha görünümü.....	26
Şekil 3.4. İsdemir harman sahası yüksek fırın ve çelikhane kurutulmuş çamurları.....	28
Şekil 3.5. Sıcaklıkla tufaldeki FeO, Fe ₂ O ₃ ve Fe ₃ O ₄ miktarındaki değişim.....	29
Şekil 3.6. Erdemir hadde tufali sahası.....	30
Şekil 3.7. Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi filtreleri.....	32
Şekil 3.8. İsdemir çamur hazırlama ve kurutma ünitesi kurutma sahası.....	35
Şekil 4.1. Yüksek fırın çamurunun hidrosiklonda işlenmesi.....	40
Şekil 4.2. Hidrosiklon deneme akım şeması.....	41
Şekil 4.3. Döner dairesel fırın akım şeması.....	45
Şekil 4.4. Sumitomo metal döner fırın akım şeması.....	46
Şekil 4.5. Direk redüklenmiş demir ve sıcak biriket demir	48
Şekil 4.6. Nippon steel döner tabanlı ocak fastmet teknolojisi.....	49
Şekil 4.7. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesis akım şeması.....	54
Şekil 4.8. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi birikitleme bölümü	56
Şekil 4.9. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi dekantör.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

YF	Yüksek Fırın
ÇH	Çelikhane
BOF	Bazık Oksijen Fırını
OG	Çelikhane Gazı
EAO	Elektrikli Ark Ocağı
EAF	Elektrikli Ark Fırını
SKAP	Sumitama Kawasaki Yaşlandırma Prosesi
TSM	Ton Sıvı Maden
DTO	Döner Tabanlı Ocak
DRD	Direk Redüklenmiş Demir
EAOT	Elektrik Ark Ocağı Tozu
THÇ	Ton Ham Çelik
YMS	Yüksek Elektromanyetik Separatör
TMS	Tambur Manyetik Separatör
DRI	Sünger Demir Üretim

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleriyle ortaya çıkan atıkların havaya, suya ve toprağa salınarak kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri bozmasıyla çevre kirliliği ortaya çıkmıştır.

Özellikle sanayi devriminden sonra doğal kaynaklardan da faydalanarak teknolojiler geliştiren insanoğlu çevre kirliliğiyle ekolojik dengeyi süratle bozmuş ve çevre sorunları yaratmıştır. Ancak bu sorunların insan sağlığını olumsuz yönde etkilemesi üzerine çevre bilinci olgusu ortaya çıkmıştır.

Bu bilinçlenme sonucu kirliliğin giderilmesi ve önlenmesi amacıyla bazı yasal zorunluluklar ve teknolojik iyileştirmeler geliştirilmiştir. Bu yönetim sistemlerinden dünyada en çok kullanılanları İngiliz standardı BS 7750, Avrupa Birliği eko-yönetim ve tetkik projesi (EMAS) ve uluslararası ISO 14000 serileridir (Szekely, 1996).

Dünyada her sektörde olduğu gibi demir çelik sektöründe de çevrenin korunması amacıyla yukarıda sayılan çevresel yönetim sistemlerinin kurulması ve düzenlenmesi çalışmaları devam etmektedir.

Ülkemizde günümüze kadar çevrenin korunması ve iyileştirilmesi konusunda birçok yasal ve hukuki düzenlemeler yapılmıştır. 2872 sayılı Çevre Kanunu buna örnek verilebilir. Demir çelik sektöründe diğer üretim dalları gibi hava kalitesinin korunması, katı atıkların kontrolü, tehlikeli atıkların kontrolü ve gürültü kontrolü yönetmeliğinden oluşan 2872 sayılı çevre kanununa uymakla yükümlüdür.

Dünyadaki çevre yönetim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte demir çelik üreticisi ülke ve ülke gruplarında da çevrenin korunmasına yönelik yasal ve teknolojik çalışmalar giderek yoğunluk kazanmıştır. Gelişmiş ülkelerden ABD’de hava ve su kirliliğinin kontrolü konusundaki yasal zorunluluklar çevreyi kirleten firmaların önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur (Philipp, 1995).

Ton çelik başına ortaya çıkan toz emisyonu önemli miktarda azaltılmış ve tesislerde ortaya çıkan atık suyun % 95' den fazlası yeniden kullanılmaya başlanmıştır.

ABD’de yeni yatırımların % 15' ini çevresel kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve kurulması yönündeki harcamalar oluşturmaktadır. Benzer durum Batı Avrupa ve Japonya’da da mevcuttur. Özellikle Japonya’da son 20-25 yılda kurulan demir çelik tesislerinin tamamı çevre kirliliği önlemlerini kuruluş aşamasında almıştır.

Kore, Tayvan ve Meksika' da yeni kurulan ve kurulmakta olan tesislerin çoğu çevre koruma önlemlerini kuruluş aşamasında almaktadır. Çin'de çevre kirliliği kontrolü uygulamaları yeterli seviyelerde olmamasına rağmen yeni kurulan tesislerde eskiye nazaran çevresel konular daha fazla dikkate alınmaktadır (Szekely, 1996).

Doğu Avrupa ve Rusya'nın çelik üretim miktarı önemli ölçüde azalmasına rağmen üretimin eski teknolojilerle gerçekleştirilmesinden ve bu bölgelerdeki yerel çevre kanunlarının yeterli yaptırımlara sahip olmamasından dolayı tesislerde ortaya çıkan atıklar hem çalışanların sağlığı hem de üretimin gerçekleştirildiği bölgelerin ekolojik dengesi üzerinde ciddi sorunlar yaratmaktadır.

Rusya ve Doğu Avrupa'daki bu durumun önlenmesi için uluslararası demir çelik komiteleri, bu bölgelerde faaliyet gösteren tesislere teknik yardımlarla çevre kirliliğini önleme çalışmaları yapmaktadır (Philipp, 1996).

Cevherden başlayarak çelik üreten entegre demir çelik tesislerinden ortaya çıkan yüksek fırın toz ve çamuru, çelikhane toz ve çamuru ve yağlı hadde tufali gibi atıkların içerdiği Zn, Pb ve Cd gibi metaller düşük seviyelerde olduğundan, bu metallerin geri kazanımı ekonomik olmamakla beraber doğaya verildiklerinde çevreyi kirletecek seviyelerdedir.

Son yıllarda entegre demir çelik tesislerinden ortaya çıkan bu tip atıkların hem çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi hem de içerdiği demir oksitlerin kazanılması amacıyla yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.

İsdemir'de üretim aşamaları sonucunda atıklar ortaya çıkmakta ve bunların büyük kısmını yüksek fırın (YF) toz ve çamuru, çelikhane toz ve çamuru, yağlı hadde tufali tipindeki katı atıklar oluşturmaktadır. Bu atıklardan YF tozunun bir kısmının sinter harmanında kullanılmasına rağmen diğer atıklar fabrika sahası içerisinde ki atık sahasında stoklanmaktadır.

Hazırlanan yüksek lisans tezinde İsdemir'de oluşan bu atıkların mevcut proseslerde değerlendirilebilmesi için izlenmesi gereken metodlar ve yapılan çalışmalara ayrıntılı bir şekilde değinilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Erdemir ve İsdemir Sinter Fabrikasında Atık Malzeme Kullanımı Konusunda Yapılan İyileştirme Çalışmaları

Entegre demir çelik tesislerinde nihai üretim sürecinde değişik noktalarda birçok yan ürün ve atıklar oluşmaktadır. Bunlardan bazıları çok değerli ve doğrudan kullanılan veya satılan yan ürünlerdir. Örnek; Kok gazı, yüksek fırın gazı, çelikhane gazı (OG), benzol, katran, granül cüruf bu yan ürünlere örnek olarak verilebilir.

Yüksek fırınlarda oluşan baca tozu, çelikhanelen Bazik Oksijen Fırını (BOF) cürufu, sıcak haddehaneler ve sürekli dökümlerden tufal, ikinci soğuk haddehane asit rejenerasyon tesisinden demiroksit, çelikhane gazı çöktürme havuzlarından desilatör çamuru, kireç taşı kırma-eleme tesisinden kiket çamuru, çelikhane cürufunun manyetik seperasyonundan seperatör, kükürt giderme tesisinden kışpit gibi yan ürünler ise doğrudan kullanılmayan ancak ticari değeri olan atık malzemelerdir (SRK, 2007).

Sinter fabrikasında Fe ve flaks ihtiva eden bu malzemelerin kullanımıyla tesisler bünyesinde açığa çıkan atıklar değerlendirilmekte ve sinter üretim maliyetleri azaltılmaktadır. Söz konusu malzemelerin kullanım miktarları, yüksek fırınların kalite aralıkları ve sinterleme prosesindeki çeşitli negatif etkileri nedeni ile sınırlıdır (Bakar, 2005).

Atık malzemelerin sinterleşme prosesinde maksimum oranlarda kullanımlarını sağlamak amacıyla yapılan iyileştirme çalışmalarına değinilecektir.

Sinter fabrikasında kendi bünyesinde oluşan ve diğer tesislerden gelen atık malzemeler kullanılmaktadır (Çizelge 2.1).

Toz toplama tozu ve döküntü malzemeler sinterin kendi bünyesinde; baca tozu, BOF cürufu, tufal, demiroksit, desilatör çamuru, kiket çamuru, seperatör ve kışpit ise muhtelif tesislerde meydana gelen atıklardır (Doğan ve ark., 2005).

Atık malzemeler önemli oranlarda CaO, MgO, Fe ve C ihtiva etmekte atık kullanıldığında flaks malzemeleri, cevher ve kok tüketimi azaltılabilmektedir. Atık kullanımıyla birlikte sinter fabrikasında önemli bir dezavantaj meydana gelmektedir ki bu da atıksız çalışma şartlarına göre sinter yatak geçirgenliğinin azalmasıdır.

Çizelge 2.1. Atık malzeme kaynakları ve kullanımlarında istenmeyen durumları (Doğan ve ark., 2005).

Malzeme	Kaynak	İstenmeyen durumlar
Toz Toplama Tozu	Sistemde, muhtelif şarj ve döküş noktalarından çekilen hava, Torba filtre	Geçirgenlik
EP Tozu	Sinterleme işlemi için ana fan tarafından vakumlanan hava, Electrostatic Precipitator (EP)	Geçirgenlik
Döküntü	Yüksek Fırın elek altı sinter, Sinter Fabrikası sahası loader ile toplanan malzeme.	Granülasyon, Sinterleme süresi, Mukavemet
Baca Tozu	Yüksek Fırın tepe gazı, Toz tutucular	Yüksek Zn ve K ₂ O, Geçirgenlik
BOF Cürufu	BOF+Curuf değerlendirme tesisi (granülasyon), Eleme	P, Al ₂ O ₃
Tufal	Sürekli döküm prosesi, Sıcak Haddehane slab yüzeyleri	Geçirgenlik, Yağ içerme durumu.
Demir Oksit	2.Soğuk Haddehane asit (HCl) rejenerasyonu	-
Desilatör Çamuru	Çelikhane gazı yıkama suları, Çöktürme havuzu	Özellikle yağışlı iklim şartlarında çamurlaşma ve homojen dağılmama.
Kiket Çamuru	Kireçtaşı-Dolomit yıkama suları, Çöktürme havuzu	Özellikle yağışlı iklim şartlarında çamurlaşma ve homojen dağılmama
Seperatör	BOF Cürufu, Manyetik seperasyon	-
Kişpit	Kükürt giderme cürufu	S

Atık kullanımında, yüksek fırınların proses parametreleri önemli bir kısıt olup çok fazla değişken değildir. Kullanım miktarlarının arttırılabilmesi için sinter proses şartlarının iyileştirilmesi ve yatak geçirgenliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Akdağ, 1992).

Sinter fabrikasında yapılan aşağıdaki çalışmalar yatak geçirgenliğinin arttırılması ile birlikte atık kullanımını da arttırıcı etki göstermiştir.

2.1.1. Ham Karışımın Makine Üzerine Düzgün Serilmesi

Sinter makinesine 60 cm yüksekliğinde ham karışım serilmektedir. İyileştirme çalışmaları öncesindeki durumda makine üzerine serilen malzeme palet duvar kenarlarında düşük seviyede olup orta kısımlarda yüksek durumdadır.

Ana fanın sağladığı hava emişi düşük seviyedeki bu kısımlardan daha kolay geçtiği için tüm yataktan homojen bir emiş olmamaktadır. Bu nedenle homojen yanma bozulmakta ve yüksek kısımlarda ateşleme fırını sonrasında yüzeysel cüruflaşma oluşmakta böylece geçirgenlik azalmaktadır.

Yapılan takım çalışmaları neticesinde ham karışımın makine üzerine 60 cm yükseklikte düzgün bir biçimde serilmesi sağlanmıştır. Hava emişi yatak üzerinde homojen olduğundan yanmada da homojenlik sağlanmıştır. Ayrıca cüruflaşma problemi azaltılarak yatak geçirgenliği iyileştirilmiştir.

Çavuş plaka montajı yönteminde, yapılan ilk uygulama yatak üzerine bir sıyırıcı plaka montajı olmuştur. Bu plaka yüksekliği ayarlanarak orta kısımdaki fazla malzemenin kenarlara ötelenmesini sağlamak amacıyla denenmiş olup yatakta baskı problemi nedeniyle etkili bir çözüm olmamıştır.

Rol feeder hoperi yan ceplerinin genişletilmesi yönteminde, yan duvarlar genişletilerek eksik malzeme beslenen bölgeye daha yoğun bir malzeme şarjı sağlanmış ve yatak üzerine dengeli bir besleme durumu elde edilmiştir (Lecuire, 2003).

2.1.2. Sızdırmazlık Sağlanması ve Hava emişinin iyileştirilmesi

2000 yılı başında yeni emiş sistemi devreye alınmış ve yeni sistemle birlikte baca toz emisyonu 50 mg/m^3 altına inerken ana fanın çektiği havanın büyük bir kısmının makine üzerinden çekilmesi sağlanmıştır.

Hava kasaları blok refrakter montajı ; sıva harç yerine dışarıda dökülmüş ve prizlendirilmiş bloklar monte edilmiştir. Böylece hava kasalarında sızdırmazlık sağlanmış ve emişin büyük kısmı makine üzerinden olduğu için yanma da iyileşmiştir.

Ana gaz borusundan cone valflere geçiş kanallarının iyileştirilmesi ; kare kesit yerine daha büyük çaplı dairesel kesite geçilerek tıkanmalar minimize edilmiştir.

Ana gaz borusu dirsek kısmına iki adet ilave cone valf montajı ; ana gaz borusunda ilgili bölgede malzeme birikmesi olmaktadır. Bu alışma ile biriken malzeme miktarı azaltılmıştır. Haftalık planlı duruşlarda ve yaklaşık olarak iki haftada 70-80 ton biriken malzeme miktarı üç haftada 50 ton seviyesine dşmştir.

Devreye girişlerde makine üzerine branda serilmesi ; devreye girişte çekilen havanın tamamının harman üzerinden çekilmesi ve boş paletlerden hava emişi olmaması için yapılan bir uygulamadır. Böylece ideal çalışma şartlarına daha kısa sürede ulaşılmaktadır (Doğan ve ark., 2005).

2.1.3. Torba Filtre Değişimi

Toz toplama sistemi torba filtrelerin maksimum çalışma sıcaklığı üzerine çıkıldığında karbon içerikli atık malzeme olan baca tozu kısıtlanmaktadır. Torba tipi değiştirilerek maksimum çalışma sıcaklığı daha yüksek olan filtre kullanımıyla birlikte özellikle yaz aylarında ki istenmeyen durum minimize edilmiştir (Erdemir, 2010).

2.1.4. Dairesel Soğutucu Sızdırmazlıklarının İyileştirilmesi

Dairesel soğutucudaki hava kaçakları minimize edilerek soğutucu sonrasında bantlardaki yanma sakıncası nedeniyle oluşan kısıtlamalar da minimum seviyeye indirilmiştir (Doğan ve ark., 2005).

2.2. Erdemir ve İsdemir elikhane Cüruflarının Asfalt Betonu Agregası ve Demiryolu Balast Malzemesi Olarak Kullanılması İmkanları

Erdemir elikhane cüruflarının farklı kullanım alanlarında kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla Erdemir Ar-Ge Müdürlüğü ve TÜBİTAK/MAM Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü işbirliği ile ortak bir araştırma çalışması yapılmıştır.

Bu alışma elikhane cüruflarının karakterizasyonu ve asfalt betonu agregası, demiryolu balastı, karayollarında dolgu malzemesi ve cüruf yönü olarak kullanılabilme kriterlerinin belirlenmesi çalışmalarını kapsamaktadır.

Ülkemizde Erdemir ve İsdemir ile birlikte elik üreten diğer firmalarda yan ürün olarak ortaya çıkan elikhane cüruflarının büyük bir kısmı kullanılmamakta ve atık sahasında depolanmaktadır. Yapılan proje ile elik cürufunun imento ve klinker üretiminde kullanılabileceği ve kullanım kriterleri belirlenmiştir.

Projenin en başarılı sonuçlarından birisi bu proje için araştırma merkezi, özel sektör, kamu ve belediye şirketlerinin beraber çalışarak, ülkemiz yararına ortak hareket etmeleridir. Çelikhane cürufunun çimento ve klinker üretiminde kullanılabileceğinin ispatlandığı bu proje ile, ülkemize katma değer sağlayacak şekilde ara ürün veya mamul madde elde edilmesine öncülük edilmiştir (Erdemir, 2011).

Cürufun çimento fırınlarında kullanılmasıyla birlikte toplum ve ülke sanayi için dört ana yarar beklenmektedir:

- Erdemir ve diğer demir çelik fabrikalarının yan ürünü veya atık malzemesi olan çelikhane cürufunun çimento sektörü için değerli bir hammaddeye dönüşmesi, çimento ve çelik fabrikaları arasında sinerji oluşturulması,

- Klinker üretiminde artma sağlanması,

- Çimento için kullanılan fırının tipine bağlı olmaksızın üretimin artmasına karşılık, yakıt tüketiminin aynı kalması,

- Çimento fırınlarından çevreye yayılan NO, NO₂, CO ve CO₂ emisyonlarında azalma olması, fırınların efektif kullanımı.

Bu çalışma sonunda efektif bir kullanımı olmayan ve büyük bir çoğunluğu atık sahasında depolanan Erdemir ve İsdemir çelik cürufu çimento sektörü için yararlı bir hammaddeye dönüştürülmüştür. Çimento endüstrisinin bu atık malzemeyi kullanmaya başlaması ile Erdemir ve İsdemir için atıkların neden olduğu çevre problemlerine bir ölçüde çözüm getirilmiş olunması ile birlikte, atık bir malzeme çimento sektörüne satabilecek değerli bir katkı maddesi haline dönüştürülmüş olacaktır (Anonim, 2010).

2.2.1. Çelikhane Cürufları

Cüruf, demir esaslı ve demir dışı metallerin işlenmesinden kaynaklanan kül, gang, çelikhane cürufu gibi atıkları kapsamaktadır. Cürufları değişik amaçlarda kullanabilmek ancak onların kimyasal ve fiziksel özelliklerini tanımakla mümkün olabilir.

Cürufu tüketen kuruluşların ısrarla üzerinde durdukları ve cüruflarda aradıkları iki önemli husus bulunmaktadır. Bunlardan birincisi cüruf bileşimindeki CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve P₂O₅ oranları, diğeri de cürufun soğutulmuş şeklidir (Şekil 2.1).

Cüruftan çimento yapılırsa bu bileşiklerden ilk üçünün, gübre yapılırsa sonuncusunun cüruf içerisindeki miktarı önem taşır. Öte yandan cürufun ani soğutulmuş olması yani granüle veya köpük halinde bulunması, hangi amaçla olursa olsun

kullanılabilme ve değerlendirebilmeyi kolaylaştırır.

Metalurjik cüruflar, kalsiyum oksit (CaO), silisyum dioksit (SiO_2), demir oksitleri (FeO , Fe_2O_3), magnezyum oksit (MgO), çinko oksit (ZnO), çinko sülfür (ZnS) ve pek çok diğer oksit ve sülfür bileşiklerinin karışımı şeklinde bulunurlar (Yıldırım, 1981).

Bu bileşikler gang minerallerinden gelir yada üretici tarafından belli amaçlarla hammadde karışımına verilir. Demir dışı metallerin cüruflarında yukarıda verilen bakır izabe cürufu örneğinde de olduğu gibi; yüksek fırın, dökümhane, çelik ve ferro alaşımlarının cüruflarından farklı olarak % 50' ye varan oranda demir oksit bileşikleri bulunur. Ancak bu demir içeriğinin demir-çelik üretimi açısından bir değeri yoktur.

Cürufların oluşum ve ergime sıcaklıkları, ferro alaşımlarınıninkiler dışında 1000-1400°C' ler arasında bulunur. Saf oksitlerin ergime sıcaklıkları gerçekte bu sıcaklıkların çok üzerindedir.

Ancak oksitler birbirleriyle daha düşük sıcaklıklarda birleşmeye yatkın olduklarından ergime sıcaklıklarında önemli ölçüde düşme söz konusu olur (Yıldırım, 1984).

Bazık cüruflar asidik cüruflara oranla daha az iç sürtünme ve buna bağlı olarak daha yüksek bir akışkanlık özelliği gösterirler. Asidik cürufların akışkanlıkları camları andırır. Aşırı hızlı soğutmalarda camsı bir özellikte katılaşır. Bunlar 700 °C'de yumuşar ancak 1300 °C gibi oldukça yüksek bir sıcaklık değerinde yeterli akışkanlık derecesine ulaşabilirler.

Çelikhane cürufu, çelik üretimi esnasında çelik içerisindeki empüritelerin oksidasyonu sonucu oluşan oksit ve silikatların oluşturduğu kompleks bir kimyasal yapıya sahip, metalik olmayan yan ürünler olarak tanımlanmaktadır. Cüruflar farklı metalurjik proseslerin ürünleri olabilmektedir.

Bazık oksijen fırınlarında yapılan çelik üretiminde açığa çıkan cüruflar BOF cürufları, elektrikli ark ocağında (EAO) yapılan üretimde açığa çıkan cüruflar ise elektrikli ark fırın (EAF) cürufları olarak adlandırılmaktadır.

Erdemir de çelik üretimi bazık oksijen fırınlarında yapılmakta ve bu nedenle çelikhane cüruflarından BOF cürufları kastedilmektedir (Özgen, 2001).



-11 mm atık cüruf

+11mm -23 mm
arası cüruf

İnce separator (+23
mm)

Şekil 2.1. Çelikhane cürufları (İsdemir, 2012)

Bazık oksijen proseslerinde sıcak maden, hurda ve cüruf yapıcılar konvertöre şarj edilir. Konvertör içerisine daldırılan bir lans aracılığı ile yüksek basınçta oksijen üflenir ve üflenen oksijen şarjdaki empüritelerle birleşir.

Bu empüriteler C, Si, Mn, P ve bir miktar Fe'dir. Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bu oksitlerden sıvı halde olanlar kireç ve dolomitik kireç ile birleşerek cürufu oluştururlar.

İşlem bitiminde sıvı çelik bir potaya dökülürken, oluşan cüruf sıvı halde yaklaşık olarak 1100-1500 °C'de özel cüruf potalarına boşaltılarak taşınmakta ve stok sahalarında soğumaya bırakılmaktadır. 1 ton çelik üretiminde yaklaşık 100-150 kg cüruf oluşmaktadır.

Çelikhane cüruflarının yarısı kireç (CaO) olup, geri kalanı sıcak maden ve hurdadaki elementlerin oksitlerinden meydana gelmektedir. Yaklaşık olarak %15-20 oranında FeO içermektedirler.

Fiziksel olarak çelik cürufları koyu gri renkte, tane şekli köşeli ve yüzeyi pürüzlü bir görünüme sahiptirler. Yüksek fırın cürufuna kıyasla çok sert ve dayanıklıdır ve özgül ağırlıkları ise %20-25 daha büyüktür (Karaküçük, 1978).

2.2.1.1. Çelikhane Cüruflarının Kullanım Alanları

Dünyada çelikhane cüruflarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan birçok bilimsel araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar sonucunda çelikhane cüruflarının özellikle kara ve demir yollarında, çimento sanayiinde, tarımda ve cüruf yünü imalatında konvansiyel malzemelerin yerine kullanılabileceğinin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Günümüzde çelikhane cüruflarının farklı uygulama alanlarında maksimum miktarlarda kullanılması için yoğun çabalar sarfedilmektedir (Çizelge 2.2).

Bunlara Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Chaparrel Steel şirketinin cüruf kullanılarak çimento üretimi uygulaması, Sumitama Kawasaki Yaşlandırma Prosesi (SKAP) ile cürufların stabilizasyonu için hızla yaşlandırılması örnek olarak verilebilir (Ellicott, 2003).

Çizelge 2.2. Çelikhane cüruflarının ülkelere göre birim ham çelik üretimi başına oluşan miktarları ile kullanım oranları (Ellicott, 2003)

Ülke	Curuf (kg/thç)	Kullanım (%)
Avustralya	135-187	80-100
Kanada	103-250	40-100
Almanya	103	96
Japonya	96-155	90-100
ABD	70-170	60-100
Hindistan	200	25

Kullanım alanları her bir ülke ve tesisin özel koşullarına göre değişiklik arz etmektedir. Örneğin Çin'de çimento sektöründe, Japonya ve Avustralya'da karayollarında, Güney Kore'de sisteme geri döndürülerek yüksek fırın ve sinter proseslerinde kullanılması şeklindedir.

Avrupa'da ise gübre olarak tarımda, toprak iyileştirilmesinde ve yüksek fırın prosesinde kullanım alanı bulmaktadır. Hindistan'da kullanım miktarlarının en üst seviyelere çıkarılması için çalışmalar devam etmektedir.

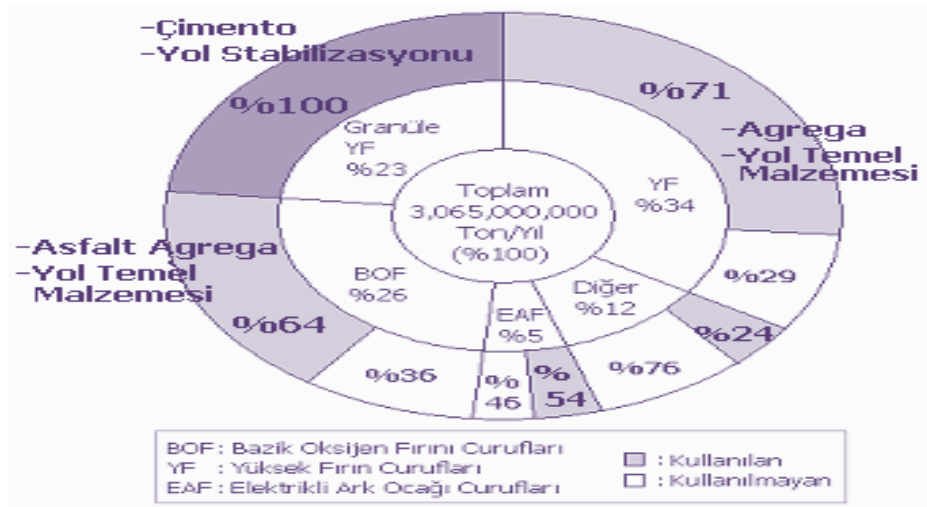
Yüksek fırın ve sinter tesislerinde kullanılmakta, tren yollarında, karayollarında, arazilerin ıslah edilmesinde kullanımına ilişkin olumlu sonuçlar alınmış çimento sektöründe de kullanılmalarının ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Temel ve temel altı malzemesi, toprak set, dolgu, ana yol banketleri ve sıcak asfalt karışımları uygulamalarında agrega olarak çelik cürufunun kullanımı standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu alanlarda kullanılmadan önce uygulama alanına ilişkin özellikleri sağlaması amacı ile çelik cürufları kırılarak elenmelidir.

Hidratasyonun sebep olduğu genleşmeyi önlemek amacı ile yaşlandırma prosesi uygulanmalıdır. Çelikhane cürufları, serbest kireç ve bazı nadir elementler içerdiğinden dolayı toprağın koşullandırılmasında da uygulama alanı bulmaktadır(Ellicott, 2003).

1990 yılında Avustralya Cüruf Birliğinin kurulmasıyla bu ülkede cürufların farklı uygulama alanlarında kullanım miktarları artmıştır (Şekil 2.2 ; Şekil 2.3).

Avustralya da üretilen çelik cürufunun %64'ü yol temel malzemesinde ve asfaltta kullanılmaktadır (Humbert, 1983).

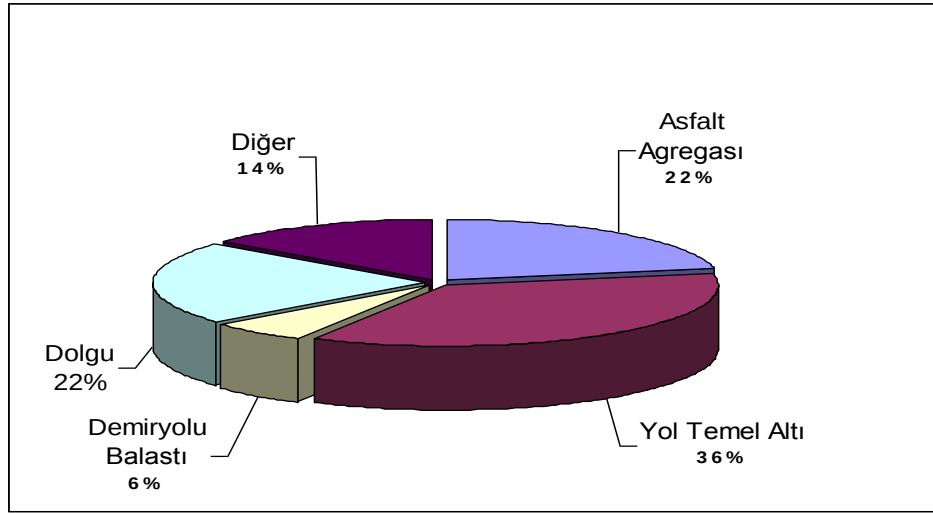


Şekil 2.2. Avustralya cüruf üretim ve kullanım miktarları(www.Asa-İnc.Org.Au, 2000)

Cüruftan çimento klinker katkısı olarak yararlanabilmek için yapısında yüksek oranlarda CaO ve SiO₂ ya da SiO₂ yerine Al₂O₃ bulunmalıdır. Açık havada ve yavaş soğutulmuş cüruflar bu özellikleri taşıyabilirler bile klinker katkısı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Mutlaka hızla soğutulmuş olmaları gerekir (Gül, 1986).

Yüksek oranda fosfor bileşikler içeren hammaddelerden üretilen ham demirin oksijenli konverterlerde yapılan rafinasyon ve çeliğe dönüştürme işlemlerinde, elde

edilen cüruflardan fosfat gübresi üretiminde yararlanılmaktadır.



Şekil 2.3. Amerika Birleşik Devletleri'nde çelikhane cürufu kullanım alanları ve oranları (Berkmen, 1966)

Ancak cürufun bu amaçla değerlendirilebilmesi için fosfor pentaoksit içeriğinin sitrik asitte çözünabilir karakterli olması gerekir. Cüruf bileşimindeki silisyum dioksit oranı arttıkça sitrik asitte çözünabilir özellikle fosfor pentaoksit oranı da artacaktır.

Silisyum dioksitin cürufta % 8,5 oranında bulunması halinde bileşimde bulunan fosfor pentaoksitin % 90' ı sitrik asitte çözünür karakterli olarak yapıya bağlanmaktadır. Ancak çelikhanelerde üretilen cüruflarda ortalama % 6,5 SiO_2 bulunabildiğinden eksik bölüm cüruf potalara alınırken kum ilavesiyle tamamlanır.

Cürufların çimento ve gübre sanayi kollarında, inşaat sektöründe taş, çakıl veya mucur yerine dolgu ve stabilize malzemesi olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır (Şekil 2.4).

Bileşimleri ne olursa olsun, yeterli mukavemet derecesinde cürufları yol stabilize malzemesi, beton briket katkısı, asfalt yol dolgu malzemesi olarak kullanmak kolaylıkla mümkündür. Ayrıca granüle cüruf kış aylarında kaygan yollara serpilerek mucur olarak değerlendirilebilmektedir (Salihoğlu, 1978).

Sanayi cürufları içerisinde bu nedenle geniş kullanılma alanı bulabilmiş olan cüruflar sadece ultrabazik yüksek fırın cürufları ile yüksek fosfor pentaoksit içerikli çelik cüruflarıdır. Dolayısı ile demir-çelik sektörü cüruf problemini bir ölçüde halletmiş sayılır.

Cürufların bileşimleri metalurjik operasyonlarda keyfi değiştirilemeyeceğinden diğer üretim yöntemlerinde ortaya çıkan cürufların kullanılma alanları inşaat sektörü ile yol yapım, bakım ve onarım işleridir.

Yapılan gözlem ve araştırmalar cürufların yıllarca bileşimlerinde fazla kimyasal değişme olmadan kalabileceklerini ortaya koymuştur. Cüruflar en etkin çözücülerle bile kolay kolay çözündürülememektedir. Bunların belli bir yerde biriktirilmeleri çevre sağlığı açısından fazla bir sorun getirmeyecektir.

Gerçekte cüruflarla ilgili en önemli sorun onun elde olmayan nedenlerle her gün tonlarca üretilme zorunluluğudur. Bu da stoklama problemini artırmakta ve cürufların bileşimi ne olursa olsun tüketilmesinin gerektiğini göstermektedir.

Cüruf, günümüzde ve gelecekte en iyi biçimde inşaat sektöründe değerlendirilebilecektir. Dolayısı ile cüruf üreticilerinin inşaat sektörüyle iyi bir işbirliği yapmaları, cürufları çevreye atılan zararlı artık olmaktan kurtaracaktır.



+55 mm yatay
eleğin yandan



+55 mm üstü
demir dışı cüruf



Kalın seperatör

Şekil 2.4. Çelikhane cüruflu saha resimleri (İsdemir, 2012)

Yüksek demir oranlı cüruflardan da demir-çelik üretim hammaddesi olarak yararlanabilmenin yolları araştırılmalıdır. Bu cüruflarda demirden başka bir çok değerli metallere ait bileşikler de demir gibi cürufla birlikte çevreye atılmaktadır (Varol, 1985).

2.2.1.1.1. Karayolunda Kullanımı

Çelikhane cürufu çok yoğun ve sert bir malzemedir. Uygun tane boyutuna kolaylıkla kırılabilir. 200 kN dolayında yaş mukavemet değeri ile mükemmel bir agregadır. İçermiş oldukları az miktardaki kireç nedeni ile mükemmel soyulma dayanımlarına sahiptirler.

Doğal agregalara kıyasla yüksek kayma dirençleri ve dayanıklı yapısı, çok uygun özellikte asfalt agregası olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tekerlek izi direncinin yüksek olması, çelik cürufunun yoğun trafiğin olduğu kavşaklarda ve durma zonlarında kullanımının artmasını sağlamıştır.

Çelikhane cürufu kullanarak asfalt üretilmesinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Stabilitelerinin yüksek olmasından dolayı bazı durumlarda daha ince asfalt döşenmesine imkan sağlamaktadır.
- Kararlılıkları, sertlikleri ve iyi bağlanma özellikleri kaliteli asfalt üretilmesini mümkün kılmaktadır.
- Cüruf agregalarının köşeli bir yapıda olması ve böylece tanelerin daha sıkı kenetlenebilmeleri cürufu asfaltların tekerlek izi oluşum dirençlerini artırmaktadır.
- Yüksek kayma direncine sahip olmaları nedeniyle yolların güvenliği artmaktadır.
- Cüruf agregalarının bitüm ile kuvvetli bağ oluşturabilme özelliğinden dolayı soyulma direnci yüksek asfalt üretilmektedir.
- Cüruf tanelerinin dayanımlarının yüksek olması ve tanelerin birbirleri ile çok iyi kenetlenebilmeleri, yüksek sıcaklık koşullarında bile asfaltın kalıcı deformasyon direncini artırmaktadır.
- Bünyelerinde daha uzun süre ile ısıyı tutabilmektedirler. Bu özellikleri asfalt döşeme ve sıkıştırma işlemleri için avantaj oluşturmaktadır. Çünkü sıcak asfaltın döşenmesi ve sıkıştırılması soğuk asfalta nazaran çok daha kolaydır (Meux, 2003).

Çelikhane cüruflarının asfalt agregası olarak kullanılması ve bu avantajlarının yanı sıra, kullanımlarını sınırlayan bazı dezavantajlarının olduğu da bilinmektedir.

Özgül ağırlıklarının yüksek olmasından dolayı nakliye maliyetlerinin klasik agregalarinkinden daha pahalı olması ve serbest kireç içerdikleri için potansiyel hacimsel genleşme problemlerinin olmasıdır.

Ancak çok uygun fiziksel özelliklerinden dolayı daha kaliteli ve uzun ömürlü asfalt üretimine imkan sağlamaları, taşıma maliyetlerindeki artışı kompanse edebilmektedir.

Potansiyel hacimsel genişleme problemleri ise cürufta bulunan kirecin hidratasyonu amacıyla uygun yaşlandırma prosesinden geçirilmesiyle çözülebilmektedir (Heaston, 1993).

Yaşlandırma prosesi stok sahalarında cürufların atmosferik koşullarda bir süre bekletilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu süre genellikle altı aydır ancak buharlı yaşlandırma prosesinin daha kısa sürelerde oldukça etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca kirecin hidratasyonu sonucu oluşan hacimsel genişlemenin asfalt uygulamalarında önemli bir problem teşkil etmeyeceği ileri sürülmektedir. Bunun nedeni cüruf agregalarının bitüme olan yüksek kimyasal ilgilerinden dolayı bitümün cüruf yüzeyini kaplayarak suyun taneler arasına girmesini engellemesidir.

Suyun etkisi azaldığından hidratasyonun gerçekleşmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca asfalt düşük oranlarda oluşan genişlemeyi tolere edebilecek visko elastik bir malzemedir.

Yapılan araştırmalar çelikhane cüruflarının, granüle yüksek fırın cüruflarını aktive etmek amacıyla kireç kaynağı olarak kullanılabileceğine işaret etmekte, kaldırım temellerinde ve alt dolgu malzemesi olarak granüle yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve uçucu kül karışımının gelecek vaad ettiği belirtilmektedir.

Çelikhane cüruflarının yaşlandırılması prosesi sonucu oluşan Ca(OH)_2 granüle yüksek fırın cürufunu ve uçucu külü aktive etmektedir.

Son yıllarda yol, temel ve alt dolgu malzemelerinde çelikhane cürufları, diğer aktif bağlayıcılar ve granüle yüksek fırın cüruflarının yerini almaya başlamıştır. Söz konusu karışımlar Avustralya'da köprü ve otoyollar ile havalimanı bağlantı yollarında kullanılmış ve mükemmel sonuçlar alınmıştır.

Japonya'da yoğun, sert ve çakıla benzer şekliyle çelikhane cüruflarının uzun yıllardır, agrega olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çelikhane cürufunun genişleme özelliği tekrar kullanılmalarını sınırlarken, mineralojik özelliklerini saptamak ve genişlemeyi en aza indirebilmek amacı ile Japonya'da geniş araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 2.3).

Yapılan araştırmalarda çelikhane cüruflarının fiziksel özellikleri, bu özelliklerin zamanla değişimi agrega olarak stabilizasyonu ele alınmıştır (Heaston, 1993).

Çizelge 2.3. Cürufların gerçek yol testlerinde kullanımı (Heaston, 1993)

Cüruf Karışımı	Tane Boyu (mm)	Alt Taban Kalınlığı (cm)	Son Durum
%70 ¹ YFC %30 ² BOF	0-40	50	Yüzeyde küçük çatlak
Stabilize BOF	0-40	25	Çatlak yok
Yaşlandırılmış BOF	0-13	25	Çatlak yok
Yaşlandırılmış BOF	0-25	25	Çatlak yok
Yaşlandırılmış BOF	0-13	25	Çatlak yok
Taban: BOF	0-25	25	Çatlak yok
Üst Tabaka: YFC	0-10	25	Çatlak yok
%70 YFC %30 BOF	0-10	25 50	Yüzeyde küçük çatlak
Stabilize BOF	0-10	30	Çatlak yok

2.2.1.1.2. Trenyolu Balastlarında Kullanımı

Travers, vagonların raylar üzerine olan etkilerini geniş bir alana yaymak suretiyle balasta geçiren ve iki sıra ray dizisini yerinde tutarak hat genişliğinin yol boyunca sabit kalmasını sağlayan yol eksenine dikey olarak yerleştirilen ahşap, demir veya betonarmeden imal edilmiş malzemedir.

Travers imaline uygun ormanlara sahip olmayan ülkeler ile sanayisi gelişmemiş ülkelerde, ahşap ve demir traverslerin tedariki zor ve pahalıdır. Çelikhane cürufları beton traverslerin üretilmesi için uygun özelliklere sahiptir.

Platform üzerine konulan traverslerin içinde gömülü oldukları kırma taş tabakası balast olarak bilinmektedir. Balastın başlıca üç görevi vardır; bunların başında dingillerden raya ve traverse gelen düşey yükleri platform üzerinde daha büyük alana yaymak ve yatay etkiler sonucunda oluşan ray ve traverse çerçevesinin hareketlerine karşı koymak gelir. İkincisi vagonların üzerinde gittikleri yola bir miktar elastikiyet vermektir (Makkonen, 2002).

Yüksek hızlarda yolda bir miktar elastikliğın olması, konforlu yolculuk ile vagon ve yol bakımı için yararlıdır. Balastın üçüncü işlevi ise platform üzerinde bitkilerin büyümesine engel olması ve bazı durumlarda donmaya karşı platformu korumasıdır.

Çelikhane cüruf agregaları, demiryolu balastları için aşağıda verilen özelliklerinden dolayı mükemmel malzemelerdir:

- Aşınmaya karşı yüksek dayanımları
- Dönemeçlerdeki veya kıvrımlardaki lateral hareketlere birim ağırlığının fazla olmasından dolayı yüksek dayanımı
- Yapısında içerdığı yüksek miktardaki boşluklardan dolayı drenaja uygun olması
- İri köşeli tane yapısından dolayı kararlı, sağlam bir taban oluşturarak kıvrımlarda veya dönemeçlerde tren kompartmanlarının kaymasını önlemesi
- Yüksek elektrik direnci ve tren yolunun iletkenliği ile karışmaması nedeniyle tren yolunun sinyal sistemlerine zarar vermemesi
- Hiçbir organik malzeme içermemesi, dolayısıyla çok temiz balast malzemesi olması (Sönmez ve ark.,2006).

2.3. Erdemir ve İsdemir Sinter Fabrikasında Tufalin Değerlendirilmesi

2.3.1. Tufal Kullanımı

Tufal, sürekli dökümlerde proses esnasında ve sıcak haddehanelerde slab yüzeylerinin basınçlı su püskürtülerek temizlenmesi esnasında oluşur. Yüzey temizlemede kullanılan su, çöktürme havuzlarına alınır. İçerisinde çökelen tufal vagonlara nakledilerek sinterde silolardan beslenerek kullanılır.

Tufal %73 oranında Fe ihtiva etmekte olup, fiziksel özellikleri +3,15mm %35-40, 0,15mm altı %9-12 arasındadır.

Tufal kullanımı önündeki en önemli engel yatak geçirgenliğinde neden olduğu azalmadır. Bu nedenle tufal kullanımlarında yüksek oranlara ulaşılması, alınan geçirgenlik arttırıcı önlemler ve yakın proses takibi ile mümkün olmaktadır (Akkulah ve ark, 2005).

Çizelge 2.4.'de görüldüğü gibi Erdemir'de 2005 yılında toplam atık kullanım oranının düşmesine karşın toplam tufal kullanım oranı artmıştır. Bu artışta satın alınan tufal kullanımı etkili olmuştur.

Çizelge 2.4. Tufal kullanım oranları (Sinter, 2005)

Tanımı	Birim	2001	2002	2003	2004	2005
Tufal	kg/ton	35,2	43,1	36,5	40,3	35,3
Satın Alınan Tufal	kg/ton	0	0	0	4,5	15,2
Toplam Tufal Kullanımı	kg/ton	35,2	43,1	36,5	44,8	50,5
Toplam Atık Kullanımı	kg/ton	182,1	128,8	147,9	162,8	108,4
Toplam Atık Kullanımında Payı	%	19	33	25	28	47

Çizelge 2.5.'de ise Erdemir ile birlikde Sollac ambalaj ve İsdemir tufal kullanım oranları görülmektedir. Tufal kullanımı Erdemir'de proses şartları sağlanarak kullanımı yüksek oranda gerçekleşmiştir.

Çizelge 2.5. Tufal kullanımı mukayese çizelgesi (Sinter, 2004)

Tesis	Tufal kullanım miktarı
Erdemir	44,8 kg/ton
Sollac Ambalaj A.Ş (Erdemir-Arcelor)	5,0 kg/ton
İsdemir	2,6 kg/ton

2.3.1.1. Ark Ocaklı Tesislere Ait Tufal Kullanımı

Ark ocaklı tesisler bünyesinde katı atık olarak açığa çıkan tufal, ilgili tesise ve çevreye olumsuz etkileri olan bir atıktır (Şekil 2.5).

Katı atıkların, üretici veya taşıyanları tarafından denizlere, göllere, caddelere, ormanlara ve çevrenin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olacak yerlere dökülmesi yasaktır.

Evsel nitelikte olmayan katı atıkların toplanmasında veya tesis içinde biriktirilmesinde çevre ve insan sağlığını, çevrenin görünüşünü bozmamak, çevreyi koku, toz gibi yönlerden rahatsız etmemek kaydıyla istenilen hacim ve şekilde kap veya tank kullanılabilir (Kazokoğlu, 2001).



Şekil 2.5. Tufal sahası görünümü (Erdemir, 2012)

Tesis içinde ve tesis dışında bu atıkların depolanması ilgili kuruluşa ekonomik bir yük getirmekte, ekstra iş gücü kaybına neden olmaktadır. Atıkların tesis dışında depolanması için kullanılacak araçlarında maliyeti olmasının yanı sıra şehir trafiğinde olumsuz etkilenebilmektedir. Ayrıca tufalin bünyesinde atıl durumda bulunan demir ekonomiye kazandırılmamaktadır (Erdemir, 2011).

Yukarıdaki faktörler göz önüne alındığında Erdemir ve İsdemir, ark ocaklı tesislere ait tufali değerlendirdiğinde hem ülke ekonomisine katkıda bulunmuş hem de çevre kirliliğini önlemiş olmaktadır.

Bu kapsamda Erdemir, Çolakoğlu Metalurji, İçdaş, İzmir Özkan Demir Çelik, Asil Çelik tesislerinden tufal temin etmektedir. Tufal kamyonlar ile gelmekte ve teslim alınması sinter fabrikası yetkililerince yapılmaktadır. Kullanım öncesinde oluşturulan ekip tufal kaynaklarını yerinde incelemiş ve alınan numuneler neticesinde kullanım kararı alınmıştır.

Ark ocaklı tufal kullanımı genel olarak olumlu sonuçlanmış, zaman zaman karşılaşılan olumsuzluklar sonucunda ilgili firmalara gidilerek bilgilendirme yapılmıştır (2. D.Ç. Sem., 2003).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

İskenderun Demir Çelik A.Ş. Türkiye'nin güneyinde İskenderun körfezinde bulunmaktadır. İsdemir Türkiye'nin kuruluş tarihi itibarıyla üçüncü, uzun mamul üretimi açısından en büyük entegre tesistir. 1,1 milyon ton/yıl blum kapasitesi ile üretime başlayan tesis sonrasında yapılan anlaşma ile 2,2 milyon ton/yıl çelik bluma çıkarılmıştır.

2004 yılı içerisinde başlayan modernize ve dönüşüm yatırımları ile 5,5 milyon ton/yıl sıvı ham demir kapasitesine ulaşmıştır. Fabrikada uzun mamul yanı sıra yassı ürün üretimi de 2008 yılı itibarıyla gerçekleşmiştir (İsdemir, 2008).

Entegre demir çelik tesislerinde atıkların oluşumundaki en büyük pay yüksek fırın ve çelikhane üniteleridir. Yüksek fırınların ana görevi sıvı ham demir (SHD) üretmektir. İsdemir'de 4 adet yüksek fırın bulunmakta ve sıvı ham demir elde etmek için yüksek fırına sinter, pelet, parça cevher, kok şarj edilmektedir.

Ayrıca fırın içerisine kireçtaşı, kuvarsit, dolomit gibi cüruf yapıcı ürünler de şarj edilmektedir. Üretilen sıvı ham demirin büyük bir kısmı çelikhaneye sevk edilirken bir kısmı ise piyasanın pik ihtiyacını karşılamak üzere pik kalıplarına dökülmektedir.

Yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretiminin yanında yüksek fırın gazı ve granüle cüruf da üretilmektedir. Yüksek fırın gazı, fırınlarda ve fabrikanın diğer ünitelerinde yakıt olarak da kullanılmaktadır. Cüruf ise granüle tesislerinde işlendikten sonra çimento sektöründe kullanılmak üzere sevk edilmektedir.

Çelikhane'de ise yüksek fırınlarda üretilen SHD torpidolar ile çelikhane devirme istasyonuna getirilir. Devirme istasyonunda SHD potalara boşaltılmakta ve bu şarj potaları kükürt giderme istasyonuna alınarak granüle magnezyum, kalsine edilmiş kireç tozu ile kükürt giderme işlemi yapılarak konvertöre şarj edilmek üzere gönderilmektedir.

Konvertöre öncelikle çelik hurdası sonrasında kükürt giderme tesisinden alınan SHD sarj edilir. SHD içerisindeki karbon, kükürt, silisyum, mangan ve fosfor gibi elementler, oksijen üflenerek kalsine kireç, kok tozu, florit, dolomit ilave edilerek istenen değerlere düşürülür (Erdemir, 2010).

Çelikhane'nin ihtiyacı olan kalsine kireç ise 2 adet kireç fabrikasında üretilmektedir. Konvertörden alınan sıvı çelik potalar vasıtası ile kütük döküm ve slab

döküme gönderilmektedir. Fabrikada atıklar su tesisleri çevre müdürlüğü ve sinter müdürlüğü bünyesinde toplanmaktadır.

Sinter müdürlüğünün kuruluş amacı fabrikaya karayolu, denizyolu, demiryolu ile gelen demir cevheri, pelet, dolamit, kireçtaşı, dünit vb. hammaddeleri boşaltmaktır.

Sonrasında ise stoklamak ve bunları stoktan alarak kırma eleme işlemlerinden geçirerek sinterleme işlemine tabi tutup sinteri elde etmektir. Elde edilen sinter yüksek fırınların ihtiyacı olarak şarj edilmektedir (İsdemir, 2008).

Çelikhane, yüksek fırınlar işletme ve şarj gaz yıkama atıkları, sinter fan sükrüberlerinden gelen çamur atıklar ile birleşerek sinter müdürlüğü çamur hazırlama ve kurutma ünitesine gelmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1.Sinter Müdürlüğü Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi (İsdemir, 2012)

Çamurlu suların içindeki katı maddelerin çöktildiği üç radyal iki koyultucu çöktürücü, vakum pompaları, vakum filtreleri, çamur kurutma tamburu ve çamur bunkerleri vardır.

Çamur hazırlama ve kurutma bölümünde; çamurlu suları fiziksel ve kimyasal yöntemlerle çöktüğü, arıtılmış suyu tekrar yüksek fırın işletme ve sinter işletme bölümüne geri dönüşüm endüstriyel atık su olarak gönderme ve çökelmiş çamuru kurutarak stoklama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi dört bölümden oluşmaktadır:

-Genel dağıtım kamaraları, çökeltme havuzları, radyal koyultucular, poliakrilamid bölümü ile pompa istasyonları,

-Filtre, kurutma ve gaz temizleme bölümünden oluşan susuzlaştırma ünitesi,

-Şarj bunkerleri ve boru hatları,

-Konveyör bantları.

Çamur hazırlama ve kurutma tesisine çelikhaneden $1.800 \text{ m}^3/\text{gün}$, yüksek fırından $1.300 \text{ m}^3/\text{gün}$ çamur gelmektedir. Yüksek fırın çamuru koyultucu havuzlara alınmakta, yüksek fırın şarj, sinter siklonlarından ve çelikhaneden gelen çamur yatay havuzlarda karışmaktadır (Şekil 3.2). Yatay havuzlarda çöktükten sonra kepçeli vinçle dinlendirme sahasına oradan da kurutulduktan sonra kamyonlarla atık sahasına gönderilmektedir (Anonim, 2012).



Şekil 3.2. Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi çökeltme havuzları (İsdemir, 2011)

Yatay havuzlarda çökmeyen çamur, radyal havuzlarına gönderilmekte, radyal havuzlarının çökene ise koyultucu havuzuna alınıp yüksek fırından gelen çamurla karışarak filtre katına pompalarla basılmaktadır.

Filtrede ön susuzlaştırılmaya tabi tutulan çamur yüksek fırın ve kok gazı ile ısıtılan fırının içinden geçen şutla tambura alınmak da nihai kurutmadan sonra stok sahasına pudra demir cevheri olarak gönderilmektedir (Sinter, 2008).

Cevherden başlayarak çelik üretiminin gerçekleştirildiği İsdemir gibi entegre demir çelik tesislerinde cevher hazırlama işlemlerinden haddelemeye kadar üretimin değişik aşamalarında yoğun şekilde katı atıklar ortaya çıkmaktadır.

Ortaya çıkan katı atıkların büyük miktarını cüruf, toz ve çamur tipindeki katı atıklar oluşturmaktadır.

Ancak bu terim günümüzde yeniden kullanım oranının gün geçtikçe artması nedeniyle yan ürün olarak değiştirilmiştir. Entegre demir çelik tesislerinde malzeme akışı cevher hazırlama işlemlerinden başlar.

Hammaddelerin konveyör bantlarıyla taşınması, kırma ve eleme işlemleri sonucunda büyük oranda toz ortaya çıkar.

Bu tozlar ancak nemlendirmeye azaltılır ve tamamı sinter harmanında tekrar kullanılır. Cevher hazırlamanın ardından sinter tesisinde ortaya çıkan tozlar değerlendirilir.

Ancak son yıllarda toz ve çamur atıkların kullanımı emisyon değerinin düşürülmesi nedeniyle sınırlandırılmıştır. Yağ içeren hadde tufalinin kullanımı ise sinterlemede hidrokarbon içerikli partiküller oluşturarak elektrostatik filtre aparatları üzerinde tortulaşmasıyla filtre alevleri oluşturmaktan kullanımları sınırlandırılmıştır.

Yüksek fırında baca gazının tutucu ve siklon kullanarak kuru tozsuzlaştırılması sonunda toz yıkama kuleleri kullanılarak, yağ tozsuzlaştırılmasından ise çamur ortaya çıkar (Yeniçeri, 2000).

Yüksek fırından torpidolarla çıkan ham demir kükürt giderme tesisinde soda külü, kalsiyum karbür, kireç veya magnezyum kullanılarak bünyedeki kükürdünden arındırılmakta ve bu işlem sonunda yüksek kükürt içerikli cüruf ortaya çıkmaktadır.

Kükürt gidermenin ardından oksijen konverterleriyle çelik üretiminde konverter gazının kuru tozsuzlaştırılmasından ince ve kaba toz, yağ tozsuzlaştırılmasından ise ince ve kaba çamur ortaya çıkar.

Genelde bu iki yöntem de kullanıldığından hem toz hem de çamur ortaya çıkmaktadır. Çelik üretiminde ham çelikle birlikte cüruf da ortaya çıkmaktadır. İngot ve sürekli dökümlerde atık olarak kaba tufal ortaya çıkar.

Kaba tufal sinter harmanında ve sıcak haddehane' den ortaya çıkan yağ içeren ince tufalde sinterlemede elektrostatik toz tutucu filtrelerinde yarattığı problemten dolayı sinter harmanında doğrudan kullanılamamaktadır (Philipp, 1996).

3.1. Cüruflar

Cüruf genel olarak metal üretimi sırasında metalik olmayan kalıntılardan oluşan bileşime verilen addır. Cevher gangi, yakıt külü ve metal rafinasyonu sırasında okside olan empüriteler ile flaksın kimyasal reaksiyonu sonucunda ortaya çıkar.

3.1.1 Yüksek Fırın Cürufları

Ham demir üretimi yüksek fırınlar da demirli hammadde olarak parça cevher, sinter ve pelet, indirgeyici ve yakıt olarak metalurjik kok, flaks olarak ise dolomit, çakmaktaşı ve kireçtaşı kullanılarak gerçekleştirilir.

Ham demir üretimi sonucu ortaya çıkan yüksek fırın cürufunun miktarı ve bileşimi; şarjdaki dolomit, çakmaktaşı ve kireçtaşı kullanımına, istenilen cüruf pratiğine ve kükürt giderme miktarına göre değişmektedir.

Yüksek fırın cürufunun hacmi, öncelikle demirli hammaddelerin kalitesine daha sonrada istenilen ham demir bileşimine ve kısmen de kükürt miktarına bağlıdır (Ece, 1990).

Cüruf bileşimini silika ve alümina içeren demirli bileşikler, kireç ve magnezyum, demir ve kükürt bileşikleri ve diğer bileşikler oluşturmaktadır. Yüksek fırın cürufundaki ana oksitler serbest halde olmayıp değişik yapılardaki silikatlar ve alüminatlar halindedirler.

Cürufun döküm deliğinden 1480 °C’de yüksek fırın dışına deşarj edilmesinden sonra uygulanacak soğutma ve işleme metotlarına göre havada soğutulmuş, süngerimsi ve granüle cüruf olarak adlandırılan üç değişik türde cüruf ortaya çıkmaktadır.

Havada soğutulmuş YF cürufu çıkıştaki bir çukura potayla taşınıp dökülerek soğutulmaktadır. Katılaşma atmosferik ortamda gerçekleştirilmesine rağmen hızlandırmak için su püskürtme de uygulanmaktadır. Cüruf soğuduktan sonra çukurdan kazınıp kırılarak istenen boyuta indirgenmektedir.

Kırılmış ve elenmiş havada soğutulmuş cürufun tipik yoğunluğu 1120-1360 kg/m³’dür. Doğal agregalara göre daha yüksek yüzey alanına, daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan suyu absorblama kabiliyeti ağırlıkça % 1-6 kadardır.

Süngerimsi YF cürufu belirli oranlarda su, su buharı veya gaz kullanarak ergimiş cürufun kontrollü olarak soğutulmasıyla elde edilmektedir.

Kontrollü soğutma hem çukurda hem de makina yardımıyla yapılmaktadır. Süngerimsi cüruf hem köşeli hem de yuvarlak yapıdadır.

Granüle YF cürufu, yüksek basınçlı su kullanarak ergimiş cürufun hızlıca soğutulmasıyla elde edilmektedir.

Çukur metodunda cüruf kaba taneler içermesine rağmen jet metotlarında yüksek basınçlı su ile temas eden cürufun nerdeyse tamamı damlacıklar halinde havuza düşerek ince taneler haline gelmektedir.

Cürufun bazıklığı ne kadar artarsa hidrolik özelliği ve bağlanma kabiliyeti de o derece artmaktadır (ISIJ, 1987).

3.1.2 Kükürt giderme Cürufu

Yüksek fırın'dan torpidolarla kükürt giderme tesisine taşınan ham demir bünyesindeki kükürt, kükürt giderme tesisinde çelik üretimi öncesi giderilmektedir.

Sıvı ham demirden kükürdün giderilmesinde kullanılan soda külü (Na_2CO_3), kalsiyum karbür (CaC_2), kireç ve Mg'a göre elde edilecek cüruf bileşimi değişmektedir (Ece, 1990).

3.1.3 Konverter Cürufları

Konverter cürufları CaO , FeO , SiO_2 , MgO ve MnO ve istenmeyen P_2O_5 açısından da zengindir(Şekil.3.3). Cüruf miktarını azaltmak için sıcak metaldeki Si, S, P ve kullanılan hurda miktarının arttırılması gerekmektedir (ISIJ, 1987).



Şekil.3.3. Çelikhane cürufu saha görünümü (İsdemir, 2012)

3.2. Toz Çamur ve Tufal

Metalurjik yöntemlerde toz iki değişik mekanizmayla ortaya çıkmaktadır. İlk mekanizmada, yüksek buhar basıncına sahip bileşimlerin buharlaşmasının ardından gaz sisteminde düşük sıcaklıklarda kondensasyonla toz ortaya çıkmaktadır.

Bu tür toz, kimyasal olarak ortaya çıkan toz olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal olarak tozun ortaya çıkması yöntemin sıcaklığına, kondense olan fazın bileşimine, gaz

bileşimine ve gazın soğuma hızına bağlıdır.

Şarj malzemelerinin taşınmasıyla toz ortaya çıkmaktadır ve bu tür toz, mekanik olarak ortaya çıkan toz olarak adlandırılmaktadır. Mekanik olarak tozun ortaya çıkması şarj malzemelerinin tane boyutu dağılımına, şarj sistemine ve fırın dizaynına bağlıdır.

Metalurji sektöründe ortaya çıkan tozun kontrolü:

- Kondense faza veya gaz fazına ilavelerle,
- Hava, su veya dolaylı soğutmayla uygun soğutmanın seçimiyle,
- Seçilecek sıcaklıklarda gaz temizleme tekniklerinin kombinasyonu
- Farklı zaman aralıklarında ve yöntem adımlarında ortaya çıkan tozun ayrımıyla

gerçekleştirilmektedir.

Tozun kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından toz, yaş yöntemlerle ayrıştırılmasından çamur ortaya çıkmaktadır (Bjorkman, 1996).

3.2.1 Yüksek Fırın Tozu ve Çamuru

Yüksek fırındaki toz, yararlı hammadde kaynaklarından demir oksitleri, kireci, silikatları ve karbonu içermektedir. YF gazıyla fırını terk eden toz kısmen indirgenirken oksitlenerek değişik türde bileşikler oluşturmaktadır.

Kalorifik gücü $2900-3600 \text{ kJ/m}^3$ olan YF gazının, kok kamaralarının ve slab fırınlarının ısıtılmasında, kuvvet santralinde enerji üretimi amacıyla kullanılabilmesi için tozundan arındırılması gerekmektedir. Genelde yüksek fırın da bu amaçla iki tip gaz temizleme sistemi kullanılmaktadır:

- Torbalı filtrelerle kuru ayrıştırma ve ardından siklonla yaş ayrıştırma
- Elektrostatik toz tutucularla veya venturi tipi ayrıştırıcının üstünde yüksek basınç uygulayarak yaş ayrıştırma

YF gazıyla taşınan tozun kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından YF tozu, yaş yöntemlerle arındırılmasından ise YF çamuru ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.4).

Geçmiş yıllarda genelde sinter tesisinde kullanılan toz, son yıllarda çevre kanunlarıyla emisyon değerlerinin çok düşük seviyelerde tutulmasından ve içerdiği alkali ve ağır metallerin (Zn ve Pb), YF’ da yarattığı problemlerden dolayı sinter tesislerinde kullanılamamaktadır (Ece, 1990).

Yüksek fırında gazın kuru yöntemlerle ayrıştırılmasından sonra ikincil toz ayrıştırma yaş yöntemlerle gerçekleştirilmekte ve ayrıştırma sonunda YF çamuru ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.4. İsdemir harman sahası yüksek fırın ve çelikhane kurutulmuş çamurları (İsdemir, 2009)

YF çamuru, bünyesindeki % 15-18 nemin sinter yatağının gaz geçirgenliğini azaltmasından, dehidrasyon sonucu yakıt tüketimini arttırmasından ve içerdiği alkali ve ağır metallere dolayı sinter tesislerinde kullanılamamıştır.

3.2.2 Bazik Oksijen Fırın Tozu ve Çamuru

Bazik oksijen fırınında (BOF) toz ve çamur ortaya çıkmaktadır. Gaz temizleme sistemine bağlı olarak tozun % 15-40' ı kaba toz veya çamur, % 5-10' u ikincil gaz temizleme sisteminde ve geri kalan % 50-80' lik kısım ise ince toz veya çamur olarak ayrıştırılmaktadır.

Ortaya çıkan tozun yüksek metalik demir içermesi durumunda, bu tip tozların yeniden kullanılması için kuru temizleme sistemi gerekmektedir. Toz ve çamurdaki Zn ve Pb miktarı kullanılan hürdanın bileşimine, gaz temizleme sistemine ve tozun tane boyutuna göre değişmektedir (ISIJ, 1987).

3.2.3 Hadde Tufali

Yüksek sıcaklıkta metal yüzeyinde oksidasyon ürünü olarak oluşan tabakalar hadde tufali olarak adlandırılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinde üç tip demir oksidi içeren tufal tabakası bulunmaktadır. Bunlar:

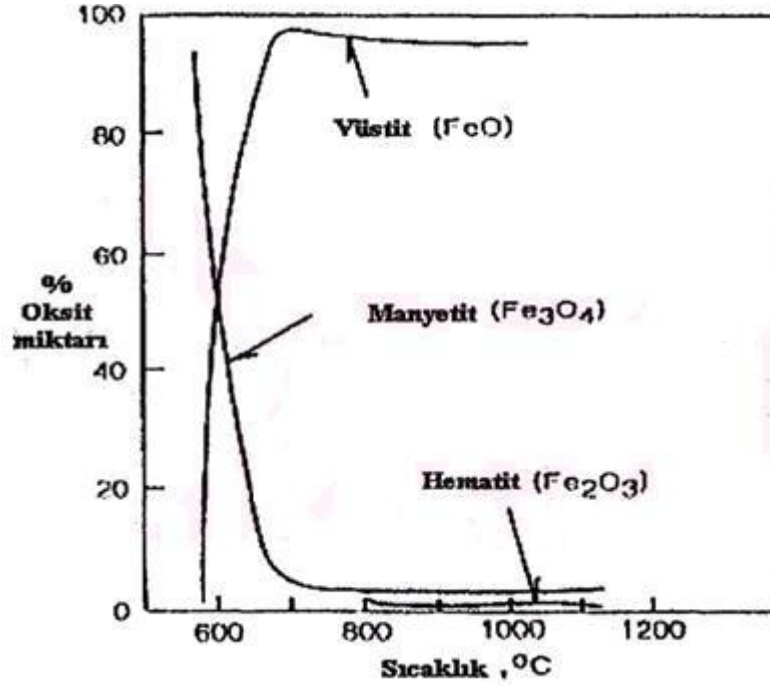
- Vüstit (FeO)
- Manyetit (Fe_3O_4)
- Hematit (Fe_2O_3) dir (Şekil 3.5).

Yukarıdaki demir oksitler aşağıdaki reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır.





Vüstit (FeO), diğer demir oksitlere göre en düşük oksijen miktarına sahiptir ve metale yakın içteki tabakayı oluşturmaktadır. Artan sıcaklıkla beraber tufaldeki miktarı artmaktadır.



Şekil 3.5. Sıcaklıkla tufaldeki FeO, Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ miktarındaki değişim(Fiat Steel Production, Chapter 27)

Çelik sıcaklığı 700 °C altına düştüğünde vüstit tufal tabakasının % 95' ini oluşturmaktadır. Vüstit diğer demir oksitlere göre 1370-1425 °C arasındaki düşük sıcaklıklarda ergimektedir.

Manyetit (Fe₃O₄), tufalin orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 500 °C altında olduğu ortamda tufal sadece manyetitten oluşmaktadır. Sıcaklığın 700 °C'ye yükselmesiyle manyetitin yerini vüstit almaya başlamaktadır ve daha yüksek sıcaklıklarda manyetit tufal tabakasının ancak % 4'ünü içermektedir (Şekil 3.6).

Hematit (Fe₂O₃), tufalin en dıştaki atmosfere açık tabakasını oluşturmakta çelik sıcaklığının 800 °C'nin altında olduğu ortamda oluşmaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda tufal tabakasının ancak % 1'ini oluşturmaktadır. Manyetite benzer olarak hematit de sert ve aşındırıcı özelliktedir.



Şekil 3.6. Erdemir hadde tufali sahası (Anonim, 2010)

Sürekli dökümde sıcak slab ve kütük yüzeyinin soğutulması sırasında ve sıcak haddehanede slab, ingot ve kütüğün yüksek sıcaklık (1100-1300 °C) ve oksitleyici ortam nedeniyle yüzeyinde oluşan hadde tufali yüzeyden yüksek basınçlı ve debili su ile temizlenmektedir (Bakar, 2005).

Sürekli döküm ve sıcak haddelemeden sonra malzemelerin yüzeyinden temizlenen tufal, hadde yağı ve temizleme suyu ile tufal çukurlarına ardından hadde yağının tufalden temizlenmesi amacıyla yıkama havuzlarına gönderilmektedir. Birinci yıkama havuzunda kaba tufal hadde yağından ayrılarak sinter tesisine gönderilmektedir. İkinci yıkama havuzunda yağ-su süspansiyonu ile taşman ince tufaller ters yıkama havuzuna verilmekte ve burada yağlı ince tufal dibe çökmektedir (Erdemir, 2012).

Ortaya çıkan kaba hadde tufalinin ve yağlı hadde tufalinin ortalama kimyasal analizleri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Kaba tufalin içerisindeki % Fe oranı zenginleştirilmeye değer ölçüde fazla bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Kaba tufalin ve yağlı hadde tufalinin ortalama kimyasal analizleri (ISIJ, 1987)

Tufal Türü	%Fe	% SiO ₂	%CaO	%MgO	%Al ₂ O ₃	%C	% Yağ
Kaba	69	0.2-2.2	0.3-0.4	0.1-0.2	0.1-0.6	0.1-0.3	0.1 -0.6
Yağlı	44	3.1-4.3	4.0-6.0	0.3-0.6	0.6-1.8	0.4-0.5	6.0-33.0

3.3. İsdemir Atıklarının Tespiti ve Değerlendirilmesi

İsdemirde 2005 yılı modernizasyon yatırımları öncesi ve 2013 yılı yatırımlar sonrası oluşan atıkların tespiti ve değerlendirilmesi ile ilgili durum aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Bu yıllar arasında İsdemirde atık miktarında ve taşınma yöntemlerinde değişiklik olmamış 2013 yılı itibariyle atık miktarında çok büyük artış meydana gelmiştir.

Tüm işletmenin mevcut kapasitesi ile çıkan atık miktarı 2005 yılında 110.000 ton/yıl civarındadır. Toplam atığın % 35-40'nın çinko oranı yüksektir. 2005 yılında üretim yaklaşık 2.100.000 Ton Ham Çelik (THÇ) olmuştur. Buna göre THÇ üretimine karşılık çıkan spesifik atık miktarı 2.100.000 THÇ/110.100 ton atık olmakta, ton başına 52.4 kg atığa denk gelmektedir.

Çizelge 3.2.'de gösterilen ve birinci ve ikinci sıralarda yer alan sinter fabrikası 170, 159, 168, 184, 176 nolu ünitelerinin ve YF şarj tesislerinin tozları sulu olarak 171 nolu yatay çökeltme havuzuna gelmekte, havuzda çökenler kepçe ile alınıp kurumaya bırakılmakta ve daha sonra sinter hammaddesi olarak değerlendirilmek üzere kamyonlarla 130 stok sahasına gönderilmektedir. 25.000 ton/yıl atık 2005 yılı içerisinde stok yapılmıştır (İsdemir, 2006).

Yatay çökeltmenin üst akımı olan çökelmeyen çamurlu su çamur tesislerine pompalanmaktadır. Sırası ile radyal çökeltmede olan çamur, koyultucuda yüksek fırın ve çelikhane gaz temizlemeden gelen çamurlarla karışmakta, vakum filtre ve kurutma tamburlarından geçmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi filtreleri (İsdemir, 2010)

Üçüncü ve dördüncü sırada yer alan çelikhane ve yüksek fırın gaz temizleme çamurları ünitelerinde ilk çökeltme yapıldıktan sonra üst akım suyu tekrar gaz temizlemelerde kullanılmakta, alttan alınan koyulaşmış malzeme sinter çamur tesislerine pompalanmaktadır.

Pompalanan çamur, 171 nolu yatay çökeltmeden gelen çamurla koyultucuda birleşmekte, vakum filtre ve kurutma tamburlarından geçen çamur çelikhane kaynaklı çinko içerdiği için stoklanarak satılmaktadır. 47.000 ton/yıl atık 2005 yılı içerisinde stoklanmış ve bir bölümü satılmıştır. Çinkonun geldiği çelikhane çamurunun kurutucudan çıkan miktarının 30.000 ton/yıl olduğu kabul edilmektedir (Şekil 3.8).

Beşinci sırada yer alan YF baca tozu, YF gaz temizlemeden önce kuru olarak tutulmakta ve silolardan vagonlarla alınıp sinterde kullanılmak üzere vagon boşaltma kanalıyla 130 stok sahasına taşınmaktadır. 16.000 ton/yıl atık 2005 yılı içerisinde stoklanmıştır.

Altı, yedi ve sekizinci sıralarda yer alan ikincil toz toplamadan çıkan tozlar ve tufal, kamyonlarla sinter sahalarına taşınarak değerlendirilmektedir. 22.100 ton/yıl atık 2005 yılı içerisinde stoklanmıştır (Çizelge 3.2).



Şekil 3.8. İsdemir Çamur hazırlama ve kurutma ünitesi kurutma sahası (İsdemir, 2011)

Çizelge 3.2. İsdemir 2005 yılı atık tespit ve taşıma yerleri (İsdemir, 2006)

Ünite		Kaynak	Tutulma	Taşıma (Sinter)	İçerik	Bulunduğu Yer	Miktar Ton/Yıl (Kuru Baz)
1	Sinter	Sinter Fab. Tozsuzlaştırma	Sulu ve Kuru Karışık	Sulu Çamur	Zn:%0 Fe:%45 C:%40	171 Nolu Çamur Çökeltme-130 Stok Sahası-147 Harman Sahası-Harman- Sinter	25.000
2	Yüksek Fırın	Şarj Tesisleri Tozsuzlaştırma	3.YF Kuru, 1. Ve 2. YF Sulu				
3	Yüksek Fırın	Gaz Temizleme	Sulu		Zn:%1,5 Fe:%25	Çökeltme-Çamur Kurutma-(Yüksek Çinkolu: Çimento Fabrikalarına Satılmaktadır.)	47.000
4	Çelikhane	Gaz Temizleme	Sulu				
5	Yüksek Fırın	Baca Tozu	Kuru	Kuru Toz	Zn:%0,5 Fe:%30 C:%33	130 Stok Sahası-147 Harman Sahası- Harman-Sinter	16.000
6	İkincil Tozsuzlaştırma	Desilatör ve Sürekli Döküm (Torbalı Filtre)	Kuru			130 Stok Sahası-147 Harman Sahası- Harman-Sinter	7.300
7	Kireç Fabrikası	Kireç Tozu	Kuru			147 Harman- Sinter	2.800
8	Sürekli Dökümler ve Haddehane	Tufal				130 Stok Sahası-147 Harman Sahası- Harman-Sinter	12.000
Toplam			110.000 Ton/Yıl				

İsdemir üretimi 2013 yılında 5.000.000 THÇ/yıl seviyelerine ulaşmış olup yıllık bazda 288.000 ton/yıl atık olacağı öngörülmektedir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. İsdemir 2013 itibariyle toplam atık miktarı ve taşınma yerleri (İsdemir, 2010)

Ünite			Tutulma	Taşıma (Sintere)	Öngörülen İçerik	Miktar Ton/Yıl (Kuru Baz)	
1	Sinter	Sinter Fab. Tozsuzlaştırma	Sulu ve Kuru Karışık	Sulu	Zn:%0 Fe:%45 C:%40	60.000	
2	Yüksek Fırın	Şarj Tesisleri Tozsuzlaştırma	3.YF Kuru, 1. Ve 2. YF Sulu	Sulu			
3	Yüksek Fırın	Gaz Temizleme	Sulu	Sulu	Zn:%1,5 Fe:%25	120.000	20-30 000
4	Çelikhane	Gaz Temizleme	Sulu	Sulu	Zn:%1,5-3,0 Fe:%53		90.000
5	Yüksek Fırın	Baca Tozu	Kuru	Kuru	Zn:%0,5 Fe:%30 C:%33	40.000	
6	İkincil Tozsuzlaştırma	Çelikhane, Sürekli Dökümler, Yüksek Fırınlara Döküm Holü, Pota Fırını (Torbalı Filtre)	Kuru	Kuru		31.000	
7	Kireç Fabrikası	Kireç Tozu	Kuru	Kuru		7.000	
8	Sürekli Dökümler ve Sıcak Haddehane	Tufal				30.000	
Toplam			288.000 Ton/Yıl				

Birinci sırada yer alan sinter fabrikası tozsuzlaştırmaları sulu toz toplama olduğu için sulu taşınmaya devam edilmesi öngörülmektedir.

İkinci sırada yer alan yüksek fırın şarj tesisleri tozsuzlaştırmalarından çıkan atıkların sulandırılıp taşınmaları yerine silo baslarla kuru olarak taşınması önerilir.

Üçüncü ve dördüncü sıralarda yer alan gaz temizleme atıkları sulu tip olduğu için sulu taşımaya devam edilecektir.

Beşinci ve altıncı sıralarda yer alan baca tozu ve ikincil toz toplamalardan çıkan atıkların silobasla kuru taşınacağı öngörülmüştür.

Yedinci ve sekizinci sıralarda yer alan atıkların kamyonlarla taşınmasına devam edileceği öngörülmüştür (İsdemir, 2010).

Günümüzde oluşacak atıkların değerlendirilmesi kapsamında Çizelge' 3.3. de belirtilen ve birinci sırada yer alan sinter fabrikası 170, 159, 168, 184, 176 nolu ünitelerin tozları sulu olarak yatay çökeltme havuzuna gelmeye devam edecektir.

Havuzda çökenler kepçe ile alınıp sinter hammaddesi olarak değerlendirilmek üzere kamyonlarla stok sahasına gönderilmeye devam edilecektir. Yatay çökeltmenin üst akımı çamur tesislerine pompalanacaktır.

İkinci sırada yer alan YF şarj tesislerinin kuru tutulan tozları kuru olarak taşınıp sinter fabrikası birincil mikser öncesi harmana katılmak için silolarda toplanacaktır.

Üçüncü sırada yer alan YF gaz temizleme çamurları mevcut durumda olduğu gibi ünitesinde ilk çökeltme yapıldıktan sonra üst suyu tekrar sukruberlerde kullanılacak, alttan alınan koyulaşmış çamur sinter çamur tesislerine pompalanacaktır.

Pompalanan çamur yatay çökeltmeden gelen çamurla koyultucuda birleşecek, vakum filtre ve kurutma tamburlarından geçen çamur mevcut konveyörle sinter harman sahasına aktarılacaktır.

Dördüncü sırada yer alan çelikhane gaz temizlemeden gelen ve çinkonun kaynağı olan çelikhane çamurunun yıllık miktarının 90.000-100.000 ton olacağı öngörülmüştür.

Beşinci sırada yer alan YF baca tozu vagonlarla vagon boşaltmaya, oradan sinterde kullanılmak üzere stok sahasına gönderilecektir.

Altıncı sırada yer alan ikincil toz toplamadan çıkan tozların konteynırlar ile sinter sahalarına taşınması öngörülmüştür. Sinter sahalarında konteynırlarla gelen tozların açık sahada boşaltılması ve rüzgardan uçması sorunu söz konusudur.

Bunun için sinter 171 ünite de atıl olarak bekleyen çamur silolarının kullanılması, silo çıkışlarına vidalı boşaltıcı eklenmesi ve vidalı boşaltıcıda tozun uçmayacak kadar nemlendirilerek mikser öncesinde mikserleri besleyen nc-1 ve nc-2 konveyörleri üzerine aktarılarak sinter harmanına katılması öngörülmüştür.

Yedinci sırada yer alan kireç fabrikası toz toplamadan çıkan tozların sinter harmanında değerlendirilmesine devam edilecektir.

Sekizinci sırada yer alan tufallerin bu günkü hali ile sinterde kullanımına devam edilecektir (İsdemir, 2010).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Entegre Demir ve Çelik Tesislerinde Oluşan Çamurdaki Çinkonun Ayırıştırma Çalışması

İsdemir genelinde çelikhane konvertörlerinde galvanizli hurda kullanımına bağlı olarak çelikhane gaz temizlemeden gelen çamurlu sularda çinko miktarının fazla olması (ort.%1,55) ve bazı durumlarda %3–4 gibi değerlere çıkıyor olması sinter harmanına giren çinkonun artmasına neden olmaktadır.

Bu yüksek çinkolu çamurun sistemde değerlendirilemeyişi çevre kirliliğiyle birlikte % 50–55 Fe tenörlü cevherin kullanılmamasına da neden olmaktadır. Halen çamurun kurutulmasıyla elde edilen şlam, yüksek Zn içeriği sebebiyle sinter harmanına ilave edilememekte, harman sahasında ayrı bir bölüme istif edilmektedir. Çamurun içerikleri, kullanım yeri ve kısıtları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Belirli dönemlerde çimento sektörüne satılmış olan ürün tenörlü cevher olarak kabul edilmekle birlikte, günde 200–220 tonluk bir miktarda üretilen malzeme kullanılamamakta, stoklamada problem teşkil etmektedir.

İşletmede kapasite artırma çalışmaları tamamlanmış olup, oluşan çamur miktarı da iki kat artmıştır. Mevcut atık düzenli satılamaz yada değerlendirilemezse stoklama sorunu başlayacaktır.

Çizelge 4.1. Çamurun içerikleri, kullanım yeri ve kısıtları

Yüksek Fırın Çamuru						
Empürite(%)	Fe	Al ₂ O ₃	Zn	K ₂ O	Na ₂ O	SiO2
İçerik (%)	31,03	2,67	1,79	0,38	0,47	7,78
Kullanım Yeri	Stoklanmaktadır.					
Kısıtlar	Boyut, Kimyasal içerik, nem					
Çelikhane Çamuru						
Empürite(%)	Fe	Al ₂ O ₃	Zn	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂
İçerik (%)	55,38	0,22	1,55	0,14	0,15	1,72
Kullanım Yeri	Stoklanmaktadır.					

Entegre demir çelik tesislerinde yüksek fırın ve çelikhane prosesinde atık malzemeler içerisindeki Zn büyük sorunlara neden olmuştur. Yüksek fırın prosesinde hava kanalları tıkanmalarına yol açmaktadır. Ayrıca çelikhane prosesinde ise uzun zamanlı kullanımda konvertörün astarında tabakalar halinde oluşumlara neden olmaktadır. İsdemir’de atıklar çamur hazırlama ve kurutma tesisinde kurutulmaktadır. Bununla birlikte çelikhane çamuru susuzlaştırmakta tesisi atıkların konvertöre geri dönüşümü için kurulmuştur.

4.1.1. Çinkonun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi

Çelikhane ve yüksek fırın çamurları demir içeriklerinden dolayı değer taşımalarına rağmen, yüksek çinko içerikleri nedeniyle yüksek fırın prosesini etkilemekte ve çok ince taneli olmalarından dolayı geri kazanımları kolay olmamaktadır. Bunların doğrudan sinter yada yüksek fırınlarda kullanımları mümkün değildir.

Yüksek fırınlara şarj edilen malzemenin içerisindeki çinko, sıvı ham demir ve cürufa geçmez. Çinko bileşikleri yüksek fırının alt kısımlarında indirgenerek gaz ile birlikte küçük çinko veya çinko oksit parçaları halinde uçar. Yüksek fırın içinde gaz halinde uçuşan çinko parçacıkları, fırının üst cidarlarında kalın çinko oksit tabakaları oluştururlar.



ZnO, fırının üst cidarlarında tabakalaşma yapacağı gibi, yüksek fırın refrakteri içindeki alümina ile reaksiyona girerek tuğlaların parçalanmasına, skafold (fırın duvarlarına yapışarak katılan iskeletimsi yapılar) oluşumuna neden olmaktadır.

Buna bağlı olarak malzemenin inişini engelleyip askılanmaya yol açmakta, yüksek fırında hacim daralmasına ve sonuç olarak hem üretim kaybına hem de yakıt oranlarının artmasına yol açmaktadır.

Çinkonun mevcudiyeti yüksek fırın içerisinde fayalit (Fe_2SiO_4) oluşmasına neden olur. Fayalit yüksek fırında indirgenmesi zor ve üretim kayıpları meydana getiren bir bileşiktir. FeO, buharda tuğlalarda çatlaklar meydana getiren katalizör görevi yapar.

Karbon yardımıyla tuğlalarda açılan çatlaklara alkaliler ve ZnO’ler dolarak tuğlaların yumuşama sıcaklıklarını düşürür ve daha sonra tuğlalarda hacim genişlemesi olur ve tuğlalar parçalanır. Şarj malzeme içindeki Zn ortamdaki alkaliler ile müşterek hareket ederek tuğlalar üzerindeki zararlı etkilerini artırır.

Geri kazanımı sağlanamayan Zn içerikli atıkların depolanma maliyetleri ise gün geçtikçe artmakta, fabrika sınırları içinde depolama maliyetleri ton atık başına 7-10\$' ı bulmakta, yeterli alana sahip olmayan tesislerde ise bu maliyetler 20\$' a kadar yükselmekte tehlikeli atıklar için ise bu maliyet 100–150\$' a kadar çıkmaktadır.

Yüksek fırın işletmesindeki bu olumsuz etkisinden dolayı şarj malzemelerin içerisinde fırına giren çinkonun miktarı 0,180 kg/ton sıvı metal' in altında tutulmalıdır.

Şarj malzemeleri ile fırına giren Zn'nun yaklaşık % 70' i sinter ile girmekte, bu nedenle sinterdeki Zn kontrolü büyük önem taşımaktadır.

4.2. Çinkonun Ayrıştırılması Çözüm Önerileri ve Yöntemleri

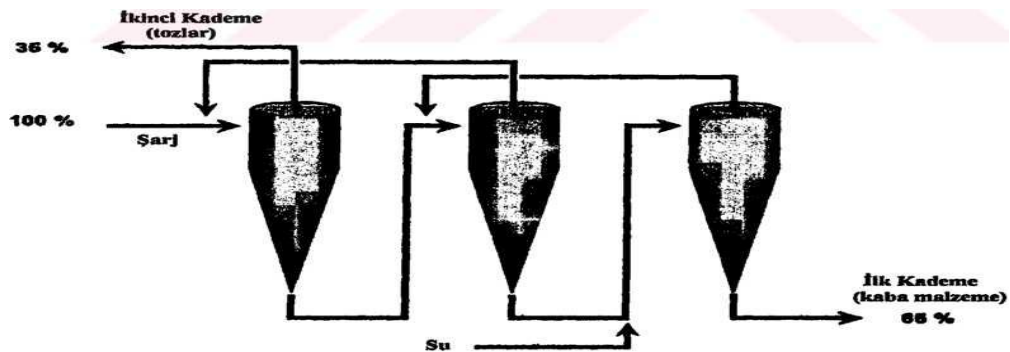
Yapılan araştırmalarda entegre demir çelik tesislerinde nihai üretim süreçleri içerisinde oluşan ve stoklanan, yüksek fırın, çelikhane çamurları ve tüm toz toplama sistemlerinden çıkan Zn içerikli atıkların kazanımları dört grup altında toplanabileceği görülmüştür. Bunlar:

1. Hidrosiklon
2. Aglomerasyon
3. Hidrometalurji
4. Pirometalurji yöntemleridir.

Bu yöntemlerle işlem gören atıklar sinter fabrikalarına, yüksek fırınlara, çelikhane konvertörlerine ve ark ocaklarına şarj edilerek geri dönüşümü sağlanmaktadır.

4.2.1. Hidrosiklon Ayırma Yöntemi:

Hidrosiklon ile ayırma yöntemi günümüzde özellikle çinko içeriği yüksek olan çamurlara uygulanmaktadır. Düşük çinko yüzdesine sahip iri taneler hidrosiklonun altında toplanmakta, yüksek çinkolu çok ince taneler ise siklonun üstünden ayrılmaktadır. Yüksek fırın çamurunun hidrosiklonda işlenmesi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yüksek fırın çamurunun hidrosiklonda işlenmesi

Elde edilen ürün sinter fabrikalarında ya da briket hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem Japonya'da Kawasaki Steel'de ve İngiltere'de Corus'un Scunthorpe Works tesislerinde başarıyla uygulanarak 20.000 ton/yıl yüksek fırın çamuru geri kazanılmaktadır. Ancak geride kalan yüksek çinkolu çamur ise sorun olmaya devam etmektedir.

İsdemir'de yüksek fırın ve çelikhane gaz temizleme ünitelerinden gelen çamur malzemesi üzerinde yapılan hidrosiklon denemelerinde, tane fraksiyonu ile Fe ve Zn tenör ve içerik dağılımına baktığımızda çinkonun % 47.17'lik kısmının -38 µm altında olduğu görülmüştür.

Bu tane sınıfında Fe'nin %19.99'u ve Zn'nin %55.96'sının bulunduğu, çok ince boyutta olduğundan dolayı yoğunluğa dayalı yöntemler ile zenginleştirilmesinin zor olduğu görülmektedir. Aşağıdaki çizelgede çamurdaki Zn ve Fe tenör ve dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Çamurdaki Zn ve Fe tenör ve dağılımı

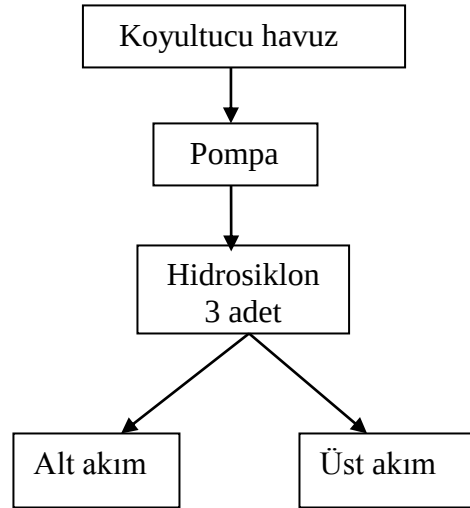
Tane Fraksiyonu	% Ağ.	Tenör		İçerik Dağılımı	
		%Fe	%Zn	%Fe	%Zn
106	41.10	49.04	1.46	39.37	35.23
-106+75	5.28	47.38	1.32	4.89	4.11
-75+53	2.54	44.40	1.03	2.21	1.53
-53+45	2.54	46.61	1.46	2.32	2.18
-45+38	1.37	45.82	1.23	1.23	0.99
-38	47.17	54.26	2.02	49.99	55.96

Ayrıca, Fe ile Zn tenörlerinin birbirleri ile paralel şekilde tane fraksiyon dağılımında değiştiği ve birbiri ile kenetli bir şekilde bulunduğu görülmüştür. Yapılan hidrosiklon test çalışmaları neticesinde, çamurdaki çinko miktarı azaltılırken, çinko ile beraber demirin de azaldığı görülmüştür. Hidrosiklon deneme sonuçları ve akım şeması aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Hidrosiklon yöntemi ile çamurdaki çinkonun kazanılmasına çalışılmış fakat istenilen sonuçlar alınamamıştır.

Çizelge 4.3. Hidrosiklon deneme sonuçları

Apex mm	Basınç	Debi	Giriş		Alt Akım		Üst Akım	
	(M3/h)	(bar)	%Fe	%Zn	%Fe	%Zn	%Fe	%Zn
22	30	0,6	49,30	1,28	47,67	1,01	48,13	1,49
	30	2	53,29	1,47	52,28	0,93	54,35	1,56
	41	0,4	52,20	1,56	48,33	1,10	52,56	1,74
	43	0,4	51,42	1,77	48,74	0,92	52,88	1,96
	41	0,4	54,23	1,59	49,60	0,86	53,12	1,92
	48	0,6	48,16	1,12	46,30	0,81	49,14	1,82
17	60	0,5	48,64	2,22	44,73	1,29	50,40	2,33
	50	1	44,55	0,92	45,00	1,10	45,41	1,09
	57	1	45,84	0,63	52,14	0,48	45,37	1,60



Şekil 4.2. Hidrosiklon deneme akım şeması

4.2.2. Aglomerasyon Yöntemi

Aglomerasyon ise yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta briketleme ve peletleme işlemlerini kapsar. Çamur tozu, kömür ve bağlayıcılar ile birlikte orantılı bir şekilde yüksek yoğunluklu karıştırıcıyı besleyen taşıyıcı bantlara aktarılır. Karıştırıcı soğuk briketleme öncesi ham malzemenin tam karışımını sağlayacaktır.

Karıştırıcıdan çıkan ham malzeme karışımı briketlemeye gönderilirken, fazla malzeme ise karıştırıcı ünitesi beslemesi için geri gönderilir.

Briketleme ünitesinde karışım preslerde sıkıştırılarak briketler oluşturulur ve briketleme sonrası istenilen boyutun altında olanlar karıştırıcıya geri gönderilir.

Bu yöntemle elde edilen ürünlerde yüksek fırın ve konvertöre şarj açısından istenen fiziksel özellikler sağlanabilmekte ancak kimyasal açıdan herhangi bir işlem yapılmadığından yüksek çinko ve alkali sorun olmaya devam etmektedir.

Briketleme yöntemi tüm dünyada yoğun olarak kullanılmakta, yüksek çinko içerikli toz ve çamurlardan yapılan briketler konvertör ya da ark ocaklarına, düşük çinkolu olanlardan yapılan briketler ise yüksek fırınlara beslenmektedir.

Ancak kullanıldıkları yerlerde proses veriminin düşmesine, özellikle de yüksek fırınlarda daha büyük sorunlara yol açabilmektedirler. En uygun kullanım alanları ise konvertörler ve ark ocaklarıdır.

4.2.3. Hidrometalurji Yöntemleri

Hidrometalurji yönteminde, sülfür bileşimli konsantre ya kuvvetli sulu çözücü ortam temin edilmek suretiyle doğrudan çözeltir veya önce kavurmak suretiyle asidik ortamda kolay çözünür yapıya dönüştürülür ve sonra çözeltir.

Çinko için iki değişik liç yöntemi vardır. Bunlar sürekli yöntem ve kesikli yöntemdir. Bunlardan en çok iki veya üç kademedeki uygulanan kesikli yöntemler yaygındır. Bu yöntemlerde -325 mesh seviyesinde öğütülen kalsine, havalı karıştırma yapan korozyona dayanıklı tanklarda liç edilir.

Çözeltiye geçen çinko, her iki hidro yöntemle de elektroliz ile kazanılır. Gerek pirometalurjik yoldan gerekse hidrometalurjik yoldan çinkonun kazanılabilmesi için, öncelikle bileşimin oksit hale dönüştürülmesi gerekmektedir.



Meydana gelen ZnO bileşiğinden pirometalurjik yöntemle çinko üretilecekse karbonla redükleme,



işlemi yapılır. Hidrometalurjik yöntemle çinko üretilecekse sülfürik asitli sulu ortamda çözeltme işlemi yapılır.



Hidrometalurji yönteminde çözücü ile ayırma işlemleri yapılmakta ancak çok başarılı olmadığından fazla yaygınlaşamamıştır. Çinko ile birlikte ekonomik oranda

kurşun, bakır, gümüş gibi elementleri de içeren kompleks malzemeler için hidrometalurjik yöntemler daha çekici hale gelmiştir.

Çinko geri kazanımını sağlayan liç teknolojisi alternatiflerinden bir tanesi Waelz teknolojisidir. Bu teknolojiye, çinko içerikli malzemeyi ısıtmak için içinden sıcak gaz geçen döner fırın kullanılmaktadır. 1100 °C' nin üstünde bir sıcaklıkta metal oksitler indirgenerek çinko ve kursunun atmosfere karışması sağlanır.

Çinko oksit ve kursun oksit elde etmek için prosese hava verilerek gaz ortamında metal buharlarının oksitlenmesi sağlanır. Daha sonra oksit karışımı gaz temizleme sisteminde ayrıştırılmak üzere gazlarla birlikte fırından çekilir.

Gaz çıkış derecesi 650–750 °C' dir. İlk aşamada, iri taneli parçacıklar toz odasında çökelir. Bu kısım doğrudan giriş kısmına geri döndürülür.

Bir sonraki aşamada sıcak işlem gazları soğutulur. Ürünün ilk kısmı gaz soğutma aşamasında geri kazanılsada oksitlerin büyük çoğunluğu gaz çıkışından torba filtreleri içinde filtrelendir. Temiz gazın içerisindeki gaz oranı 10 mg/Nm³'den azdır.

Arıtılmış gazlar baca içerisinden tüm sistemdeki saklama koşullarını kontrol etmek amacıyla bir fan aracılığıyla çıkarılır. Toplanan katılar çinko geri kazanımı için liç düzeneğine aktarılır.

Seyreltilmiş sülfürik asit liç düzeneğine aktarılarak yoğunlaştırma ve filtreleme işlemlerinden geçirilir. Filtrelenmiş çözelti geleneksel çinko tozu çökelimi yöntemiyle arıtılır. Çinko metali elektro kazanım yoluyla geri kazanılır ve katotlar eritilerek ulusal ve uluslararası satış için külçeler halinde hazırlanır.

4.2.4. Pirometalurjik Yöntemler

Pirometalurji yöntemi ise indirgeme esasına dayanmaktadır. Piro esaslı üretimde çamur malzemesi kavurma ile oksit yapıya dönüştürülmesi gerekir. Çinko oksit sonra retort veya düşey fırında, kömürle metalik çinkoya indirgenir.

Atık toz ve çamurlar harmanlanarak kurutulmakta peletlenerek, briketlenerek ya da doğrudan toz olarak döner fırınlara beslenmektedir. Bu fırınlarda redüklenerek istenmeyen empüriteler yapıdan uzaklaştırılmakta ve sonuçta indirgenmiş ürün elde edilerek sinter, yüksek fırın, konvertör ya da ark ocaklarında sorunsuz kullanılabilir.

Pelet yapımı esnasında kireç ya da dolomit kullanılarak kükürt giderimi de yapılabilmektedir. Metalizasyon oranı %90'lara ulaşabilmekte olup % 70 metalik demir sağlanabilmektedir.

Çinko oksit karbonla aşağıdaki reaksiyona göre redüklenmektedir.



Yukarıdaki reaksiyon sonunda teşekkül eden karbonmonoksit ile de redükleme devam etmektedir.



Çinko oksitin CO tarafından redüklenmesi 700 °C'de fark edilecek şekilde olmasına rağmen, istenen reaksiyon hızına ancak 1100' °C de erişilir. Meydana gelen CO₂, yüksek sıcaklıklarda ortamdaki fazla karbonla CO oluşturma eğilimi göstermektedir.



Düşey retort yönteminde çinko kazanma verimi % 96'ya çıkarılabilmektedir. Yatay retort yöntemine göre hem çinko kazanma verimi yüksek, hem de yakıt ve işçilik masrafları daha azdır.

Değişik isimler altında metalurjik pek çok teknoloji mevcut olup atıkların sorunsuz kazanım için metalurjik yöntemler nihai çözümdür. Ancak gerek yatırım gerekse işletme maliyetlerinin yüksek oluşundan dolayı yaygınlaşmamaktadır.

Demir çelik tesisleri en ekonomik yollarla atıklarını azami ölçüde geri kazanabilmekte olup, yüksek çinko oranlı kazanamayacakları atıklar için indirgeme yöntemlerini kullanmışlardır.

İndirgeme işleminin yapıldığı fırınlar şekilsel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlar döner yatay fırın ve döner dairesel fırındır. İlk geliştirilen ve uzun yıllar kullanılan şekil döner yatay fırın olup, teknolojinin geldiği son aşama ise döner dairesel fırın şeklindedir.

Döner Tabanlı Ocak (DTO) besleme sistemi briketleri döner taban üzerine tek sıralı olarak yerleştiren, düzenleyen ve seviyelendiren bir sistemdir. Redüksiyon operasyonunun başarısı büyük oranda bu donanımın etkili çalışmasına bağlıdır. Döner taban üzerinde briketlerin homojen ve sürekli dizilimi fasmelt teknolojisinin verimliliği için anahtar teknolojidir. Aşağıdaki şekilde Döner Dairesel Fırın (DDF) akım şeması gösterilmiştir.

Proses sonucunda elde edilen demir, doğrudan redükte edilmiş demir olarak tanımlanmaktadır. Formüllerdeki karbon kaynağı kömürdür. Yüksek sıcaklıkta çinko, kurşun ve diğer metaller önce redüklenerek metal fazına ve metal olarak gaz fazına geçecektir.

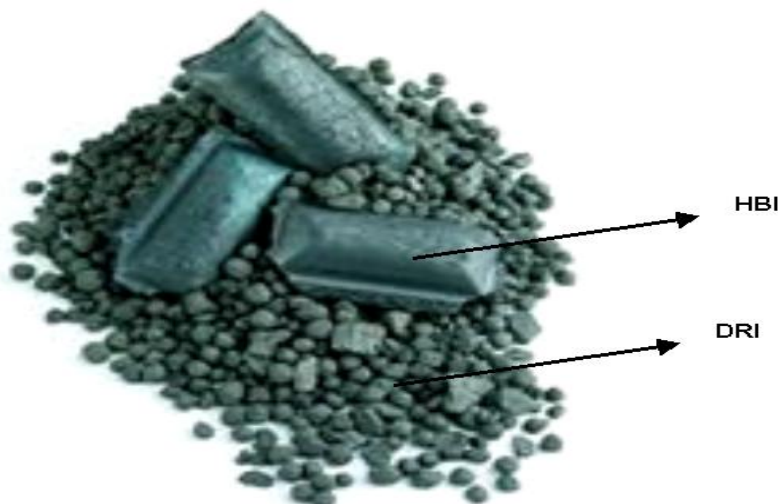
DTO'nun boşaltımı işleminde ise demiri redükte edilmiş ve metalleri alınmış briketler sistemden spiral boşaltım yapısı kullanılarak çıkarılacaktır. Fe_2O_3 ve Fe_3O_4 'ün indirgendiği briketler için iki opsiyon bulunmaktadır.

Bunlar; DTO'dan çıkartılan yüksek metal içerikli DRD briketleri grafit elektrotlu elektrik fırına aktarılır ve bu fırında 5.000 ton/yıl kireç ve 1.500 ton/yıl kömür ile karıştırılarak eritilir. Fırın içerisinde oluşan gazlar DTO' a geri verilerek kapalı devre üretim sağlanır.

Bu proses sonucunda ürün olarak çelik sanayisinde kullanılacak pik demir, atık olarak cüruf elde edilir. Ürünler demir çelik endüstrisine satılabilecektir. Yaklaşık 55.000 ton/yıl pik demir elde edilebilecektir.

Yılda yaklaşık 49.000 ton cüruf belirlenecek bir alanda depolanacaktır. Cüruf inert atık olacaktır.

DTO'dan elde edilen DRD, yüksek fırınları kullanan entegre demir-çelik endüstrisine satılabilecek kalitededir. Satılma opsiyonun gerçekleşmesi durumunda elektrikli eritme fırını kullanılmayacaktır. Aşağıdaki şekilde direk redüklenmiş demir (DRD) ve sıcak biriket demir (HBI) gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Direk redüklenmiş demir (DRD) ve Sıcak biriket demir (HBI)

Eğer DRD satılırsa DTO' dan briketler, briket soğutma birimine aktarılır. Burada briketler sıkıştırılarak hava ve oksijenin briket içine sızarak demiri tekrar oksitlemesi engellenecektir. Soğutulan briketler ürün deposuna radyal taşıyıcılar aracılığı ile aktarılacaktır. Buradan da potansiyel alıcılara taşınabilecektir.

Gerek briketlemede gerekse peletlemede geliştirilecek konular içinde ucuz bağlayıcıların araştırılması gelmektedir. Bağlayıcı olarak kullanılan hammaddeler bentonit, melastır. Fırınlarda ise yakıt olarak kömür, doğal gaz, kok gazı, katran ve atık yağlar kullanılabilir. Fırınlarda ise yakıt olarak kömür, doğal gaz, kok gazı, katran ve atık yağlar kullanılabilir.

DTO teknolojisi Japonya'da iki ayrı çelik tesisinde kullanılan bir teknolojidir. Bu tesisler 1995 ve 2000 tarihlerinden bu yana çalıştırılan Kakogawa steel ve Nippon steel üretim tesisleridir. Nippon steel Döner Tabanlı Ocak (DTO) Fastmet teknolojisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Fasmelt prosesi ise toz kömürü redükleyici olarak kullanıp, EAOT ve demir-çelik fabrikalarından kaynaklanan tufali karıştırarak önce DRD ile çinko oksit elde edecek ve daha sonra elektrik ocağı ile DRD eritilerek pik demir üretecek bir prosestir.



Şekil 4.6. Nippon Steel Döner Tabanlı Ocak (DTO) Fastmet teknolojisi

Bu işlem sırasında oluşacak çinkonun çinko oksit, demirin ise pik demir olarak kazanımı hedeflenmektedir. Uygulanacak Fasmelt projesi ile 1.290 °C sıcaklık altında redükte edilen demirden pik demir elde edilirken, bu sıcaklıkta buharlaşan çinko ve kurşunun soğurken oksitlenmesi sonucu oluşacak tozların torba filtrede tutulup toplanması ile çinko oksit elde edilmektedir.

Önerilen proses sonucu inert olan cüruf katı atık olarak elde edilirken, proses den sıvı atık meydana gelmemektedir. Yanma ortamının düzenlenmesi ile SO_x, NO_x, dioksin gazlarının çıkışı sürekli kontrol altına alınacaktır.

Bu tesiste, 5.000 ton kireç kullanılacaktır. Tesiste gerçekleştirilecek üretim ise yaklaşık 55.000 ton /yıl pik demir ve 80.000 ton/yıl çinko oksit şeklindedir. Ayrıca 49.000 ton/yıl cüruf elde edilecektir. Böylece prostesten toplam çıktı miktarı yaklaşık 184.000 ton/yıl'dır. Aradaki fark kömürün yanmasından ve indirgemenin dolaylı olarak karbondioksit ve su buharını içermektedir.

4.2.5. Primus Teknolojisi

Bu teknoloji fasmelt teknolojisinde olduğu gibi toz kömürü redükleyici olarak kullanmakda, EAOT ve tufali karıştırarak DRD ile çinko oksit elde edecek sonrasında elektrik ocağı ile DRD eritilerek pik demir üretecek bir prostestir. Fasmelt prosesinden farkı üst üste oturtulmuş döner fırın içermesidir.

4.3. İsdemir'de Çelikhane ve Yüksek Fırın Çamurun'dan Çinkonun Uzaklaştırılması için Deneysel Çalışmalar

Yapılan literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ışığında sodyum hidroksit (NaOH), çinko oksit (ZnO) ve kurşun oksit (PbO) yapısının çözülmesini sağlayarak sıvıya geçmesine neden olurken, demir ve karbonun formunu koruyup çözeltiye geçmediği görülmüştür.

Bu sayede yüksek verim ile ayrıştırma sağlanması için deneylerde 1 birim çamura karşılık 10 birim NaOH çözeltisi ile çalışılmasına karar verilmiştir. 1/10 oranında karışımın 80 °C'de belli bir sürede karıştırılması ve bu sayede iyonlaştırılan elementlerin uzaklaştırılması için işlemi olarak adlandırılmıştır.

Çinkonun çözelti edilmesinde kullanılan kostik (NaOH) çözeltisinin verimini etkileyen faktörlerden biri de çözeltide klor (Cl⁻) iyonları varlığıdır.

Klor iyonu su ile kolaylıkla uzaklaştırılabileceği için deneyin ilk adımı olarak klor içermeyen (deiyonize) su ile oda sıcaklığında yarım saat, 200 rpm hızda karıştırarak (NaCl₂, KCl₂) çamurdan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Yaklaşık 15 dakika dinlendirme ardından dipte kalan malzeme çözelti işlemine tabi tutuldu.

Çözelti işleminde kostik çözeltisinin konsantrasyonunun ve sürenin optimize edilmesi için 4-10 molar arasındaki çözelti ile 15 dakika ile 4 saat arasındaki farklı sürelerde

aynı özellikteki İsdemir’den alınan çamur numuneleri üzerinde çalışıldı. 6M NaOH ile iki saat 80 °C’de liç edilmesi en uygun koşul olarak belirlenmiştir.

İleri yıkama ne kadar iyi olursa hem çözünmüş empüritelerin uzaklaşma verimi artacak hem de sodyumun ilave bir iyon etkisi olarak karışımda yer almasının önüne geçilmiş olacaktır.

Yüksek fırın çamurlarında ZnO formunda bulunurken çelikhane çamurunda ise hem konvertörde hurda kullanımıyla Zn girdisi artmakta hem de yüksek sıcaklık nedeni ile ferreitik yapı oluşmaktadır. YF çamurlarında ZnO uzaklaştırılması %1’lik çözeltilerde kolaylıkla %0.1’ in altına düşürülebilirken çelikhane çamurunda ferritik yapıdan ötürü böyle bir başarı gözlenmemiştir.

İsdemir atık sahasında karışık depolanan YF+ÇH atıkları ile yapılan deneylerde Zn %1,5-2’den %0,9’a indirilmiştir. Ancak hedef olan %0,1 altına düşürülememiştir.

İstenen verime ulaşamamasının nedenleri; YF çamurunda % 25-30 karbon varken, YF+ÇH çamurunda karbon % 12-15 arasında olması, çinkonun demir ile ferritik bağ oluşturması olarak belirlenmiştir. Bu aşamada ferritik bağ kırmak için 2. liç işlemi öncesi 0,05-0,25 oranlarında (NaOH/Atık) 300-400 °C arasında bir saat kavurma (roasting) yapılmıştır.

Kavurma denemesinde hem kostik ile yüksek sıcaklıkta tepkimeye giren çamurun tekrar kullanımında yüksek kayıplar meydana gelmesi hem de yüksek sıcaklık nedeniyle karbon kaybına neden olduğunun gözlenmesi üzerine bu basamağın atlanmasına karar verildi.

Ayrıca ferritik bağ yapısının bozunumu amaçlanmış, ancak istenilen verim sağlanamadığı için bu adım takip edilecek rotadan çıkarılmıştır.

4.3.1. Elektroliz

Çinkonun çözeltiden geri kazanımı sağlamak için literatürde en çok geçen teknik elektroliz yöntemidir. Farklı çözücülerden çinko miktarına ve kullanılacak düzeneğe bağlı olarak farklı anot ve katotlar kullanılmaktadır.

Çinko kaplama ve alüminyum plakalar katot olarak, kurşun plaka ise anot olarak kullanılmak üzere 10*20 cm ebatlarında kestirilmiştir. 2.6 volt ve 1 amper akım ile elektroliz işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çinko ve alüminyum yüzeyinde kararma ve birikme meydana gelmiştir. Tartımlarda kurşun kaybı gözlenince deney durdurulmuştur.

4.3.2. Kimyasal Çöktürme

Elektroliz ile Zn geri kazanım verimini arttırmak amacıyla işlem öncesi sementasyon yapılarak çinko dışındaki metallerin çözeltiden uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak elektroliz yöntemi yerine kimyasal çöktürme ile çinkonun ve diğer empüritelerin çöktürülmesi denemelerine karar verilmiştir.

Bu denemeler için İsdemir çamur numunesi bir kez temiz NaOH ile liç edilmiştir. Liç işleminde kullanılmış ve çinkoya doymuş NaOH çözücüsüne NaHCO_3 (sodyum bikarbonat) ilave edilmiştir.

Yeni bir çamur numunesinin semente edilmiş kostik ile yapılan liç sonrası %2' lik Zn oranı %1,5' a düşürülebilmektedir. NaHCO_3 ile çöktürme işleminde Al ve Pb çökerken Zn için düşüş gözlenmemiştir.

Çöktürme sonrasında tekrar liç amaçlı kullanılan NaOH solüsyonunun veriminin çok düşük olduğu ve mutlaka çinkonun uzaklaştırılması gerektiği anlaşılmıştır.

Yüksek konsantrasyonlu bazik çözeltilerde diğer metaller iyonik özelliklerini korurlarken çinko, zinkat $(\text{Zn}(\text{OH})_4)^{2-}$ formuna dönüşmektedir. Bu nedenle diğer metaller sodyum karbonat eklenerek sementasyon işlemine tabi tutularak uzaklaştırılabilirken çinko çözeltide (-) yüklü iyon olarak kalmaktadır.

Elektrolize ihtiyaç duymadan çinkonun da uzaklaştırılmasını sağlamak adına kalsiyum bileşiklerin çözünürlüğünün düşük olmasından yola çıkarak kalsiyum karbonat (kalsit) kullanarak kostik çözeltisinden çinkonun çöktürülmesi denenmiştir.

Bu çalışmada $\text{CaZn}(\text{OH})_4$ oluşarak çökmesi hedeflenmiştir. Kalsiyum zinkatın yüksek bazite de çözünürlüğü konusunda bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu nedenle YF + ÇH karışık çamur haricinde yüksek fırın ve çelikhane çamurları ayrı ayrı çalışılarak denemeler yapılmıştır.

YF çamurlarında elde edilen başarı, ferritik yapı nedeniyle ÇH ve karışım (ÇH + YF) çamurlarında sağlanamamış, beklenen sonuçlara ulaşılamamıştır. Ancak YF çamuruyla yapılan denemelerde CaCO_3 ile beklenen verim elde edilmiş yani NaOH çözeltisi tekrar kullanılmak üzere semente edilebilmiştir.

4.4. Yağlı Tufal İçerisindeki Yağın uzaklaştırılması İçin Ar-Ge Çalışmaları

4.4.1. Isıl Ayırıştırma Tesisi

Hızı ayarlanabilir döner bir fırın içinde 600 °C sıcaklıkta oksijensiz ortamda tutulması sonrasında yağından ayrılan tufalın kül alma sisteminden alınması, yağın ise suyundan ayrıştırılacak bir sistemden geçmesi prensibine dayanmaktadır.

Maksimum %25 olarak belirlenen nem oranı nedeniyle tesis öncesinde susuzlaştırma ünitesine gerek olduğu tespit edilmiştir.

Isıl ayırıştırma tesisinin toplam yatırım tutarı 3.800.000 ABD \$ olup, bu tutarın 1.700.000 ABD \$'ını ana tesis maliyeti oluşturmaktadır. Tesisin yıllık işletme maliyetinin yaklaşık olarak 718.000 \$ olduğu Erdemir Ar-Ge tarafından hesaplanmıştır.

Yağlı tufalın geri kazanımı için ısıl ayırıştırma tesisi kurulmaması durumunda, yağlı tufalın depolanması için 630.000 \$ maliyetle yeni bir depolama sahasının yapılması gerekecektir. Mevcut depolama sahasının da yasal mevzuatlar nedeniyle membran ile kapatılması, bunun için de 200.000 \$ tutarında kaynak harcanması gerekecektir.

2013 yılı itibarı ile yağlı tufalden yağın ayrıştırılması ve tufal geri kazanımına yönelik ARGE grubunda deneysel ölçekte çalışmalar başlamıştır. Özellikle yöntem seçiminde ticarileşmemiş, maliyeti düşük alternatif bir yöntem arayışına gidilmiştir.

Yapılan litaretür incelemeleri ve araştırmalar neticesinde daha önce denenmemiş çevreye duyarlı alkali çözücüler ile yağın tufalden ayrıştırılması çalışmalarına başlanmıştır.

4.4.2. Alkali Çözücüler ile Yağın Tufalden Ayrıştırılması

Erdemir Ar-Ge birimi tarafından öncelikle yağlı tufalın karakterizasyonunu saptamak için havuzlardan numuneler alınmış ve analizleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında beher, ısıtıcılı karıştırıcı, soxhlet deney düzeneği (yağ tayini) ve etüv (nem miktarı tespiti) kullanılmıştır.

Yağın tufalden ayrıştırılması için yüzey aktif malzeme olarak sodyum bi karbonat (NaHCO_3) kullanılmıştır. Yapılan deneylerde NaHCO_3 miktarı, yağlı tufal miktarı, ısı, ve karıştırma hızı optimize edilerek tufaldeki yağın %1' in altına düşürülmesi hedeflenmiştir.

Yapılan çoklu denemelerde 30 dakikalık karıştırma süresinin yeterli olduğu, daha uzun sürelerde ise toplanan yağ miktarında değişim olmadığı gözlemlenmiştir.

Saha çalışmaları sırasında özellikle yüzey aktif malzeme kullanımında önemli ölçüde azaltıma gidilmiş, %1,25' lik NaHCO_3 ve %4,76 yağ içeren miktarca %20 tufal işleme sokulunca 20 dakikalık işlem sonrası tufaldeki yağ oranı %0,8' e düşürülmüştür.

Bu çarpıcı sonuca ulaşılmasındaki en büyük etken yağlı tufal, çözücü ve suya motor vasıtası ile verilen yüksek devinim hızı ve karışımın sirkülasyon sırasında hızla suya çarptırılması olmuştur.

Laboratuvar deneyleri ve saha çalışmalarında kullanılan NaHCO_3 için 1 ton için 7000\$ teklif alınmıştır. Denemeler ışığında bir ton yağlı tufal için 60 kg NaHCO_3 kullanıldığı farz edildiğinde maliyeti 420 \$, 1000 ton için ise 420.000\$ maliyet yükü getirecektir.

Satın alınan %70 demir içerikli tufalin ton başına alışı 55,44\$ olduğu ve işletme maliyeti hesaplanmadan sırf NaHCO_3 maliyeti 420 \$/ton ile mukayese yapıldığında bu seçeneğin mantıklı olamayacağı görülmektedir.

4.5. Çelikhane Çamurunun Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

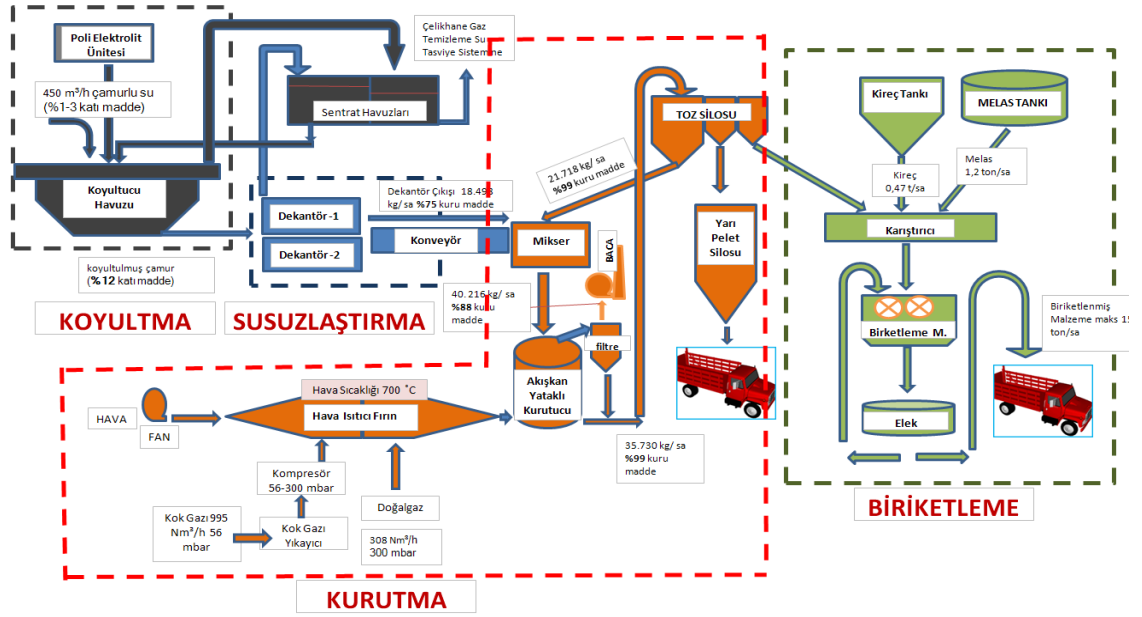
4.5.1. İsdemir'de Yatırımlar Kapsamında Kurulan Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma ve Kurutma Tesis

İsdemir modernizasyon yatırımları sonrası oluşacak atıkların taşınması ve değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında mevcut atık sistemlerinde birçok iyileştirmeler yapılmıştır.

Yüksek fırınlardan, çelikhane pota metalürjisi, çelikhane 2. toz toplama sistemlerinden gelen ve genellikle sulu sistemle taşınıp, sonradan tekrar kurutulmuş sinter harmanına katılan çamurların kuru sistemle toplanması ve taşınması sağlanarak enerji, su ve işçilik tasarrufu sağlanmıştır.

Çelikhane gaz temizleme sisteminden gelen yüksek çinkolu çamurun diğer atıklara karıştırmadan ve mevcut çökelticilerden geçirmeden susuzlaştırılması, kurutulması sonrasında toz kireç, melas ile karıştırılarak briket yapılması planlanmış ve aşağıdaki şekilde çelikhane çamuru susuzlaştırma tesis akım şeması gösterilmiştir.

Böylece bertaraf edilmesi gereken çamur yerine katma değeri olan yan ürün elde edilecek ilk aşama yatırım olarak Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma ve Kurutma Tesis kurulmuştur. Bu yatırımın devamında ikinci aşama yatırım ile üretilen briketlerin döner dairesel fırınlarda indirgenerek sünger demir elde edilmesi planlanmıştır.



Şekil 4.7. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesis akım şeması

Ayrıca çelikhane çamuru içerisindeki iri taneli malzemelerin çamur hattında tıkanmalara sebep olması nedeniyle, çinko oranı düşük iri taneli çamurların yakalanması ve sinter harmanına katılması amacıyla desilatör sistemi kurulmuştur.

Desilatörden 60 ton/gün kapasitesinde alınan malzeme sinter harmanında kullanılarak geri dönüşümü sağlanmaktadır. Çelikhane çamuru susuzlaştırma ve kurutma tesisi genel olarak:

- Çelikhane'den gelen çamurun çökeltildiği koyultucu havuz,
- Havuzdan alınan çamurun belli oranda susuzlaştırıldığı iki adet santrifüj dekantör,
- Dekantör çıkışı çamurun kurutulduğu akışkan yataklı kurutucu,
- Kurutulan malzemelerin preslenip küçük boyutlara getirildiği briketleme pres,
- Yukarıda belirtilen ekipmanlar arası malzeme taşıma sistemleri, doğal gaz ve kok gazı yakıt sistemi, sarf kimyasal malzeme depo ve dozajlama sistemleri, elektrik ve otomasyon sistemlerinden oluşmaktadır. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi biriktleme bölümü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi biriktleme bölümü

Tesisin yapımına, çelikhane yeni konvertörlerinin devreye alınma takvimine yetiştirilmesi amacıyla yeni konvertörler devreye alınmadan önce karar verilmiş, proses ve ekipman etüt çalışmaları eski konvertör çamurları referans alınarak yapılmıştır.

Proje öncesinde dünyada çelikhane çamurunun kurutulması ve değerlendirilmesi ile ilgili kullanılan prosesler literatürden incelenmiş, uzman firmalara raporlar hazırlanmış, Erdemir’de kullanılan proses yerinde incelenmiştir.

Dekantör ekipmanının prototipi ile İsdemir’de denemeler yapılmış, İsdemir çelikhane eski konvertör çamuru dekantör, kurutucu ve briketleme firmasına numune olarak verilmiş ve laboratuvarlar ortamında kurutma ve briketleme yapılmıştır.

Bu çalışmalar sonrasında, İsdemir çelikhane çamurunun kurutulması, briketlenmesi ve çelikhane konvertöründe değerlendirilmesinin uygun olacağı yönünde bir karar alınmıştır.

Yeni konvertör çamurunun eski konvertör çamurundan tanecik boyut farkı olması ve oksitlenmesini tamamlamış metalik demir ve demir bileşiklerini bünyesinde bulundurması sebebi ile kurutucuda yanma meydana gelmiş, tesis randımanlı çalışmamıştır. Yapılan kısmi iyileştirme çalışmaları sonrasında tesis 14 ton /saat yerine ancak 2 ton/saat kapasitesinde çalışabilir hale gelmiştir.

İsdemir çelikhane çamuru susuzlaştırma ve kurutma tesisinde, çelikhane çamurunun sinterlenmesi nedeniyle kurutma operasyonu çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmekte ve bu durum kapasitenin düşmesine sebep olmaktadır.

Ayrıca konvertör çamurunun tanecik boyutunun tasarım değerine göre düşük olması ise dekantör ekipmanında tam verim alınamamasına sebep olmaktadır. Bu sebeple dekantörlerde toplam saatlik 14 ton malzeme yerine yaklaşık 7-8 ton çamur susuzlaştırılabilmektedir.

Dekantörlerde çok ince taneli çamur ayırıştırılamamakta bunu azaltmak için çamur içerisine topaklaştırıcı kimyasal eklenmesi ile çamur tanecik boyutunun büyütülmesine çalışılmıştır. Bu durumda ise susuzlaştırılan çamur kekinin kapasitesi artmış ancak polimerin su tutucu yapısı sebebi ile çamurdaki su miktarı fazlaşmıştır.

Tesisin tam kapasite çalıştırılması halinde üretilecek briketlerin her dökümde 3-4 ton konvertöre şarjı sonrasında konvertörlere olan etkisi henüz test edilememiş, zamanla çinko içeriği artacak briketlerin konvertörde etkisi görülememiştir.

Üretilen briketlerin içeriğinde bulunan metalürjik Fe, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ gibi demir bileşiklerinin konvertörde ne oranda çelik üretimine katkı sağlayacak şekilde geri dönüş sağlayacağı bilinmemektedir.

Özellikle dekantör ekipmanında çamur tanecik boyutları sebebi ile yeterli performans alınamaması durumunda ilave dekantör ekipmanı temin edilmesi gibi yatırımlar gerekebilecektir.

4.5.1.1. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisindeki Dekantör Çözüm Önerileri

Tesiste her biri 60 m³/saat çamur ve kuru madde madde bazında 7,2 ton/saat işleme kapasitesine sahip 2 adet dekantör bulunmaktadır. Dekantörlerin görevi santrifüj yöntemi kullanarak çamur içerisindeki %88 su oranını %25'e düşürerek kurutucuda kullanılacak olan çamur kekini üretmektir.

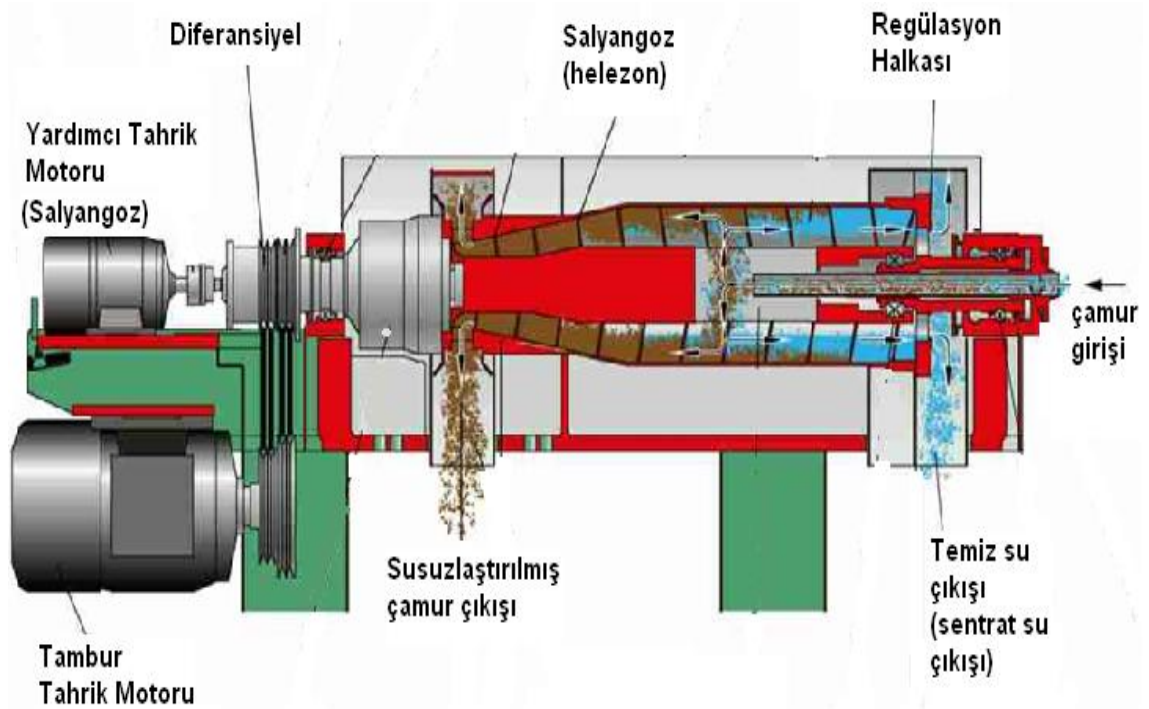
Dekantör santrifüjlerin yeterince koyu kıvamda katı atık ayıramadığı ve sentratın ise katı taneler içerdiği belirtilmekteydi. Buna yönelik olarak dekantör santrifüj cihazlarının daha yüksek katı içerikli pülp ve düşük tonajlarda çalıştırılmasının denenmesi uygun görülmüştür.

Dekantöre beslenen pülpün ağırlık olarak % katı oranı artırıldığında ayrılan bölümde katı oranı %68-69 oranına yükselmektedir. Bu değer başlangıçta hedeflenmiş olan %75 katı içeriğinin oldukça altında görülmekle birlikte bant üzerinde taşınabilir

nitelikte bir çamur oluşturmaktadır. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi dekantör bölümleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Ağırlıkça %68 katı değerinin yüksek yoğunluklu katılar için hacimsel olarak düşük olması nedeniyle konveyörde taşınacak kıvama gelmesinin zor olacağı düşünülmüş, fakat tozun gözenekli yapısı nedeniyle bireysel katı tanelerinin oldukça hafif olup toplamda beklenilenden daha yüksek hacim kapladığı deneysel olarak belirlenmiştir.

Bu durum sistem için bir avantaj haline gelmiştir. Fakat diğer açıdan gözenekli hafif tanelerin santrifüjden etkilenmesi de o oranda zayıf olduğundan beklenen sorunların oluşmasına neden olacaktır. Sonuç olarak, %68 katı atık bant ile taşınabilir olduğundan bu değer kabul edilebilir.



Şekil 4.9. Çelikhane çamuru susuzlaştırma tesisi dekantör

Dekantörlerden elde edilen çamurun katı içeriği atık havuzuna flokülant eklemesi yapıldığında da değişmemiştir. Fakat sentratın temiz su kısmında katı oranı düşmüştür. Bunun sonucu olarak santrifüj dekantör öncesinde optimum dozajda flokülant kullanımı ile arzulanan sonuçlara ulaşılabileceği görülmektedir.

Fakat dekantörün flokülant kullanılarak çalıştırılması durumunda ulaşılan %68 katı içerikli çamurun kurutulması amacıyla daha fazla kuru toz katılma ihtiyacı doğmakta ve bu da kapasiteyi düşürmektedir.

Hem dekantörden hem de dekantör öncesi atık havuzundan temiz su alabilmek ve suyun geri kullanımı açısından flokülant kullanımı son derece önemlidir. Çizelge 4.4’de dekantörlerin çelikhane çamurunu havuzdan pompalar vasıtası ile aldığındaki tanecik boyutuna ve çamur ve endüstriyel atık suyu ayırdıktan sonra her birinin içerisindeki katı oranlarına değinilmiştir.

Çizelge 4.4. Dekantör testleri sonuçları özeti tablosu

Dekantör parametreleri	Ortalama değerler
Dekantör giriş tane boyutları	~6,5 mikron
Dekantör çıkış katı madde yüzdesi	% 55-65
Dekantör temiz su çıkış katı madde yüzdesi	~%6
Kazanım Oranı	%50-60

4.5.1.2. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisindeki Kurutucu Çözüm Önerileri

Tesiste akışkan yataklı bir adet kurutucu bulunmakta olup % 25 neme sahip dekantörden alınan çamur kekinin daha önce kurutulmuş malzeme ile karıştırılarak %12 neme düşürüldükten sonra kurutucu içerisinde %1 neme düşürülmesi sağlanmaktadır.

Ekipmanın yeni konvertör çamuru ile yapılan testlerinde kurutucu içerisinde aşırı sıcaklık yükselmesi tespit edilmiştir.

Yeni konvertör çamurunda yoğun olarak bulunan oksitlenmesini tamamlamamış metalik Fe ve FeO’ın kurutucu ekipman içerisinde ani yanması sonucu Fe_2O_3 Fe_3O_4 dönüşümü ile aşırı enerjinin açığa çıktığı, bunun da aşırı ısınmaya sebep olduğu tespit edilmiştir.

Bu yanma sonucunda kurutulan çamur kor haline dönüşmektedir. Bunun sebebi olarak Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.’da görüleceği üzere eski ve yeni konvertör çamurlarının metalürjik Fe, FeO oranlarının çok farklı değerlerde olması gösterilebilir.

Yanma sonrasında yapılan deney ve analiz raporlarında yaklaşık 200 °C’de yanabileceği bildirilen çamurun uygulamada 80-90 °C de yandığı görülmüştür.

Çizelge 4.5. İsdemir çelikhane konvertörü çamuru modernize öncesi Fe analizi

Çamur Numunesi	Eski Konvertör Çamuru Ortalama %
Toplam Fe	58.3
Metalurjik Fe	2.9
FeO	8.5
Fe ₂ O ₃	74.3

Çizelge 4.6. İsdemir çelikhane konvertörü çamuru modernize sonrası Fe analizi

Çamur Numunesi	Yeni Konvertör Çamuru Ortalama %
Toplam Fe	57.5
Metalurjik Fe	32.0
FeO	37.5
Fe ₂ O ₃	1.6

Kurutucuda özellikle yanma sorunu oluşması nedeniyle çözüm arayışlarına gidilmiştir. Yanmanın temelde oksitlenmemiş demire bağlı olduğu düşünülmektedir.

Bu amaçla öncelikle besleme içindeki bu demir oranının düşürülmesi hedeflenmiştir. Fakat ön görülen manyetik ayırıcı ile ayrılan demir oranı kurutucuya beslenen malzemenin yanmasını engelleyecek düzeyde olmamıştır.

Çözüm olarak sistemde yanmaya sebebiyet veren oksijenin giriş havasında azaltılması düşünülmektedir.

Sisteme girecek havanın oksijenin azaltılması amacıyla sisteme dışardan hava vermek yerine sistem içinde inert bir gazın (N,CO₂) dolaştırılmasının çözüm olabileceği öngörülmüştür. Fakat bunun da maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca bu sistemde hava kendi içinde döneceğinden bir de nem tutucu düzeneğe ihtiyaç olacaktır.

Kurutmak amacıyla kullanacağımız kuru hava sistemde dönen gazı içerdiğinden sürekli nemi artacak, bu neminde sistemden uzaklaştırılması gerekecektir. Bunun yerine sisteme İsdemir bünyesinde üretilmekte olan herhangi bir inert gazın doğrudan verilmesi daha uygun olabilir görüşü doğmuştur.

Metalik demirin döner fırında kurutulması yanmadan dolayı oluşabilecek sorunu ortadan kaldırmayacaktır. Bu amaçla yeni konvertör çamurunun, sinter çamur hazırlama

kurutma tesisindeki filtre ve kurutma sisteminde kurutulduktan sonra yeni tesiste briketlenmesi öngörülmüştür.

Yüksek fırın çamurunun yeni tesiste kurutulması ümit verici olmakla birlikte YF çamurundan alınacak yeni numuneler analiz edilmeli Çizelge 3.7.'de verilen analizlerdeki sapma kontrol edilmelidir. Aksi takdirde ilk numune analizindeki FeO değeri yanma oluşturabilecek gibi görünmektedir. Bunun da tesiste kurutmaya girmesi riskli olabilir.

Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisinde kurutulan yeni konvertör çamurunun nihai nemi bazı testlerde %1'in altına düşmekle birlikte bu değer çoğunlukla %10 düzeyindedir.

Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisinde mevcut durumda kurutulmakta olan yüksek fırın çamurunun kurutulması sonucunda da genel olarak ortalama %10 nem kalmaktadır.

Nem miktarı çelikhane için sınır değer olan %3 değerinden yüksektir. Bu nedenle burada kurutulacak yeni konvertör çamurundan yapılacak briketlerde nemin %10 düzeyinde kalması önemli bir sorun teşkil edecektir. Ayrıca %10 ve daha üzerinde nemli tozun briketlenmesi oluşacak briketlerin dayanımı üzerinde de sorunlar yaratacaktır.

Bu noktada sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisinde tamburlu kurutucuya besleme miktarı azaltılarak ya da çift tambur çalıştırılarak nihai ürün kuruluk değerinin arttırılabilirliği araştırılmalıdır. Ayrıca atık havuzuna beslenmekte olan flokülant tipi ve miktarı üzerinde bir optimizasyon çalışması yaparak bunun kurutucu çıkışındaki etkisi incelenebilir.

Döner kurutuculara ne kadar kuru besleme yapılabilirse o oranda kuru ürün alınacaktır. Eğer burada % 3 kuruluğa ulaşamaz ise %10 kuruluğa ulaşan ürünün yeni tesis kurutucusuna beslenmesi gündeme getirilmiştir. Fakat Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisinde kurutulan konvertör çamurunun kurutucu çıkışındaki kimyasal analizinde FeO'nun oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Bu ürününde tesiste kurutucuya sokulması FeO oranına göre riskli görünmektedir. FeO analizi içinde Fe_3O_4 de dahil ise bu durumda döner kurutucudan çıkan yaklaşık %10 kuruluştaki katının Fe_3O_4 içeriği de ayrıca belirlenmelidir. Bundan sonra güvenle yeni kurutucuya besleme yapılır.

Tesiste yüksek fırın çamuru kurutulacak ise bu durumda dönüşümlü çalışma yapılmalıdır. Fakat briketlemenin amacı olan çinkonun sistemdeki devri daimine bağlı olarak artırılması işlemide burada yapılacağından işin kontrolü son derece zor olacaktır.

4.5.1.3. Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisinin Tam Kapasite Çalışabilir Hale Getirilmesi İçin Yapılan Araştırma ve Yatırımlar

Tesiste kurutucu ekipmanın yeni konvertör çamuru ile istenen kapasitede çalışabilmesi için ilave revizyonlar yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Çizelge 4.7. Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisi kurutma sonrası çelikhane çamurunun tam kimyasal analizi

Numune no		%Top. Fe	%Met.Fe	%Fe ₂ O ₃	%Na ₂ O	%K ₂ O	%Zn	%Cr	%Pb
Çelikhane çamuru sulu	1	61.98	20.67	1.03	0.21	0.039	2.57	0.037	0.49
	2	65.10	13.88	1.44	0.27	0.056	2.97	0.035	0.43
	3	58.58	14.13	1.46	0.33	0.069	2.83	0.038	0.46
Çelikhane çamuru kuru	1	43.86	4.31	4.10	0.18	0.161	2.30	0.023	0.37
	2	41.67	3.08	10.57	0.19	0.182	2.22	0.022	0.41
	3	45.97	3.31	9.50	0.19	0.19	0.155	0.003	0.37

Söz konusu revizyonda ana prensip oksijeni azaltılmış baca gazının kurutucu içinde tekrar kullanılarak oksijensiz kurutma gerçekleştirilmesidir.

Bu revizyon; oksijen miktarının sıfıra indirilememesi ve bağlantılı olarak, çelikhane çamuru bünyesinde yüksek oranda bulunan metalurjik Fe ve FeO'nun oksijen ile tepkimeye girip sinterleşme riski nedeniyle düşünülmemiştir. Sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisi kurutma sonrası çelikhane çamurunun tam kimyasal analizi aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Ayrıca manyetik separasyon testleri İsdemir tarafından firma ve üniversiteye yaptırılmıştır. Çamur içindeki oksitlenmesini tamamlamamış metalurjik Fe, FeO bileşiklerinin veya çinkolu kısmın ayrılması amaçlı olarak manyetik separasyon testleri yapılmıştır.

İstenilen bileşikler ayrılabilirse kalan kısmın yeni tesiste değerlendirilebilmesi planlanmıştır. Ancak yapılan testlerde istenilen ayırım sağlanamamıştır.

Manyetik ayırıcı testlerinde hedeflenen sonuçlar :

-Çamur içinden kurutucuda yanmaya neden olduğu öngörülen metalik Fe ve FeO'nun sistemden uzaklaştırılması,

-Manyetik ayırıcı ile demiri yüksek ve çinkosu düşük bir ürün olarak sintere gönderilmesi ve böylece demir kazanımı şeklindedir.

Yapılan testler sonucunda elde edilen manyetik olmayan kısım kullanılarak laboratuvarında yapılan kurutma işleminden sonra çakmak testi ile alev aldığı görülmüştür. Alev alma işleminde en önemli parametrenin çok ince taneli demir olduğu belirtilmektedir.

Kullanılan manyetik ayırıcıların uyguladıkları kuvvetler göz önüne alındığında çok küçük manyetik taneciklerin yakalanmadan kaçmasını önleyemeyebilirler.

Ayrıca gözenekli yapıdaki tanecikler yüksek akış hızlı pülpün etkisinde manyetik alandan etkilenmeden sürüklenebilmekte ve manyetik olmayan ürüne gitmektedir.

Bunun sonucunda özellikle ince tanecikler manyetik olmayan kısma gelememekte ve kolay yanabilen bu taneler kurutma işleminden sonra yanmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla manyetik ayırma ile hedeflenen ilk sonuç olan kurutma sırasındaki yanmanın önlenmesi mümkün görünmemektedir.

Manyetik ayırma testlerinin ikinci hedefi ise demirce zengin ve çinkosu düşük bir ürün elde ederek bunun doğrudan sintere gönderilmesidir.

Bu amaçla elde edilen manyetik bölümde demir içeriği yükselmiş fakat çinko içeriğinde önemli bir düşme olmasına rağmen sinter tarafından talep edilen değerlerin üzerinde kalmıştır. Sinter %0.03 Zn değerini kabul edeceğini belirtirken bunun üzerindeki değerleri çok düşük oranlarda kullanabileceğini bunun da birikmeye neden olacağı görülmüştür.

Dolayısıyla manyetik ayırma ile elde edilen manyetik ürün %0.6 Zn içeriği ile aslında sinter tarafından çok tercih edilen bir ürün olmayacaktır. Ayrıca manyetik ayırıcının desilatör öncesinde kullanılması durumunda göreceli başarılı olduğu ve desilatör sonrasında kullanılması durumunda ise hemen hemen hiç ayırım yapamadığı görülmektedir.

Manyetik ayırma ile başarılı olunması durumunda dahi elde edilecek manyetik ürünün kurutulması gerekecektir. Sistemde bunu kurutacak bir aşama mevcut bulunmamaktadır. Manyetik ayırma test sonuçları bir nolu konvertör çamurlarının susuzlandırılmasında hedeflenen sonuçlara ulaşamayacağını göstermektedir.

Sisteme eklenecek bu tür bir ayırıcı şu aşamada sorunların çözümünü sağlayabilecek düzeyde görünmemektedir. Fakat manyetik ayırma ile ayrılacak ürün çinko içeriği sorun olmadan satılabilir hale getirilebilirse çinkonun bir bölümü devre dışı bırakılmış olacaktır.

4.5.2. Erdemir’ de Atıklarla İlgili Yapılan Çalışmalar ve Çözüm Önerileri

Yüksek fırın baca tozu temizleme sisteminde açığa çıkan sulu çamurlar yüksek fırın resirkülasyon su sistemi havuzlarına, çelikhane baca tozu temizleme sisteminde açığa çıkan sulu çamurlar ise çelikhane resirkülasyon su sistemi havuzlarına gönderilmektedir. Bu çamurların yuvarlak havuzlar da çöken kısmı açık kanal vasıtasıyla dikdörtgen çamur havuzlarına boşaltılmaktadır.

Çamur havuzlarında çamurun katı içeriği çökeltilmektedir. Burada biriken çamur, portal vinç ile sulu bir şekilde vagonlara yüklenmekte ve tahliye edilmek üzere çamur rampalarına taşınarak buradaki havuzlara dökülmektedir. Daha sonra havuzlardan sallama vinç ile sahadaki çamur yığınlarının üzerine alınmaktadır.

Mevcut durumda kuru baz da yıllık 26.000 ton yüksek fırın çamuru, 30.000 ton çelikhane çamuru açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın ve çelikhane çamurları çinko oranlarının yüksekliği ve tane boyutlarının küçüklüğü sebebiyle mevcut durumda sinter fabrikasında kullanılamamaktadır.

Çelikhane resirkülasyon su sistemi ön çökeltmeden elde edilen diğer bir çamur olan desilatör çamuru ise düşük çinko oranına ve yüksek demir oranına sahip olup olup tamamı sinter fabrikasında kullanılmaktadır. Desilatör çamurunun yaş baz da yıllık yaklaşık miktarı 23.000 ton’ dur. Atıklar çinko ve alkali içeriklerine göre ayrılıp sinter fabrikası’na verilmektedir.

Yüksek fırınların refrakterlerine zarar vermesi ve tüyerlerin yanması sonucu acil duruşlara neden olması sebebiyle çamur atıklarının sinter fabrikasında kullanımı kısıtlı kalmaktadır. Diğer bir sorun da bu atıkların çok ince tane yapılı olmaları bu nedenle sinter prosesinde geçirgenliği etkilemeleridir.

Dünyada sinter fabrikası olmayan tesislerde de bu atıklar preslenerek briket haline getirilip doğrudan yüksek fırınlarda ve çelikhane konvertörlerinde kullanılmaktadır.

Yüksek fırın baca tozu temizleme sisteminde sulu çamur dışında baca tozu da açığa çıkmakta olup baca tozunun miktarı ise yıllık yaklaşık 50.000 ton’dur. Yüksek

fırın baca tozunun bir kısmı sinter fabrikasında kullanılmakta, geri kalan miktar ise sahada depolanmaktadır.

Çeşitli zamanlarda yapılan analizlerde yüksek fırın çamuru demir içeriğinin % 30 ile % 50 arası değiştiği, çinko oranının ise % 0,2-0,8 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Mart 2011’ de yapılan analizlerde çelikhane çamuru demir oranının % 60 seviyelerinde, çinko oranının ise % 2,20 seviyelerinde olduğu belirlenmiştir.

Sahadaki çamurların analiz değerlerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarlar müdürlüğü tarafından yapılan sahadan numune alma ve analiz çalışmaları sonucu, sahada karışık olarak bulunan yüksek fırın ve çelikhane çamurlarının ortalama demir oranı % 49,86 ortalama çinko oranı ise % 0,69 olarak tespit edilmiştir.

Çamurların susuzlaştırılması konusunda yürütülen çalışmalar kapsamında atıklar ve susuzlaştırılacak çamurların sinter fabrikasında kullanımı konusu da ele alınarak incelenmiştir.

Toz cevher kalitesinde ve diğer katkı malzemelerinin miktar ve kalitelerinde problem olmadığı dönemlerde harman sahalarına alınan desilatör çamuru ve silodan beslenerek kullanılan yüksek fırın baca tozu kullanımı ile mamul sinter çinko sınır değeri olan % 0,015 değerine yaklaşılmaya çalışılmaktadır.

İlave olarak çamur kullanılması halinde mevcut durumda kullanılan desilatör çamuru ve baca tozu kullanım tonajlarını azaltmak gerekebilecektir. Susuzlaştırılmış fakat herhangi bir çinko azaltım prosesinden geçmemiş yüksek fırın ve çelikhane çamurunun çinko oranının yüksek olması nedeniyle sinter fabrikasında kullanımının uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır.

4.5.2.1. Erdemir’deki Demir ve Karbon İçerikli Atıkların Briketlenerek Proseste Yeniden Kullanılması Projesi

Briketleme tesisi projesinin hedefi, pilot çapta bir tesis kurulmasını ve bu tesiste üretilen briketlerin yüksek fırınlar, sinter fabrikası ve çelikhane konvertörlerinde kullanılarak test edilmesini kapsamaktadır.

Pelet tozları, yüksek fırın, çelikhane çamurları ve baca tozları, değişik bağlayıcı hammaddeler kullanılarak soğuk briketlemeye tabi tutulacak ve elde edilen briketler üretim tesislerinde belirlenen miktarlarda kullanılarak test edilecektir.

Projenin hedefi yılda en az 40.000 ton briket üretimini sağlayacak bir sistemi oluşturmaktır. Erdemir’de atıkların geri kazanımı yönünde teknoloji izleme ve araştırma

alışmaları devam etmekte, diğ er taraftan da bu tür demir ve karbon içerikli atıkların tümüne     m bulacak tesislerin yapımının uzayacağı düşünülerek soğuk briketleme araştırmalarına başlanmıştır.

Erdemir laboratuvarlarında bu konuda çok sayıda bağlayıcı ve atık ile deneme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve incelemeler sonucu 2009 yılında bir briketleme tesisi kurulmasına karar verilmiştir.

Tesis pilot çapta bir tesis olarak kabul edilmekte ileride ihtiyaçlara göre geliştirilmesi planlanmaktadır. Pelet tozu ile yapılan briketler  elikhane konvertörlerinde kullanılmış, istenen soğutucu etkisi sağlanmıştır. Ancak briket kalitesinin iyileştirilerek tozlaşmasının azaltılması gerekmektedir.

Rutubet oranının istenen düzeye çekilmesi için bir adet kurutucu tesis edilmeye çalışılmaktadır. Bu projenin bir diğ er amacı da çamur dediğimiz pudra demiri ve benzer diğ er atıkları da briketleyerek geri kazanmaktır. Tesis kapasitesi 15 ton/saat olarak dizayn edilmiştir.

Briketleme ile ancak çelikhaneye uygun mukavemette ürün üretilmekte, yüksek fırınlar için ise yüksek sıcaklıklarda da mukavim olabilecek briket yapısı sağlamak gerekmektedir.

Projenin esas çıkış noktası, sinterde kullanılamayan pelet tozu fazlasının briket yapılarak  elikhane de soğutucu olarak kullanılan pelet yerine kullanımı ve buradan kazanç sağlamak üzerinedir. Bunun yanı sıra böyle bir tesis ile az da olsa yüksek fırın ve  elikhane çamuru vb. atıkların da değerlendirilmesine çalışılacaktır.

Briketleme tesisi montajının tamamlanmasından sonra pilot   ekte sahada briketleme ve laboratuvar faaliyetlerine geçilmiştir. Bu  alışma kapsamında 2011 yılında pelet tozundan üretilen 1.194 ton briketin yaklaşık 797 tonu  elikhane’de, 397 tonu sinter’de kullanılmış olup, bu sayede sahada atıl duran pelet tozunun 1.194 tonu içinde bulunan 660 ton Fe,  elik üretimine kazandırılmıştır.

Pelet tozuna ilave olarak yüksek fırın ve  elikhane çamurlarından briket üretilmesi planlanmaktadır. Atıkların açık sahalarda depolanması ve kış şartları gereği bünyesinde aşırı nem barındırmaktadır. Kış şartlarında % 15 seviyelerinde nem barındıran pelet tozu -3 mm elekten elenememiştir.

Bu nedenle atıklar briketleme sistemindeki silolara alınamamış ve tesis aşırı yağmurlu günlerde  alıştırılamamıştır. Bu problemin giderilebilmesi için sahalarımızda

bulunan nem içeriği yüksek pelet tozu, yüksek fırın ve çelikhane çamuru gibi malzemelerinin kış aylarında da briketleme tesisinde kullanımının sağlanması için, döner fırın kurutucu sistemi kurulması zorunluluk haline gelmiştir.

Döner kurutucu ilavesi ile %15 nem değerlerindeki malzemelerin çıkış nem değerleri % 1 seviyelerine indirilecektir. Böylece hem eleme verimi artacak hem de melas kullanım miktarı arttırılacak ve briket çıkış mukavemetlerinde artış sağlanacaktır.

4.5.2.2. Yüksek Fırın Çamurunun Manyetik Separasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi Pilot Tesisi

Çamurların susuzlaştırılarak değerlendirilmesi projesi kapsamında sürdürülen etüt çalışmaları sırasında ilgili firma ile temasa geçilerek yüksek fırın ve çelikhane çamurlarının manyetik separasyon ile demir içeriğinin artırılmasına yönelik denemeler yapılmıştır.

Bu denemelerde çinko oranı daha düşük olan yüksek fırın çamuru için olumlu sonuçlar alınmıştır.

Bu durum dikkate alındığında çamurların susuzlaştırılarak değerlendirilmesi projesinin ilk aşaması olarak yüksek fırın çamurunun manyetik separasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi pilot tesisi projesi gündeme alınarak bu projenin ekonomikliği incelenmiş çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Yüksek fırın çamurunun manyetik separasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi pilot tesisi projesi ile yüksek fırın çamurunun manyetik separasyon yöntemi ile demir oranının artırılması ve çinko oranının azaltılması sayesinde ortaya çıkacak ürünün sinter fabrikasında kullanımı amaçlanmaktadır.

Bu sayede manyetik separasyon sonucunda üretilecek ürün sinter fabrikası'nda cevher tozu yerine ikame edilerek ekonomik fayda sağlanacak, sahalarımızdaki yüksek fırın çamuru miktarının artış hızı düşecektir.

Firmanın tesislerinde yüksek fırın çamurunun zenginleştirilmesi konusunda bir adet Yüksek Elektromanyetik Separatör (YMS), üç adet Tambur Manyetik Separatör (TMS) sistemi kullanılarak yapılan deneme sonucunda % 60 demir ve % 0,066 çinko oranına sahip ürün elde edilmiştir. Bu kimyasal özelliklere sahip ürünün sinter fabrikasında kullanımı uygun görülmektedir.

Deneme sonuçları dikkate alındığında, yüksek fırın çamurunun manyetik separasyon ile zenginleştirilmesi için kurulacak pilot tesis de ortalama % 40 demir oranı

ile girecek yüksek fırın çamurundan, % 60 demir ve % 0,066 çinko oranına sahip ürün elde edilecektir.

Yüksek fırın çamuru için kurulacak olan pilot tesis de, sahalarımızda bulunan yüksek fırın, çelikhane çamurları ve baca tozu gibi atıkların da manyetik separasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi denemelerinin yapılması planlanmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelikhane çamuru susuzlaştırma ve kurutma tesisinde yeni konvertör çamurlarının kurutulması, biriketlenmesi ve bu briketlerin çelikhane de kullanılması planlanmıştır.

Böylece hem tozlardaki demirin geri kazanımı hem de sürekli bu çevrimle çinkosu artacağı öngörülen çamurun çelikhane nin kabul etmeyeceği çinko değerine ulaştığında yüksek çinkolu ürün olarak çinko arıtma tesislerine gönderilmesi atık sorununun giderilmesi öngörülmektedir.

Çelikhane çamuru susuzlaştırma ve kurutma tesisine yerleştirilen santrifüj dekantörlerin tasarımda kullanılan malzeme değişikliği nedeniyle hedeflenen performans değerlerine ulaşamayacağı, buradan elde edilecek ürünün de kurutucuda yanma sorunu çıkartacağı tespit edilmiştir.

Çelikhane çamurunun, sinter çamur hazırlama ve kurutma devresinde kurutulup yeni tesiste briketlenmesi mümkündür. Fakat sinter çamur hazırlama ve kurutma tesisinde nem %10 düzeyinde kalmaktadır.

İstenilen %3 nem değerine ulaşmak için hem sinter çamur hazırlama ve kurutma devresi işlem değişkenlerinin kurutma üzerindeki etkilerini belirleme denemeleri devam etmeli hem de burada kurutulan malzemenin yeni fırında bir aşama daha kurutulabilirliği değerlendirilmelidir.

Bu aşamada sinter çamur hazırlama ve kurutma devresinde kurutulmuş olan çamur havalı hat ile yeni tesise taşınacak ise bu taşıma işlemi çok iyi etüt edilmeli ve bu malzeme içindeki yaklaşık %10' luk nemin oluşturacağı problemler göz ardı edilmemelidir. Aksi takdirde bantla taşımak daha avantajlı olacaktır.

Çelikhane nin üretilecek olan briketleri hangi oranda kullanabileceği ve briketlerin içindeki çinko değerinin maksimum sınırının belirlenmesi genel stok yönetimi açısından önemlidir.

Çelikhane de dökümde 1 ton kadar briketin kullanılabileceği anlaşılmış ve bir gün içinde yaklaşık 62 döküm gerçekleştirdiği düşünülürse hazırlanacak briketten günde 62 ton tüketilecektir.

Mevcut şartlarda bu tüketimi karşılayacak bir üretim bulunmamaktadır. Bu çevrimsel işlemde hedeflerden birisi olan çinkonun yükseltip belirli bir zaman sonra sistem dışına atılması bu durumda imkansız gibi görünmektedir.

Bu çevrimde çinkonun tamamı geri döndürülmediğinden arzu edilen çinko yükselmesine stokta ulaşıncaya kadar çelikhaneye çok yüksek çinkolu briket göndermek gerekir ki bunun da çelikhane tarafından sorgulanması gereklidir.

Çelikhane üretilen çinkonun tamamını bir günde kullanmayı kabul ederse bu çevrim sağlanabilir. Fakat bu durumda her bir çevrimde çelikhaneye giren çinkonun ne oranda çamurla geri döndüğünün ortaya konulması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında çelikhaneenin maksimum çinko kabul oranı da belirlenmelidir.

Tesisin herhangi bir alternatifle çalıştırılması ve briketlerin üretilmesi durumunda bu briketlerin üretildiği oranda geri dönüşünün de sağlanması önem taşımaktadır.

Aksi takdirde proje hedeflerinde bir tutarsızlık oluşacaktır. Briket geri dönüşü tümüyle sağlanamaz ise briketler için bir stok oluşturulması gerekecek ve buradaki çinko yükselmesini gözlemleyebilmek amacıyla iyi bir harmanlama ve stok yönetimi gerekecektir.

Tesiste gerekli denemeler yapılmış ancak çelikhane çamurunun fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle kurulan tesisin mevcut haliyle düşük kapasite ile çalıştırılabileceği görülmüştür. İsdemir de mevcut sistemin problemlerinin giderilmesi ile ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Problem prototip ölçekte çözülebilirse tesiste denemeler yapılması planlanmaktadır. Önerilecek sistemlerin başarı sağlaması durumunda tesiste yapılacak revizyonların bedeli aynı zamanda kurutucu revizyonu, dekantör yenilenmesi gibi işler belirlenmiş olacaktır.

Yapılacak revizyonlar sonrasında tesis tam kapasite çalıştırılabilirse üretilen briketlerin konvertörde kullanılması planlanmıştır. Bu durumun çelik üretimine olan etkisi düşük kapasitelerde test edilmiş ancak tam kapasite üretimde test edilmemiştir.

Çelikhane üretiminde briket kullanılması ile ilgili sıkıntı yaşanırsa bu tesis birinci aşama olarak kullanılıp DRI (Sünger Demir Üretim) tesisinin kurulması söz konusu olabilecektir.

İsdemir AR-GE birimi ve işletme koordineli yürütülen çalışmalarda ise Yüksek fırın ve ÇH çamuru çinkosuzlaştırma, yağlı tufalin yağından arındırılması çalışmalarında ilerleme olmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucu yüksek fırın çamurlarından ZnO uzaklaştırılmasında liç yönteminin istenilen verimde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Yüksek fırın çamurunun içeriğinde %40 gibi yüksek oranlarda bulunan ve bir enerji kaynağı olan karbon, hidrometalurjik yöntemde ayırmaya uğramayıp, çamurda Zn ve Pb'nin oranı %0,1' in altına çekilebilmektedir.

Ayrıca literatürde yer almayan yeni bir sementasyon yöntemi olarak CaCO_3 katılması ile kostik çözeltisinin büyük ölçüde yeniden kullanılması konusunda başarı elde edilmiştir.

Diğer yandan kostik yalnızca ZnO formundaki çinkoyu çözebilmekte, ZnO Fe_2O_3 yapısında yer alan çinkonun uzaklaştırılmasında başarılı sonuçlar elde edilememektedir. Çelikhane ve karışım çamurlarından ferritik yapının uzaklaştırılması denemelerine pirometalurjik yöntemle devam edilmesine karar verilmiştir. Yukarıda yer alan nedenlerle, YF çamuru ile ÇH çamurlarının ayrı ayrı toplanmaya başlaması gerektiği düşünülmektedir.

YF çamurunun NaOH çözeltisiyle çinkosuzlaştırılması ve akabinde aglomere edilerek sinterde kullanımı kok girdisi yönünden de avantaj sağlayacaktır. ÇH çamurları ve karışım çamurlarının eritilmesi için pirometalurjik yöntem tercih edilmelidir.

Yağlı tufalin yağdan arındırılması konusunda da maliyeti düşük alkali çözücülerle (sodyum bikarbonat, soda külü v.s.) saha çalışmalarına devam edilecektir.

Yapılan denemelerde görülmüştür ki yağlı tufal ihtiva eden ve belirli bir akışkanlığa haiz sulu çözeltiye mekanik bir kuvvet uygulandığında, yağ tufalden ayrılmaktadır.

Tasarlanacak tesis üç kademeli olmalıdır. Çarpma, sürtünme, aşındırma veya santrifüj prensibi ile çalışan birinci reaktörde tufal yağdan ayrıştırılacak, ikinci reaktörde su ile emülsiyon yapmış tufaldeki yağ üstten süpürme yöntemi ile alınacaktır.

Üçüncü son reaktörde tufal nihai olarak yıkanıp temiz olarak sistemi terk edecektir. İkinci ve üçüncü aşamalarda yağ üstten alındıktan sonra su filtre edilecektir.

Yağlı tufalin direkt sinter üretim tesisinde kullanılabilmesi için aşağıdaki alternatif yöntemler denenecektir.

Püskürtme yönteminde akışkanlığı düşük olan yağlı tufal ve katran bir mikserde karıştırılıp, öğütücü tipli bir pompa vasıtası ile püskürtme işlemine tabi tutulacaktır.

Pelet ile karıştırma yönteminde ise yağlı tufali mümkün mertebe homojen karıştırmak için belirli bir ebattaki (toz olmayan) pelet ile karıştırma yöntemi uygulanacaktır.

KAYNAKLAR

- Akdağ, M., “**Üretim Metalurjisi**”, İzmir, S.296-303, (1992).
- Akkülah, E., Doğan, Ö., Gürbüz, U., **Erdemir Sinter Fabrikasında Atık Malzeme Kullanımı Konusunda Yapılan İyileştirme Çalışmaları**, (2005).
- Anonim, **İsdemir Etüt Plan Proje Müdürlüğü Sunusu**. (2010).
- Anonim, **Yüksek Çinkolu Çelikhane Çamurunun Değerlendirilmesi İle İlgili Erdemir ve İsdemir’de Yapılan Çalışmalar Hakkında Bilgi Notu**, (2012).
- A Guide To The Use Of Steel Furnace Slag In Asphalt And Thin Bituminous Surfacing, Australian Slag Association, www.Asa-Inc.Org.Au, (2000).
- Bakar, D., ”**III. Demir-Çelik Kongresi** ”, Eylül 2005 S. 165–168.
- Berkmen E., “**Demiryollar**”, Cilt 3, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, 1966, S.9,23.
- Bjorkman, Bo., Eriksson, John., Nedar, Lotta., Samuelsson, Caisa., **Waste Reduction Through Process Optimization And Development**, Jom, March, (1996).
- Demir Çelik 2. Sempozyumu**, Ekim (2003).
- Doğan Ö., Gürbüz U., Akkülah E., **Erdemir Sinter Fabrikasında Atık Malzeme Kullanımı Konusunda Yapılan İyileştirme Çalışmaları**, (2005).
- Ellicott, G., “**Mining The Slag Heap**”, Industrial Minerals,2003, April, Pp. 64-67.
- Erdemir, Erdemir Ar-Ge, İsdemir Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü, Erenco A.Ş **Atık Değerlendirme Takım Çalışması Raporu**, 2010.
- Erdemir, Erdemir Ar-Ge, İsdemir Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü, Erenco A.Ş **Atık Değerlendirme Takım Çalışması Raporu**, 2011.
- Erdemir, Erdemir Ar-Ge, İsdemir Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü Erenco A.Ş **Atık Değerlendirme Takım Çalışması Raporu**, 2012.
- Erdemir, “**Çelikhane Curufunun Farklı Uygulama Alanlarında Değerlendirilmesi**”, Tübitak/MAM, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, (2002).
- Erdemir, **Sinter Fabrikası Benchmarking Notları**.
- Fiat Steel Production, **Scaling Of Steel İn Hot Strip**, Chapter 27, P 483-488.
- Gül R., Solmaz B., Boybay M., Elazığ Ferrokrom Fabrikası Cürufunun Çevre Kirliliğine Etkisi" **Doğa Bilim Dergisi**, B, 10, 1, 73- 76, (1986).

- Göksel, A., Fundamentals Of Cold Bonding Agglomeration Processes, Agglomeration, **Chapter 52, P 877-899.**
- Heaston, B.S., “**Steel Plant Slag İn Road Pavements**”, Australian Civil Engineering Transactions, Icaust, , Vol CE35, No1, (1993).
- Humbert, F., **Phd Thesis**, Nancy University, France, (1983).
- İsdemir, **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, (2006).
- İsdemir, Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü Tanıtım **İntibak Eğitimi El Kitabı**, (2008).
- İsdemir, **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, (2009).
- İsdemir, **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, (2010).
- İsdemir, Etüt Plan Proje Müdürlüğü, **Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü Raporu**, (2011).
- İsdemir, Erenco A.Ş, Sinter ve Hammadde Maniplasyon Müdürlüğü **Çelikhane Çamuru Susuzlaştırma Tesisi Raporu**, (2012).
- İ.T.Ü. **Peletlerde Kullanılacak Bağlayıcılarla İlgili Araştırma Projesi**, İ.T.Ü. Yer Bilimleri ve Yeraltı Kaynakları Uygulama-Araştırma Merkezi, Nisan, (1988).
- Karaküçük K., Yıldırım M.M., Yüksek Karbonlu Ferrokrom Cürufunun Granule Etüdü, **Rapor, 1-25**, Elazığ, (1978).
- Kazokoğlu Ş., Ceylan, O., **Sinter Fabrikasında Kullanılan Hammaddeler, Kullanış Amaçları**, Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri, (2001).
- Leclerc, Meux, E., Lecuire, J.M. “**Hydrometallurgical Extraction Of Zinc From Zinc Ferrites**”, March, France, (2003).
- Makkonen, H.T., Heine, J., Laitila, L., Hiltunen, A., Harkki, J., “**Optimization Of Steel Plant Recycling İn Finland: Dusts, Scales And Sludge**, 2002, Finland
- Özgen, O., “**Alkali, Alümina ve Çinko’nun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi**”, (2001)
- Philipp, Jurgen., Recycling Of Dusts And Sludges İn The Iron And Steel Industry, **United Nation Seminar On The Steel Industry And Recycling**, Düsseldorf (Germany), 24-27 December, (1995).
- Philipp, Jurgen., Endell, Ralf., How German Steel Industry Is Managing Waste Disposal, **Steel Techolonogy 1996**, P 275-279.

- Salihoglu L., "Su Kirlenmesi, Kirlilik Parametreleri ve Kaynakları", "Su Kirlenmesi ve Denetimi", **DSİ, 864, 15**, (1978).
- Sinter, Erenco A.Ş, Etüt Plan Proje Müdürlüğü **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, 2004.
- Sinter, Erenco A.Ş, Etüt Plan Proje Müdürlüğü **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, 2005.
- Sinter, Erenco A.Ş, Etüt Plan Proje Müdürlüğü **Atık Değerlendirme Takımı Çalışma Raporu**, 2008.
- SRK Danışmanlık Doğal Kaynaklar ve Çevre “Çinko Geri Kazanım Projesi Proje Tanıtım Dosyası” Ankara, (2007).
- Sönmez, B., Baş, E., Günay, E., Kara, M., **Erdemir Çelikhane Cürufklarının Asfalt Betonu Agregası ve Demiryolu Balast Malzemesi Olarak Kullanılması İmkamları**, (2006).
- Szekely, Julian., Steelmaking And Industrial Ecology - Is Steel A Green Material, ISIJ International, **Vol 36, No 1, P 121-132**, (1996).
- The Recuperation And Economic Utilization Of By-Products Of Iron And Steel Industry, United Nations Economic Commission For Europe, ECE Steel Series, **ECE/Steel/68, P 27-41, 60-78**, (1990).
- The Management Of Steel Industry By-Product And Wastes, **ISIJ Committee On Environmental Affairs**, Brussel, October, (1987).
- Varol A., Yıldırım M.M., "Baca Filtreleri", **5. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniğı Kongresi**, İstanbul, (1985).
- Yeniçeri, M., “**Demir Çelik Madencililiğinin El Kitabı**”, S.59–75, (2000).
- Yıldırım M.M., Malzeme Bilgisi II, Üretim Teknolojisi, F.Ü. Müh. Fak. Basımevi, F.Ü. Yayınları, **No: 64, 42-47**,(1981).
- Yıldırım M.M., **Yüksek Karbonlu Ferrookrom ve Üretimi**, Metalürji, 32,5, 17-21, (1984).

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Manisa Soma’da doğdu. Haziran 1993’de Soma Linyit Lisesinden mezun olduktan sonra, 1994 yılında İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünü kazandı. 1997 yılında tekrar üniversite sınavına girerek Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümüne kaydını yaptırdı.

2002 yılında Lisans eğitimini tamamladıktan sonra İstanbul’da iş hayatına satış mühendisi olarak başladı. 4 Ocak 2004 itibariyle İskenderun Demir Çelik A.Ş’de önce Kok Fabrikası İşletme Mühendisi, devamında Sinter Fabrikası İşletme Mühendisi olarak çalıştı. Son olarak da Laboratuvarlar Müdürlüğü Spektral Analiz Lab. Başmühendisliği görevine devam etmektedir.