



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**YÜKSEK FIRINDA
İKİ DÖKÜM ARASI
SÜRENİN OPTİMİZASYONU**

Mehmet GÖKOĞLU

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

NİSAN 2022





İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



YÜKSEK FIRINDA İKİ DÖKÜM ARASI SÜRENİN OPTİMİZASYONU

Mehmet GÖKOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2022

Mehmet GÖKOĞLU tarafından hazırlanan YÜKSEK FIRINDA İKİ DÖKÜM ARASI SÜRENİN OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.....

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Eyyüphan YAKINCI

Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.....

Üye: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Mücevherat Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

.....

Tez Savunma Tarihi: 25/04/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet GÖKOĞLU

...../...../.....

YÜKSEK FIRINDA İKİ DÖKÜM ARASI SÜRENİN OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet GÖKOĞLU

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2022

ÖZET

Günümüzde çelik, önemli bir mühendislik ve yapı malzemesi olmaya devam etmektedir. Çelik üretiminde gelişen teknoloji ile çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmesine rağmen çelik üretim sürecinde, YF'lerde üretilen sıvı ham demir (SHD) ile çelik üretimi önemli bir paya sahiptir. Son yıllarda YF'lerde iki döküm arası sürenin optimizasyonu çelik üretiminde, üretim sürekliliği ve verimliliği açısından en önemli konulardan biri haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, YF'lerde üretim ve proses güvenliğini sağlayarak iki döküm arası geçen sürenin en uygun şekilde tespiti için, YF tepesinden şarj edilen demir içerikli malzemeler-metalurjik kok, tüyerlerden enjekte edilen pulverize kömür (PCI), üflenen sıcak hava miktarı, enjekte edilen oksijen, şarj sayısı, şarj hızı, hazne boyut ölçüleri, torpedo seviye cihazlarından elde edilen SHD miktarı, cüruf için potalardan alınan cüruf miktarı değerleri ile ilgili test çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında YF'de, SHD'nin haznedeki alınmasına etki eden bu parametreler ile Minitab 20 programı kullanarak regresyon-modelleme-korelasyon çalışmaları yapılarak YF hammadde ve proses şartlarına uygun iki döküm arası optimum süre belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda iki döküm arası süreye; şarj hızı, üflenen sıcak hava miktarı, enjekte edilen oksijen miktarının etkili olduğu, ancak metalurjik kok kalitesi parametrelerinin etki etmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: YF , İki Döküm Arasındaki Sürenin Optimizasyonu, YF Haznesi, Sıvı Ham Demir, Döküm Deliği, Matkap Ucu Çapı.

Sayfa Adedi : 105

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

OPTIMIZATION OF DURATION BETWEEN TWO CASTINGS IN BLAST FURNACE

(M. Sc. Thesis)

Mehmet GÖKOĞLU

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

APRIL 2022

ABSTRACT

Today, steel continues to be an important engineering and construction material. Although various production methods have been developed with the developing technology in steel production, liquid raw iron (LRI) produced in BF's has an important share in the steel production process. In recent years, optimization of the time between castings in BF's has become one of the most important issues in steel production in terms of production continuity and efficiency.

In this thesis, ferrous materials-metallurgical coke, pulverized coal (PCI) injected from tuyères, the amount of blown hot air, the amount of injected hot air, charged from the top of BF, for the optimum determination of the time elapsed between two castings by ensuring production and process safety in BFs. Test studies were carried out on oxygen, charge number, charge speed, chamber size dimensions, LRI amount obtained from torpedo level devices, slag amount taken from ladles for slag. Within the scope of this study, regression-modelling-correlation studies were carried out using Minitab 20 program with these parameters that affect the removal of LRI from the reservoir, and the optimum time between two castings suitable for BF's raw material and process conditions was determined. As a result of these analyzes, the time between two castings; It was determined that charging speed, amount of blown hot air, amount of injected oxygen were effective, but metallurgical coke quality parameters did not.

Key Words: Blast Furnace, Optimization of Duration Between Two Castings, Blast Furnace Hearth, Liquid Raw Iron (LRI), Casting Hole, Drill Bit Diameter.

Page Number: 105

Supervisor : Assist. Prof. Dr.Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve hiçbir yardımı esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI'na sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın çeşitli aşamalarında deneyimlerini paylaşan jüri üyelerim Prof Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU'na, Prof . Dr. Mehmet Eyyuphan YAKINCI'ya yüksek lisans tezime katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmasında; saha da uygulama imkânı veren, uygulama sonucu veri elde edilmesine, analizine ve çeşitli konularda yardımcı olan; Yüksek Fırınlarda Müdürü Evren ŞAHİN'e, Yüksek Fırınlarda İşletme Başmühendisi Gökhan BAKI'ye, Mekanik Fizik Test Başmühendisi Cemre Keçeci'ye, Osman FİDAN'a, Ramazan YARAŞİR'a, Ahmet BEŞKARDEŞ'e ve Burcu SOYSAL ATAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli eşim Nursel GÖKOĞLU, oğlum İnanet GÖKOĞLU ve kızım Meyra Tuba GÖKOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışması sırasında tüm deneysel çalışmalar ve uygulama konusunda sözlü olarak izin veren, halen çalışmakta olduğum İskenderun Demir Çelik A.Ş' ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Amaç.....	7
1.2.Kapsam.....	8
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	9
3. YF'DE SHD ÜRETİM SÜRECİ.....	15
3.1. YF Prosesine Genel Bakış.....	15
3.2.YF da SHD Üretimi ve Özellikleri.....	17
3.2.1. Hazne ve Ölü Adam.....	19
3.2.2. Ölü Adam Dinamikleri.....	22
3.2.3. YF'de Malzeme Dağılımı.....	23
3.2.4. Haznede Sıvı Seviyesi.....	24
3.3. Döküm Deliği ve Döküm Pratikleri.....	25
3.4. Döküm Türleri ve Döküm Döngüsü.....	27
3.5. Dökümhane Düzenlenmesi ve Proses Verileri Türleri ve Döküm Döngüsü.....	29
3.6. YF'deki Reaksiyonlar.....	29
3.7.YF Yardımcı Birimler.....	31
3.7.1. Şarj Tesisleri.....	32
3.7.2. Sobalar.....	33
3.7.3.Gaz Temizleme.....	33
3.8. SHD'nin Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	33

4. MODEL ÇALIŞMASI.....	35
4.1. SHD ve Cüruf Üretim Tahmini.....	36
4.2. SHD ve Cüruf Drenaj Tahmini.....	38
4.3. Hazne Sıvı Seviye Tahmin Model Çalışmaları.....	39
4.3.1. Sabit Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli.....	39
4.3.2. Değişken Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli	48
5. UYGULAMA.....	44
5.1. SHD ve Cüruf Drenaj Miktarının Hesaplanması.....	47
5.1.1. SHD Drenajının Hesaplanması.....	47
5.1.2. Cüruf Drenajının Hesaplanması.....	49
5.2. Hazne Sıvı Seviyesinin Modellenmesi.....	51
5.2.1. Sabit Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli.....	51
a. Hazne Hacim Hesabı.....	51
b. İki Döküm Arasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi.....	53
c. Döküm Sırasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi.....	59
5.2.2. Değişken Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli.	62
a. Hazne Hacmi Hesabı.....	62
b. İki Döküm Arasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi.....	63
c. Döküm Sırasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi.....	64
6. ANALİZ.....	70
6.1. Minitab.....	70
6.2. Minitab 'ta Regresyon Analizi.....	71
6.3. İki Döküm Arası Sürenin Modellenmesi.....	73
6.4. Metalurjik Kok Kalitesinin Hazne Seviyesine Etkisi.....	87
7. SONUÇ.....	90
KAYNAKLAR.....	98
DİZİN.....	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Entegre demir-çelik fabrikalarında üretim akış şeması	3
Şekil 1.2. Türkiye’de çelik üretim haritası.....	4
Şekil 1.3. YF üretim akım şeması	6
Şekil 3.1. YF’nin kısımları	15
Şekil 3.2. YF’ye girdi ve çıktılar	16
Şekil 3.3. YF’de sıcaklık profili ve çeşitli bölgeler	16
Şekil 3.4. Farklı sıcaklık ve baziklikte cüruf viskozitesi	18
Şekil 3.5. YF haznesinde kullanılan karbon refrakter tuğlalar.....	19
Şekil 3.6. Hazne ölü adam gösterimi	20
Şekil 3.7. Ölü adam bölgesindeki alınan metalurjik kok numunesinin yeri (A), metalurjik kok numunesinin kesiti (B)	21
Şekil 3.8. YF hazne taban karbon tuğlalarında fil ayağı şeklinde meydana gelen aşınma.....	23
Şekil 3.9. YF’de hazne seviyesini etkileyen durumlar	25
Şekil 3.10. YF döküm deliği yapısı	27
Şekil 3.11. Hollanda TATA Steel 7 nolu YF ’da 6 adet dökümün SHD akışı(kırmızı), cüruf akışı (mavi) oranları incelenmiştir	28
Şekil 3.12. YF’deki demir cevherinin bölgelere göre şematik reaksiyonları ve sıcaklık gösterimi	30
Şekil 3.13. YF düzeneği	32
Şekil 4.1. YF’de üretim sırasında haznedeki metalurjik koklar arasında katman şeklinde SHD ve cüruf.....	36
Şekil 4.2. YF’de hazne seviyesinde kullanılan değerler	36
Şekil 4.3. Döküm Sırasında torpedo dolununun izlenmesi	40
Şekil 4.4. Torpedo dolununun tonajdan yüzde oranına dönüştürülmesi	40
Şekil 4.5. Torpedo dolununun gerçek zamanlı gösterimi	42
Şekil 5.1. İki döküm arası sürenin optimizasyonunda kullanılan yöntem ve ekipmanların şematik gösterimi.....	45
Şekil 5.2. Torpedo seviye ölçüm sistemi	45
Şekil 5.3. İki döküm arası sürenin etkin şekilde takip için yapılan hazne takip sistemi.....	46

Şekil 5.4. Torpedo dolumu sırasında radar seviyesinde alınan değerlerin seviye-2 sisteminde anlık akış hızına dönüştürülmesi.....	49
Şekil 5.5. Döküm kapalı iken 2. YF'da zamana bağlı haznede sıvı ve cüruf seviyesi yükseklikleri	58
Şekil 5.6. Döküm açık iken haznede sıvı seviyesinin izlenmesi.....	62
Şekil 5.7. Değişken metalurjik kok boşluğu ile zamana bağlı 4 dökümde elde edilen hazne seviyesi.....	63
Şekil 6.1. Veri analizinde işlem akış şeması.....	71
Şekil 6.2. Minitab 20 istatistiksel analiz programında cart regresyon modülü.....	74
Şekil 6.3. İki döküm arası süresini etkileyen parametrelerin dağılım yüzdesi.....	75
Şekil 6.4. Minitab 20 istatistiksel analiz programında best subsets regresyon modülü...	76
Şekil 6.5. Minitab 20 istatistiksel analiz programında fit regresyon modülü.....	79
Şekil 6.6. Minitab 20 istatistiksel analiz programında response optimizer modülü.....	82
Şekil 6.7. Maksimum şarj hızına(şarj sayısı/saat) bağlı olarak optimum iki döküm arası sürenin belirlenmesi.....	83
Şekil 6.8. Minitab 20 istatistiksel analiz programında capability analysis modülü.....	85
Şekil 6.9. Process Capability Modülü kullanılarak iki döküm arası sürenin yeterlilik sürecinin analiz edilmesi.....	86
Şekil 6.10. Metalurjik kok stabilite değerinin şarj sayısına etkisinin Minitab Analiz programında analiz edilmesi.....	89

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya çelik üretiminde ilk 10 ülke ve üretim miktarları	2
Çizelge 1.2. 2017 yılında dünya çelik üretiminde; YF, EAO ve DRI üretim oranları.	4
Çizelge 3. 1. YF’de gerçekleşen reaksiyonlar	30
Çizelge 4.1. Torpedo dolumu sırasında radar seviye cihazından alınan değerler.....	38
Çizelge 5. 1. Torpedo dolumu sırasında doluluk oranı, sıvı seviyesi ve tonaj miktarı.	48
Çizelge 5. 2. Çalışma yapılan 2.YF Hazne Parametreleri.....	52
Çizelge 5. 3. YF hazne verileri, YF şarj verileri ve formüller kullanılarak elde edilen döküm arası süre.....	54
Çizelge 5. 4. 2.YF hazne verileri, YF şarj verileri ve formüller kullanılarak elde edilen iki döküm arası süre verileri.....	56
Çizelge 5. 5. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için kullanılan veriler.....	60
Çizelge 5. 6. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için elde edilen veriler tablosu.....	67
Çizelge 6. 1. Regresyon eşitliğinin gösterimi.....	73
Çizelge 6. 2. Regresyon eşitliğinde R-Sq değerinin gösterimi.....	72
Çizelge 6. 3. Varyans analizinde P değerinin gösterimi.....	72
Çizelge 6. 4. İki döküm arası sürenin modellenmesinde kullanılan parametreler.....	77
Çizelge 6. 5. Şarj hızı (şarj sayısı/saat) modellenmesinde kullanılan regresyon analizi ve varyans analizleri.....	80
Çizelge 6. 6. İki döküm arası sürenin optimum değerleri.....	81
Çizelge 6. 7. Metalurjik kok stabilite değerinin ortalama şarj sayısına etkisinin Minitab Analiz programında regresyon analizi.....	88
Çizelge 7. 1. 2017-2021 yılları arasındaki dökümlerin açma süreleri ve optimum açma süre yönünden incelenmesi.....	92

iv SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
mm	Milimetre
m	Metre
t/m³	Yoğunluk
mm³	Milimetreküp
m³	Metreküp
kg	Kilogram
°C	Celcius
C	Karbon
S	Kükürt
Fe	Demir
Fe₂O₃	Hematit
Fe₃O₄	Manyetit
Si	Silisyum
P	Fosfor
Zn	Çinko
K	Potasyum
FeO	Wüstit
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
CO₂	Karbon dioksit

Kısaltmalar	Açıklamalar
BLT	Çansız Tepe Sistemi
SHD	Sıvı ham demir
PCI	Pülverize kömür enjeksiyonu (pulverized coal injection)
TSHD	1 ton sıvı ham demir
TSHD/gün	Günlük üretilen ton sıvı ham demir.
ETACO	CO verimliği (Carbon monoxide efficiency)
EAO	Elektrikli ark ocağı
YF	Yüksek Fırınlar
EMF	Elektromotor kuvvet
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
S	Standart Sapma
R-sq	R-Kare
DF	Serbestlik Derecesi
F	F Değeri
Regression	Regresyon
SS	Serbestlik Derecesi
SE	Standart Hata
Adj SS	Düzeltilmiş kareler toplamı
Chi-Square	Ki-Kare Testi

1. GİRİŞ

YF'ler de (YF) tüyerlerden üflenen sıcak havanın demir cevheri ve metalurjik kokuyla reaksiyona girmesi SHD (sıvı ham demir) ve cüruf, YF tabanında bulunan haznede birikmektedir. Haznede biriken SHD ve cürufun, fırın şartlarına göre belli periyotlarla özel tasarımı matkap kullanılarak döküm açma yöntemi ile drenajı yapılmaktadır. Haznedeki SHD ve cürufun drenajı tamamlandıktan sonra ise özel tasarımı çamur topu içine döküm deliği çamuru doldurularak döküm deliği kapatılmaktadır. Döküm kapatılıp tekrar döküm açılana kadar geçen zaman ise iki döküm arası süre olarak adlandırılmaktadır. İki döküm arası süre; fırın hacmi, çalışma şartlarına göre değişmektedir. Bu tez çalışması ile sarj hızı, hava debisi, oksijen miktarı, torpedo seviye ölçüm değerleri gibi parametreler ile YF proses ve işletme şartları ile ilişkili denemeler yapıp, elde edilen sonuçlar Minitab 20 programı kullanılarak regresyon-modellemeler ile korelasyon analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma ile, YF şartlarına göre optimum iki döküm arası sürenin optimizasyonunu sağlayarak; döküm arası sürenin uzaması ve haznedeki sıvı seviyesinin yükselmesi sonucu fırına hava üfleyen su soğutmalı tüyerlerin hasarlanması, döküm arası sürenin kısa olmasına bağlı olarak ise döküm kapatmada kullanılan döküm deliği çamurunun tam kürleşmemesine bağlı çevre emisyonları gibi üretim ve proses güvenliği açısından sorun oluşturan problemleri önlemektir.

Entegre demir çelik fabrikalarında verimlilik açısından YF önemli bir role sahiptir. YF 'de verimliliği etkileyen husus ise üretim sürecinde haznedeki SHD ve cüruf seviyesinin izlenmesi olup bunun için iki döküm arası sürenin optimizasyonu önemlidir.

YF'de SHD üretim sürecinde yakıt tüketiminin azaltılması, SHD maliyeti, işletme giderleri maliyeti açısından çok önemlidir. Bu yüzden son yıllarda 4000 m³ ve üzerinde YF inşa edilmeye başlanılmıştır. Ancak büyük hacimli fırınlarda en önemli sorun haznedeki sıvı seviyesinin izlenmesi ve iki döküm arası sürenin yönetimi olduğu için bu konu ile ilgili Çin, Almanya, Güney Kore, Japonya da bu konuda birçok araştırma yapılmıştır [1].

İki döküm arası sürenin optimizasyonu için haznede biriken SHD ve cüruf seviyesinin izlenmesi, elektromotor kuvvet ile ölçüm sistemleriyle denemesi yapılmaya çalışılmıştır. Ancak YF haznesinin aşırı sıcak olması, gerçekleşen kimyasal reaksiyonların etkisi gibi zorlu koşullar olması nedeniyle bu yöntemler çok başarılı olmamıştır. Bunun yerine, döküm sırasında alınan SHD, cüruf miktarı ve şarj edilen demirli malzeme ölçümü ile hazne seviyesinin matematiksel modeller ile geliştirilmesi ön plana çıkmıştır [2].

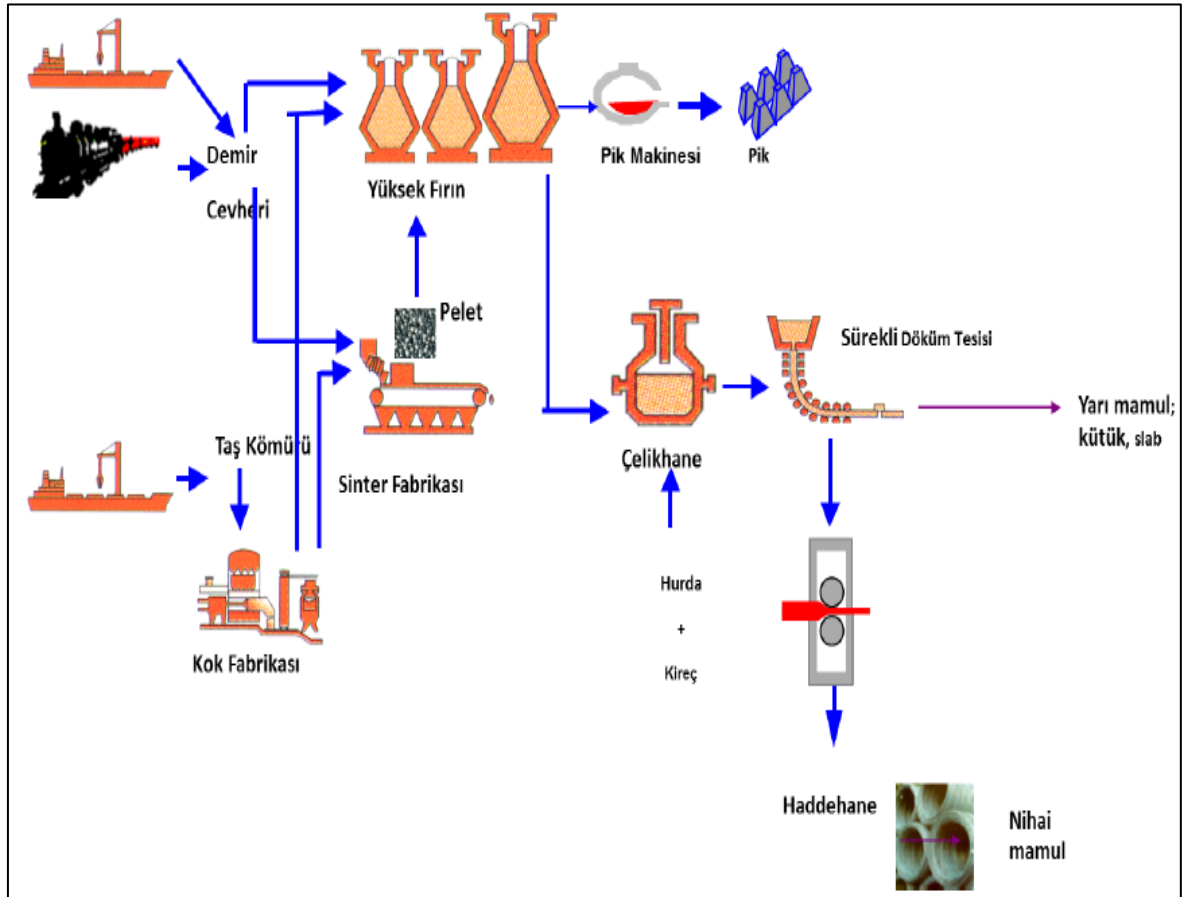
Çizelge 1. 1. Dünya çelik üretiminde ilk 10 ülke ve üretim miktarları [3]

Sıralama	Ülke	2020 (Mt)	2019 (Mt)	2018 (Mt)
1	Çin	1053	1001,3	920
2	Hindistan	99,6	111,4	109,3
3	Japonya	83,2	99,3	104,3
4	Rusya	73,4	71,6	72,1
5	ABD	72,7	87,8	86,6
6	Güney Kore	67,1	71,4	72,5
7	Türkiye	35,8	33,7	37,3
8	Almanya	35,7	39,6	42,4
9	Brezilya	31,0	32,6	35,4
10	İran	29,0	25,6	24,5

Çizelge 1.1’de verilere göre 2020 yılında dünya çelik üretiminde Çin %67’lik üretim ile dünyada üretilen çeliğin yaklaşık yarısını sadece kendisi üretmiş olup bu pazarda liderdir. Çin, 2020 yılında 1 milyar ton üzerinde çelik üretimi yapmıştır. Dünya çelik birliğinin yayımlandığı bilgilerden hazırlanan [3] Çizelge 1.1.’e bakıldığında ise 2020 yılında dünyada üretilen çeliğin %67’lik bölümünü Çin tek başına üretmektedir [3].

Çelik, günümüzde mühendislikte kullanılan en temel malzemelerden biri olup inşaat sektöründe, beyaz eşya sektörü, vb. birçok yerde çok geniş kullanıma sahiptir. Bu kadar çok çeşitli alanda kullanılmasından dolayı ilgi çekiciliğine devam ettirmesine neden olmaktadır. Son yıllarda Çin gibi ülkelerde devasa binaların yapımıyla özellikle inşaat sektöründe çelik talebini artırdı[6].

Çelik üretiminde iki farklı yöntem olup bunlardan birincisi demir hammaddesinden YF’de üretilen SHD’nin oksijen konverterlerinde de sıvı ham çelik üretim süreci, diğeri ise EAO’nda sıvı ham çelik sürecidir (Bknz. Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Entegre demir-çelik fabrikalarında üretim akış şeması [6]

Demir cevherinden SHD üretiminde YF’de toplam SHD üretiminin dünya genelinde %91,7 orana sahip olup, diğeri kısım ise DRI (Direk redükleme ile SHD üretimi) fırınları gibi yeni teknolojilerle üretilmektedir [5]. Sonuç olarak Çizelge 1.2’de gösterildiği gibi dünyada çelik üretiminin %70’i YF’deki SHD oksijen konverterlerinde olduğu belirtilmiştir. SHD üretim sürecinde yeni üretim teknikleri YF’lerin yanında hala düşük oranda olması YF ile üretim tekniğinin bir süre daha egemen kılacağı anlamına geliyor. Ancak son yıllarda artan üretim talebi ile birlikte daha verimli YF’lerin ihtiyacını da artırmıştır. Bu verimlilikleri artırmak için yeni modellerin geliştirilmesi elzem hale gelmiştir.

Çizelge 1. 2. 2017 yılında dünya çelik üretiminde; YF, EAO ve DRI üretim oranları [7].

Ülke	YF %	EAO (%)	DRI (%)
Çin	90,7	9,3	
Japonya	75,8	24,2	
ABD	31,6	68,4	
Hindistan	44,2	55,8	
Rusya	66,9	30,7	2,4
Güney Kore	67,1	32,9	
Almanya	70	30	
Türkiye	30,8	69,2	
Brezilya	77,6	21	
Ukrayna	71,8	6,8	
Dünya	71,6	28	0,4



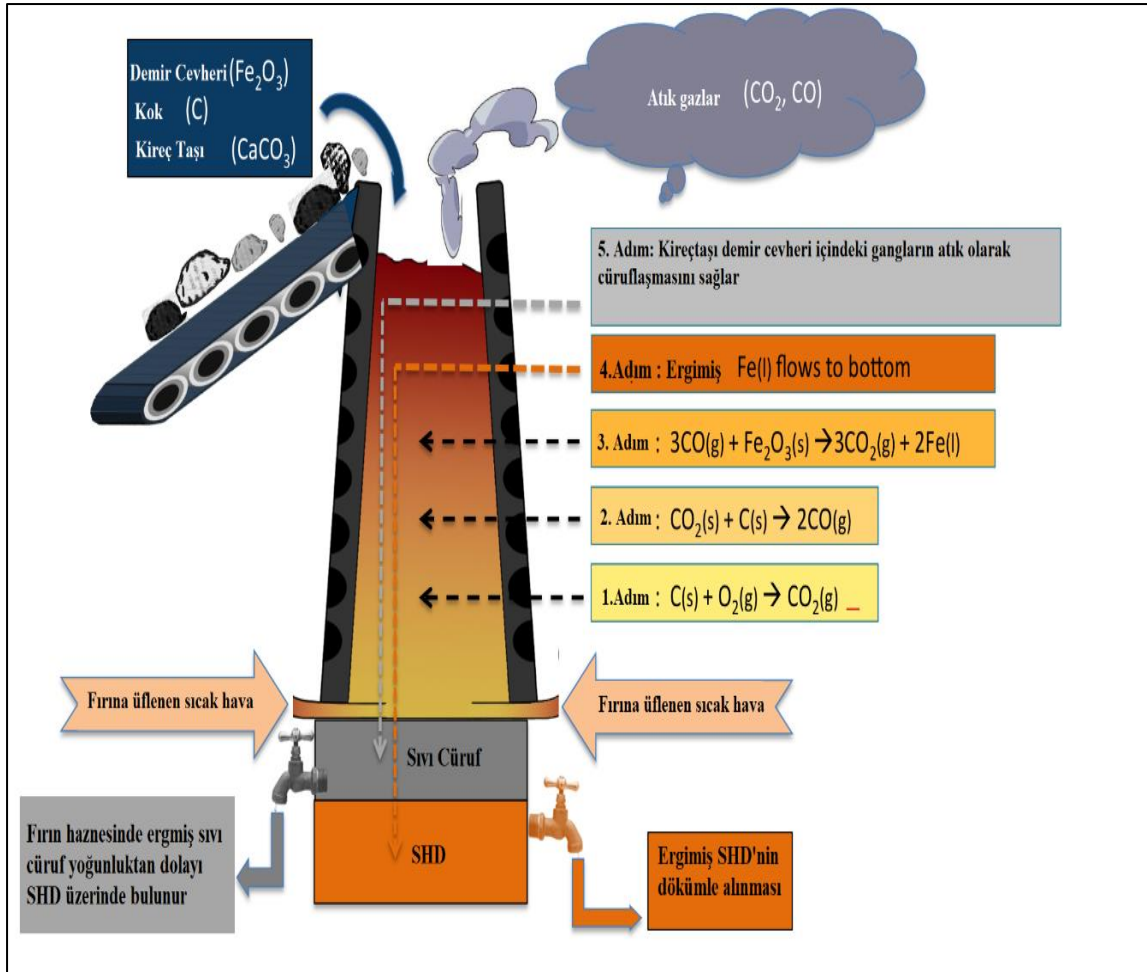
Şekil 1.2. Türkiye’de çelik üretim haritası [8]

Ülkemizde 2020 yılında 35,8 milyon ton/yıl sıvı çelik üretilmiştir. Bu üretimin 11,5 milyon ton/yıl miktarı entegre demir çelik tesisleri YF tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye çelik üretiminde; dünyada 64 çelik üreten ülke arasında 7. ve Avrupa'da 1. sırada bulunmaktadır [9]. Ülkemizde İskenderun Demir ve Çelik Fabrikası'nda 4 adet, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası'nda 2 adet ve Karabük Demir ve Çelik Fabrikası'nda 5 adet olmak üzere toplam 11 adet YF mevcuttur [9].

Türkiye'de EAO ile üretim yapan firmalar; Asil Çelik, Tosçelik, İçdaş, Habaş, İzmir Demir Çelik, Kaptan, Diler, Ekinciler Demir Çelik, Yazıcılar Çelik 'dir [10].

Bunun yanında ülkemizde çelik üretiminde %70 oranında pay, elektrikli ark ocaklarında hurda çeliğin ergitilmesiyle üretilen çeliktir [9].

Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi YF'de SHD elde etmek amacı ile cevher, pelet, sinter gibi demir içerikli hammaddeler cüruf elde etmek ve oluşacak cürufun özelliklerini ayarlamak için kireç taşı, kuvarsit, dolomit, olivin gibi oksit içerikli hammaddeler, ısı elde etmek için metalurjik kok, kömür, katran, sıvı yakıt (fuel oil) gibi karbon içerikli hammaddeler kullanılmaktadır. YF'de üretim sürecinde, fırın tepesinden BLT (Bell less top: çansız tepe sistemi) sistemi ile şarj edilen hammadde sıcak hava ile redüklenerek haznede SHD ve cüruf olarak birikmektedir. Haznede sıvı pik ve cüruf seviyesi belli bir miktara yükselince fırın açılarak sıvı pik torpedolara refrakterli kanallar vasıtasıyla alınır. Haznedeki SHD ve cüruf üfleme olarak saçaklı şekilde akmaya başladığı durumda, fırın çamur topu içine doldurulan döküm deliği çamuru ekstrüzyon yöntemi kullanılarak kapatılır. YF üretim prosesi ve üretimi sürekliliği açısından önemli bir yere sahip olan döküm açma-kapama arasındaki geçen zaman iki döküm arası süre olarak adlandırılır [9].



Şekil 1.3. YF üretim akım şeması [2]

YF' de iki döküm arası sürenin hesaplanmasında önemli olan hazne (Hearth) bölümü YF'nin alt tarafındaki silindirik kısım olup, içerisinde SHD ve cüruf toplanır. Haznenin üst bölümüne bakırdan yapılmış 22-24 adet üfleme borusu yerleştirilmiştir. Su ile soğutulan bu üfleme borularından tüyerler yardımıyla YF 'ye hava üflenmektedir. Haznenin en alt kısmında ise SHD'nin boşaltılması için kullanılan döküm delikleri bulunmaktadır. Bu delik her döküm işlemi sonunda refrakter esaslı döküm deliği çamuru ile kapatılır.

Mevcut uygulamada, YF'lerde iki döküm arası sürenin proses ve işletme şartlarına göre optimize edilmemesinin sonuçları aşağıdadır;

- YF haznesindeki SHD ve cüruf boşaldıktan sonra fırında döküm kapatılmadığı takdirde tüyerlerden verilen sıcak hava daha kolay olan döküm deliğine yönlendirilerek çevre emisyonuna (toz, gaz yayılımı vs.) neden olabilmektedir.
- YF' de dökümü kapatıldıktan sonra fırın haznesi (hearth) içinde, yoğunluk farkından dolayı üstte cüruf ve alta SHD olacak şekilde SHD ve cüruf birikmeye başlar. Eğer YF' de, torpedo manevrasının gecikmesi, döküm açma matkabının hazır olmaması gibi nedenlerden dolayı döküm açma işleminin gecikmesi durumunda ise hazne içindeki SHD ve cüruf seviyesi yükselerek, fırına sıcak hava üflemesini sağlayan su soğutmalı bakırdan imal edilen tüyerlere temas etmesi neticesinde tüyerlerin yanıp hasarlanmasına neden olmaktadır. Bu durum sonucu fırın duruşuna bağlı olarak; ortalama 3 saat duruş ve yavaş çalışması sonucu ciddi üretim kayıpları olmaktadır ve prosesin çalışma ideal rejimine ulaşma süresini ise ortalama 8 saat gibi uzatmaktadır.
- YF'nin haznesinde yeterli SHD ve cüruf birikimi oluşmadan döküm açılarak SHD alınması sonucu döküm süresinin azalmasına bağlı olarak günlük döküm sayısı %1.25 artmaktadır [4]. Bu durum sonucunda; dökümde kullanılan döküm deliği çamuru, matkap ucu gibi, sarf malzemelerde sarfiyatın artması ve daha fazla iş gücü ve proses işletme maliyetinin artması gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Yapılan araştırmalarda, iki döküm arası süresinin YF çalışma şartlarına göre belirlenmemesi sonucu yukarıda belirtilen olumsuzlukların yanında, YF haznesinin de zarar görmesine neden olduğu görülmüştür.

Bu yüzden fırın çalışma şartlarına göre iki döküm arası süresinin belirlenmesi için, hazne izleme seviye sistemi kurulum araştırılması yapılmış olup hazne seviyesini etkileyen şarj hızı (şarj sayısı/saat), metalurjik kok kalitesi, fırına üflenen hava debisi gibi unsurların verileri Minitab 20 programı ile analizi yapılmıştır.

1.1. Amaç

Çalışma yaptığımız YF'de, iki döküm arası sürenin sağlıklı olarak belirlenmemesinin sonucu;

- YF’de SHD üretim sürecinde haznede yeterli SHD birikmeden döküm açıldığı durumda, döküm süresi az olmaktadır. Buna bağlı ise günlük döküm sayıları %1,25 oranında artmıştır [4].
- Çalışma yaptığımız fırın tek döküm deliği ile çalışmakta olup döküm sonu döküm deliği kapatılmasında kullanılan döküm deliği çamurunun en az 25 dakika kürleştikten sonra dökümün açılması gerekmektedir. Bu sürenin altında döküm açıldığı durumda kürleşmeyen döküm deliği çamuru içindeki uçucu maddelerin SHD ile reaksiyonu sonucu çevre emisyonları oluşmaktadır [4].
- Çalışma yaptığımız YF’de, iki döküm arası sürenin fazla olması sonucu haznede sıvı seviye yükselerek tüylerden malzeme gelmesi ihtimali ve tüy yanması sonucu plansız fırın duruşları olabilmektedir. Bu durum sonucunda ise üretim kayıpları, ekipman maliyeti, gibi olumsuz sonuçlar olabilmektedir.

Bu olumsuzlukları önlemek için iki fırın çalışma şartlarına göre optimum iki döküm arası sürenin belirlenmesi çalışması ile sorunun çözülmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Bu tezde YF haznesi ve döküm deliği ile ilgili yapılan modeller ve YF genel prosesi hakkında bilgilere yer verilmiştir. YF’de SHD üretimi sırasında haznedeki SHD seviyesi, iki döküm arası süreyi etkileyen en önemli unsur olup bununla ilgili yapılan makale araştırmaları incelenmiştir. Bu makalelerin çoğunluğunda; döküm sırasında alınan SHD miktarının torpedo seviye cihazlarından ölçümü ile elde edilen veriler, demirli cevher (pelet, sinter, parça cevher) şarj miktarı verileri, döküm açılma ve kapanma verileri ile matematiksel model oluşturulması ön plana çıkmıştır.

Bu kapsamda çalışma yaptığımız YF’de, torpedo seviye cihazı montajı yapılarak seviye cihazından elde edilen değerler, döküm açma ve kapama verilerinin doğru şekilde yapılması için yapılan iyileştirme sonrası döküm açma- kapama verileri ve şarj edilen demir cevheri miktarının değerleri kullanılarak hazne izleme seviye sistemi kurulmuştur. Kurulan hazne seviye izleme sistemi iki döküm arası süre daha etkin izlenerek elde edilen test çalışmaları Minitab 20’de analiz edilerek değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

YF haznesinden döküm sırasında düzgün drenajın olması verimli bir yüksek fırın operasyonunun sürdürülmesi için temel ihtiyaçlardan biridir [11]. Bu konu ile ilgili yapılan model çalışmalarından biri Hele–Shaw modelidir. Bu model çalışmasında başlangıç SHD ve cüruf miktarları, döküm süresi ve basınç değişimleri incelendi [12].

Günümüzde büyük hacimli ve 4 döküm deliğine sahip YF'ler inşa edilmeye başlandı. Roche bunu göz önüne alarak döküm deliği sayısına bağlı modeller geliştirdi [13].

YF'de sıvı drenajı için detaylı bilgiler üretmek için akışkanlar dinamiği üzerine simülasyonlar yapılmıştır. Nishioka ve diğerleri YF'den 3 boyutlu sıvı akış modeli üzerine yöntemler geliştirmiştir.[14,15]

Park ve diğerleri haznedeki sıvı model için fırın iç dinamiğindeki, metalurjik kok boyutu, metalurjik kok boşluğu, ölü adamın etkilerini inceledi [16].

YF üretim sürecinde SHD ve cüruf üretilmekte olup farklı yoğunluklara sahiptir. Farklı yoğunluktaki SHD ve cürufun akışkanlıkları üzerine model geliştirilmiştir [17].

Bambauer ve diğerleri YF içindeki katı gaz bölgelerindeki akışkanlarında dikkate alarak model geliştirdi [18]

YF'de gaz-katı-sıvı ara yüzeylerinin davranışının önemini ve karmaşıklığı nedeniyle, YF'de ara yüzey birçok küçük ölçekli çalışmalar yapılmıştır[19-21].

Fukutake ve Okabe YF haznesinde ara yüzey hareketlerini yaptığı deneylerle gözlemledi [22]. Araştırmacılar, YF haznesindeki ara yüz seviyelerini çevrimdışı ve çevrimiçi araçlarla tahmin eden basit modeller geliştirdi [23-28]. SHD ve cürufun akışkanlar dinamiğine göre hesaplanması veya kombinasyonuna göre karmaşık durumdaki ara yüz olaylarını incelemek için ciddi uğraşlar yapılmıştır [29-31].

YF prosesini tahlil etmek, YF içindeki farklı özellikteki karmaşık davranışlarını ortaya koymak için en iyi en verimli yöntemlerden biridir [32-34].

YF'de kohezif ve ölü adamda metalurjik kok-gaz etkileşim ve metalurjik kok arasındaki kanallardan SHD ve cürufun damlama şeklinde olanak sağlaması proses tahlinini ön plana çıkartmaktadır [35-36].

YF'ler metalurjik kok önemli bir role sahiptir. Çünkü metalurjik kok; SHD üretimi için ısı kaynağı, demir cevherini indirgeme ve SHD içindeki karbon kaynağı görevlerini yerine getirmektedir. Bu iki görev doğalgaz, hidrojen gibi kaynaklardan sağlanabilir. Ancak YF'lerde metalurjik kokun en önemli görevi vazgeçilmez olmasının nedeni kohezif bölge ve ölü adamda tek katı halde olması nedeniyle gaz ve sıvı geçirgenliğine olanak sağlar [37].

Metalurjik kokun kompozisyonu ve yapısı fırın tepesinden hazneye doğru indikçe değişir [38-40].

YF'de ölü adam destek görevi yapar. Bunun yanında ölü adamdaki metalurjik kok bileşimi SHD ve cüruf geçirgenliğini etkiler [41-42].

Metalurjik kokun boyut dağılımı, metalurjik kok katmanlarının kalınlığı ve sayısı, YF'nin normal çalışması için çok önemlidir. Bu yüzden çalışma yaptığımız YF'de metalurjik kok elenerek 30 mm üzerinde boyuta sahip metalurjik kok şarjı yapılmaktadır. [43-44].

YF haznesinde döküm sırasında yetersiz sıvı metal ve cüruf drenajı operasyonel problemlere neden olur. Bu problemin sebebi ise cüruf yüzeyi ile çıkış yolu arasındaki mesafenin kısa olmasındandır. Ayrıca sıvı yükselmesi sonucu "*ölü adamdaki*" metalurjik kokların yüzmeye başlaması ile düzensiz malzeme inmesi meydana gelmektedir. Bu durum fırında soğuma diye tabir edilen proses bozukluğuna neden olur. Bu nedenle fırın operatörlerinin haznedeki sıvı malzeme drenajını yöneten mekanizmaları anlamaları ve haznedeki sıvı seviyesinin içerdeki durumunun bilinmesi önemlidir. Bu bilgi haznedeki sıvıların uygun şekilde boşaltılması için gerekli şartları yerine getirmek ve böylelikle haznedeki karbon tuğlaların aşınmasını minimum seviyede tutarak olası proses kazalarının önüne geçmek için çok önemlidir. Ne yazık ki fırın içindeki yüksek sıcaklık, çok fazla kimyasal reaksiyonların oluşması, hareketli sıvılar gibi zorlu koşulların bir arada olması nedeniyle haznedeki sıvı seviyesini ölçmek çok zor olmaktadır. Bu nedenden dolayı hazne içindeki sıvı seviyesi ve döküm sırasındaki sıvı drenaj hesaplaması, tahmin yöntemiyle modellenebilmektedir [45].

Yükse fırın haznesin de biriken SHD ve cürufun döküm ile boşaltılması sırasında koşullar farklılık gösterebilir. Haznedeki SHD ve cüruf seviyesinin yükselmesi ile haznedeki ısınmamış bölgelerde karbon tuğlaların aşınmasını tetikleyebilir. Haznedeki blokların aşınması sıvı seviyesinde dalgalanmalara yol açmaktadır. Bunun yanında yapılan

çalışmalarda farklı döküm deliği uzunluğu ve farklı sıcaklıklarda üretilen SHD miktarının farklı olduğu görölmüştür [46].

YF'lerde tüyerlerden enjeksiyon yöntemiyle yakıt olarak pulverize kömür (PCI) kullanılmaktadır. YF'lerde SHD ve cürufun biriktiği yer hazne olarak adlandırılmakta olup haznedeki biriken SHD ve cüruf periyodik döküm açma işlemleri ile boşaltılmaktadır. Etkili bir YF yönetimi için döküm sırasında hazne içindeki SHD ve cürufun yeterli bir döküm hızında tamamen boşaltılması gerekmektedir. Entegre demir-çelik tesislerinde YF ana üretim tesisidir. Geçen yüzyılda YF boyutları küçük olup döküm deliği sayısı maksimum 2 adetti.

Son yıllarda modern YF'lerin tepesinde bulunan malzeme dağıtan şarj sistemi çansız tepe sistemi olması ve fırınların dört döküm deliğine sahip olmaları ile SHD üretimin verimliliğinde artış oldu. Eski fırınlardan farklı olarak, modern YF'ler herhangi bir zaman aralığında en az bir döküm deliğinin aktif olarak çalışması ile YF'ler tam kapasite ile çalışması sağlanarak SHD üretim maliyetine ciddi katkıları sağladı. Haznedeki SHD ve cürufun alınması belli bir periyotta matkap kullanılarak yapılması gerekmektedir. Bunun yanında haznede biriken SHD ve cürufun döküm açma işleminde uygun döküm hızı ile alınması için döküm açma işleminde uygun matkap ucu kullanılması gerekmektedir. Döküm açma ve kapama işlemlerinde döküm deliği çamuru, matkap çubuğu ve matkap ucu gibi ciddi maliyeti olan sarf malzemeleri kullanılmaktadır. Verimli ve istikrarlı YF işletmeciliği için uygun SHD ve cüruf drenaj oranının olması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında hazne seviyesi simülasyon metodu için kütle dengesini kullanılarak yüzen bir "ölü adam" olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmalarda ayrıca döküm alma sırasında cürufun gecikmesi ele alınmıştır. Çünkü döküm sırasında cürufun gecikmesi hazne seviyesini yükselmesi sonucu sıvı cürufun tüyerlere teması sonucu deforme olmaktadır. Deforme olan tüyer proses açısından riskli olduğu için fırın duruşa alınarak değişimi yapılmakta olup bundan dolayı üretim kayıpları oluşmaktadır. Araştırmacılar Finlandiya'da Rautaruukki Steel firmasında 3500 TSHD/gün kapasiteye sahip YF'de döküm sırasında SHD miktarını torpedo üzerine koydukları radar sinyali ile yaptıkları ölçümden cüruf miktarını ise, cüruf taşıma amaçlı kullanılan konveyör bant tamburundaki kantardan alarak hesaplamışlardır. Döküm sırasında hesaplanan bu değerler şarj edilen hammadde ile birlikte modellenerek hazne modeli, döküm kapanma zamanı modeli ortaya çıkmıştır [47].

YF , dünyadaki çelik yapımında kullanılan SHD için birincil üretim süreçlerinden en önemli yere sahiptir. Fırının en alt kısmında üretilen SHD ve cürufun geçici olarak depolandığı hazne kısmı bulunur. Hazne kısmında biriken SHD'nin ve cürufun döküm açma yoluyla alınması için fırın hacmine göre 2-4 adet arasında döküm deliği bulunmaktadır. Hazne, fırın işlemeciliği açısından çok önemli bir yere sahip olup, SHD bu kısımda kimyasal kompozisyon ve sıcaklık olarak nihai haline ulaşır. Burada biriken SHD ve cürufun sorun olmaksızın düzgün şekilde tam boşaltılması fırın prosesi açısından önemlidir. Normal şartlarda YF hazne tamiri 20-25 yıl arasında olması ekonomiktir. Çünkü hazne kampanyası için fırının tamamen boşaltılarak uzun süre duruşa alınması gerekmektedir. YF'nin 20-25 yıl gibi sürede sürekli aktif olarak çalışması için haznenin durumu çok önemlidir. Ancak hazne içindeki yüksek sıcaklıktaki SHD-cüruf, kimyasal malzemelerin etkisi, vb. koşullar nedeniyle haznedeki karbon refrakter tuğlalarda aşınmalar meydana gelmekte olup bu aşınmanın nerde hangi ölçüde gerçekleştiği fırın üretim halinde iken bilinmemektedir. YF'de haznede bulunan döküm deliğinde döküm sırasında SHD ve cüruf tamamen boşaldıktan sonra döküm deliği çamuru ile kapatılır. Belli bir süre sonra döküm için özel tasarım matkap ile fırın açılıp hazne içindeki SHD ve cüruf ana kanala alınır. Ancak açma işleminde matkap ucu hazne seviyesinde bulunan SHD'ye denk gelmişse sadece SHD gelir. Döküm esnasında döküm deliği çamurundaki aşınma SHD/cürufun kimyasal yapısı ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bundan dolayı döküm sırasında SHD ve cürufun akış hızlarında değişiklikler olabilir. Büyük kapasiteli YF'ler 2 adetten fazla döküm deliğine sahip oldukları için hazne içindeki sıvı seviyesinin düzensiz olmaması için belli bir sıraya göre açılır. Haznedeki cüruf seviyesinin yükselmesi kaçınılmaması gereken bir durumdur. Çünkü cüruf seviyesi yükseldiği durumda, malzeme inişlerinde problemlere neden olabilir. Döküm sırasında üfleme şeklinde saçaklı olması cürufun içindeki gazın döküm deliğinden çıkmasından kaynaklanır. Bazı araştırmacılar YF hazne seviyesi için izleme sistemleri kurulmasını önermişlerdir. Bunun için döküm sırasında alınan SHD ve cürufun tartılması veya kütle dengeleri belirtilerek oksijen dengesi hesaplarından yararlanılması öngörülmüştür. Ayrıca haznedeki sıvı seviyesi gerçek zamanlı olarak ölçülmek isteniyorsa kısa süreli çıkış gazları değerleri, ETACO (CO verimliliği: Carbon monoxide efficiency), çıkış gazı sıcaklığı dikkate alınmalıdır. Sıvı haznesi seviyesi için iki farklı yöntem uygulanmış bunlardan birincisi sabit cüruf çıktısı kabul edilerek oksijen tüketimine bağlı

redüklenen demir cevherinden üretilen SHD ve cüruf miktarının hesaplanması yöntemi, ikincisi ise döküm sırasında alınan SHD miktarının torpedo radar izleme sisteminden hesaplanan ağırlığı ve cüruf miktarının granüle sisteminden gerçek ağırlığı ile hesaplanan yöntemdir. Bunun dışında farklı yöntemler teorik olarak önerildi. Ancak bunların teknik olarak uygulanması imkansızdı. “Xianfeng Hu” çalışmasında genel olarak hazne seviyesinin modellenmesi için dökümde alınan SHD ve cüruf miktarı yanında fırın içinde oluşan basınç, sıcaklık değişimi gibi etkenlerinde dikkate alınmasını önerdi [48].

2017 yılında dünya çelik üretiminde YF’lerin payı %70 olup, çelik üretim sürecinde maliyet unsurunu azaltmak ve sürekliliği sağlamak gerekmektedir (Çizelge 1.2). Bunun için YF’lerin; verimlilik, yakıt azaltıcı, uzun ömürlü kampanya, vb. iyileştirmelerin sürekli yapılması gerekmektedir. YF’lerin uzun ömürlü çalışmasının en önemli koşulunun SHD üretimi sırasında istikrarlı fırın ile haznenin durumunun iyi olmasından geçtiği birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir.[50]. Hazne YF’lerin en altında bulunan karbon bloklar ile örülmüş yer olup burada SHD ve cüruf birikerek belli bir periyotta açılan döküm ile döküm deliğinden SHD ve cürufun alındığı yerdir. Haznede en çok aşınan kısmın döküm deliği yanında SHD, cüruf, cüruf gazı gibi kimyasallara maruz kalan yerlerdir. Bu yüzden fırın haznesinden biriken SHD ve cürufun döküm açma yöntemiyle yönetmenin çok önemli olduğu belirtilmiştir [7].

YF haznesi; sıvı drenajı, enerji tüketimi, SHD kalitesi, SHD verimliliği, haznede bulunan karbon tuğlaların aşınması gibi konular birçok araştırmacının araştırmasını sağlamıştır [7].

YF haznesinde; metalurjik kok, SHD ve cüruf bulunur. Haznede koni şeklinde duran metalurjik kokların arasındaki boşlukta ise SHD ve cüruf bulunur. SHD ve cüruf metalurjik kok ile kimyasal tepkime, ısı transferi ve malzeme transferini sağlar. Haznede kimyasal tepkime ve ısı transferi sırasında; SHD ve cürufun metalurjik koklar arasındaki akışı sırasında SHD’ye karbon geçişi, cüruftaki FeO ’in azalması ve cüruf baziklik ayarlanması gibi olaylar gerçekleşir [15].

LKAB firmasının deneysel olarak tasarlanmış YF ’sinde demirli malzeme olarak pelet kullanımının yanı sıra SHD üretimini optimize etmek için kullanılmaktadır. Bu deneysel fırın bir adet döküm deliği 120° açıyla dağıtılmış 3 adet tüyer ve 8.2 m³ çalışma hacmine sahip YF haznesindeki SHD, cüruf ve metalurjik kok arasındaki ilişkiyi anlamak için

hazneden karot ile numuneler alınmıştır. Bu numunelerin analizi ile hazne hakkında yeni bilgilere ulaşılması hedeflenmektedir.[15].

YF'nin alt kısmı olan hazne, SHD ve cürufun birikip buradaki döküm deliğinden tahliye edildiği için YF açısından çok önemlidir. Çünkü;

- Hazne durumu fırının ömrü açısından önemlidir. Normal şartlarda haznedeki karbon blok tuğlaların değişimi ortalama 20 yıl sonra yapılmaktadır.
- SHD ve cüruf ölü adam ve haznedeki metalurjik koklar arasındaki boşluklara geçerek döküm deliğinden SHD ve cüruf olarak akması süreci karmaşık hale getirir.
- Ancak üretim sürecinde önce SHD, sonra cüruf gelerek döküm deliğinde birlikte boşalabilir.

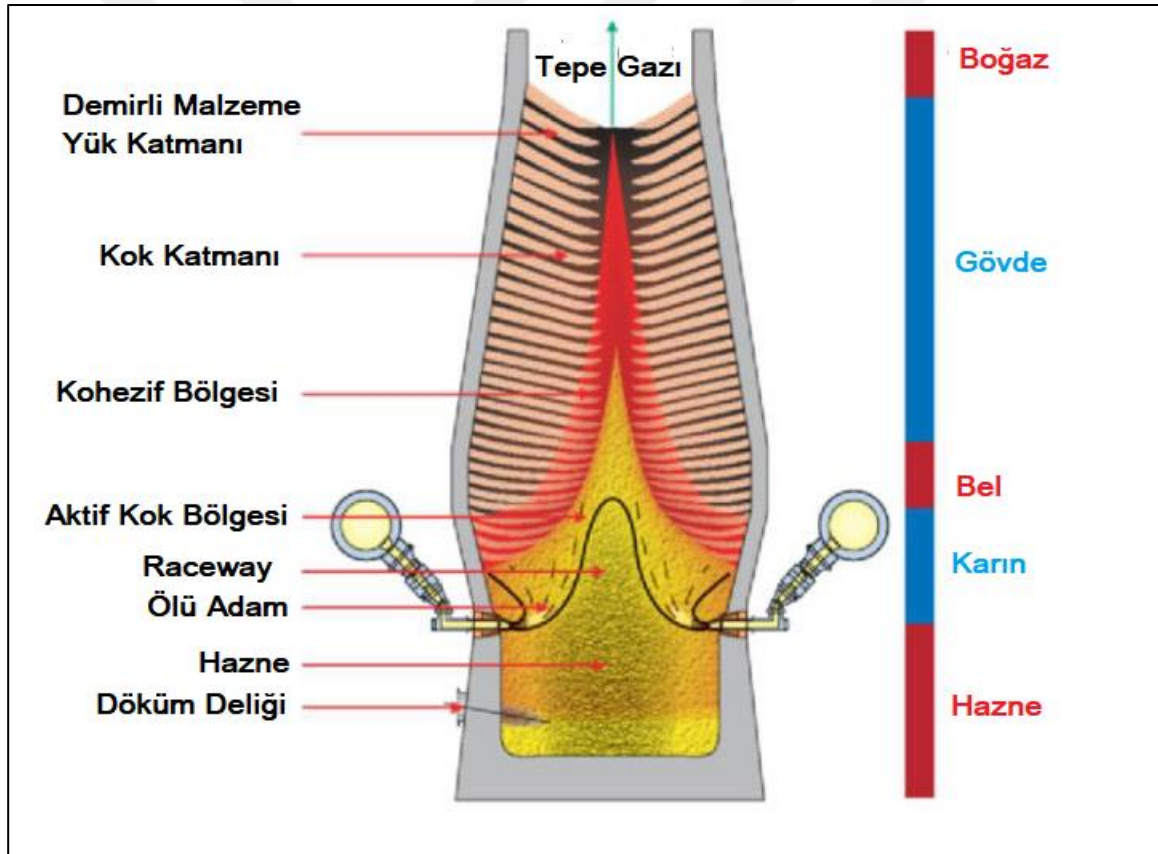
Döküm delikleri sürekli kapalı tutulmadığı için haznede aşınmaya en fazla maruz kalan kısımlardır. Büyük ölçekli fırınlar en az 3 döküm deliğine sahip olup döküm işlemi belli bir sırayla yapılmaktadır. Bu durumdan dolayı sıvı seviyelerin döngüsel hareketi döküm deliğindeki sıvı drenaj hızları farkı nedeniyle önlenmez. Özetle haznedeki SHD ve cürufun döküm açma yöntemiyle boşaltılması karmaşık işlem olup bu işlemin kontrollü şekilde yapılması için temel prensiplerin anlaşılması gerekmektedir. Hazne ve ölü adam bölgesindeki metalurjik koklar arasından SHD ve cüruf aynı anda süzülüp cüruf yüksek viskozitesi döküm deliği önündeki statik basıncı düşürür. Bu nedenle SHD döküm deliğinin çok altındaki seviyeye kadar boşaltılmasını mümkün kılar. Döküm sonuna doğru cüruf yüzeyinde bulunan gaz üfleme şeklinde çıkmaya başlayıp fırın hemen kapatılırsa az miktar cüruf hazne içinde kalabilir. Haznedeki sıvı malzeme drenajına etkenlerden biri metalurjik kok kalitesinin düşmesine bağlı olarak değişebilir. Metalurjik kok kalitesi düşük ve yüksek kapasiteli fırınlarda PCI (Pulverized coal injection: pülverize kömür enjeksiyonu) enjeksiyonu da yapıldığında metalurjik kok arası boşluklar küçüldüğü için hazneden drenaj olumsuz yönde etkilenecek döküm süreleri azalır.

YF haznesindeki SHD ve cürufun boşaltılması birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmalarda; sıvı seviyesi, ölü adam (deadman) durumu, SHD ve cüruf drenajı olmak üzere birkaç model geliştirilmiştir [4].

3. YF'DE SHD ÜRETİM SÜRECİ

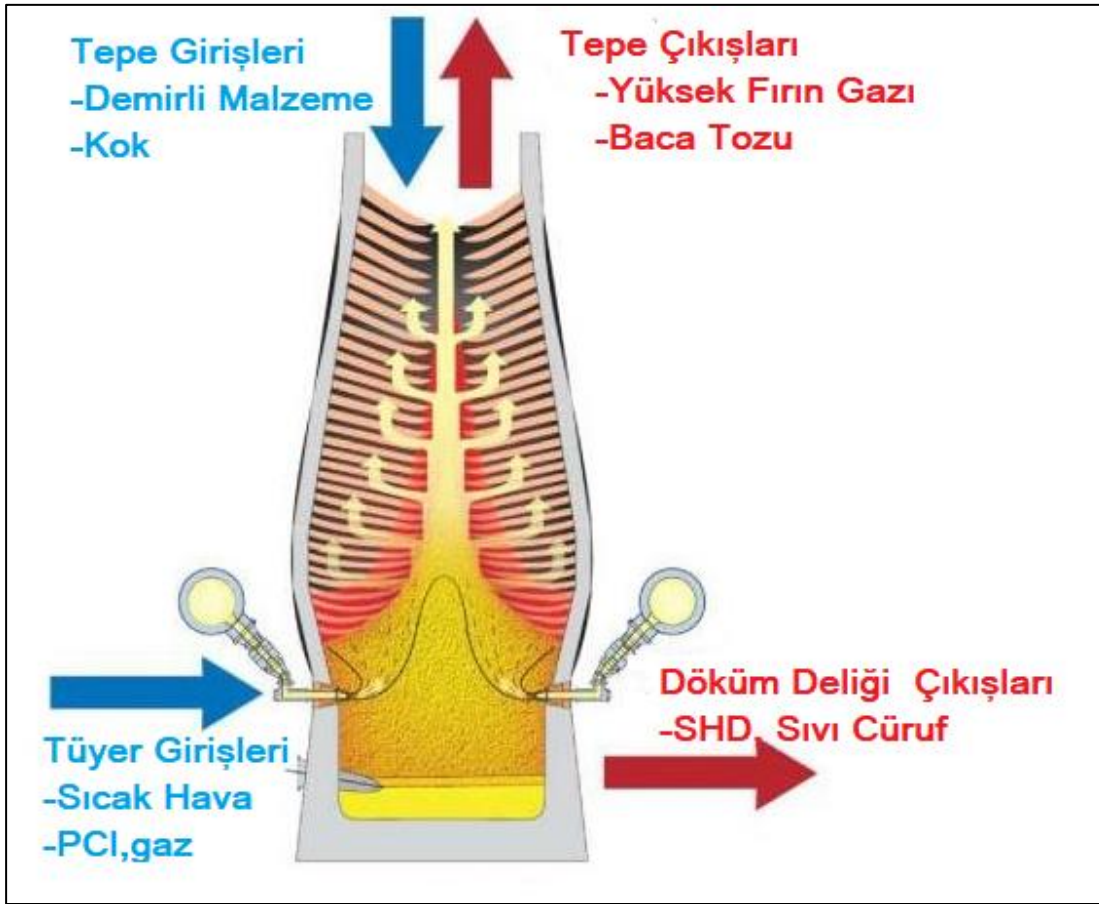
3.1. YF Prosesine Genel Bakış

Entegre demir-çelik fabrikalarında demir cevherinin ve metalurjik kokun oksijenle zenginleştirilmiş sıcak hava ile reaksiyonu sonucu elde edilen SHD, pik demir olarak adlandırılmaktadır. YF konik şekilde olup boğaz, gövde, bel, karın, hazne kısımlarından oluşur. Bu kısımların her birinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara göre ayrıca isimlendirme Şekil-3.1. deki gibi yapılmıştır [51].

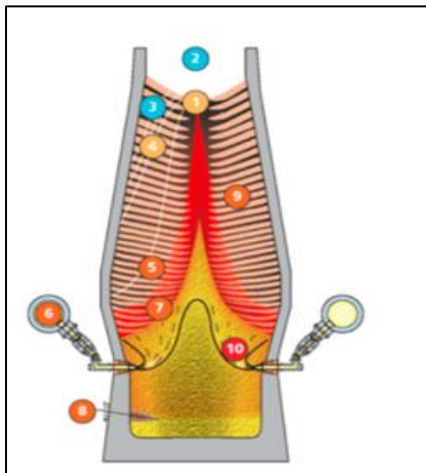


Şekil 3. 1. YF'nin kısımları [51]

Şekil-3.2.' de YF'ye demirli cevher ve metalurjik kok YF tepesinden çansız tepe sistemi ile şarj edilirken, reaksiyon için gerekli olan sıcak hava YF tabanına yakın bölgede bulunan tüyerler aracılığıyla YF'ye üflendiği gösterilmiştir.



Şekil 3.2. YF'ye girdi ve çıktılar [51]



1	Merkez Metalurjik Kok	600-900 °C
2	Çıkış Gazları	110 °C
3	Suyun Buharlaşması	100 °C
4	Nemin Bertarafı	110 °C
5	Reaksiyon Başlangıcı	500-600 °C
6	Yumuşama Başlangıcı	1000-1200 °C
7	Sıcak Hava	1050 °C
8	Sıcak Sıvı Malzeme Dökümü	1500 °C
9	Ufalanma Bölgesi	500-1000 °C
10	Çıkış Yolu	2100-2300 °C

Şekil 3.3. YF'de sıcaklık profili ve çeşitli bölgeler [5]

YF boğazından inen demirli cevher ve metalurjik kok ve YF tabanından tepeye doğru yükselen sıcak gaz ile karşılaşarak ısıtılır ve içindeki nem uzaklaşır. Şekil-3.3.'de ise YF da demir cevheri ve metalurjik kok aşağıya doğru indikçe daha yüksek sıcaklıklarda farklı reaksiyonlara uğrayarak nihai ürün olan SHD'ye dönüştüğü gösterilmiştir [51].

3.2. YF'de SHD Üretimi ve Özellikleri

YF'de asıl amaç SHD üretimi olup SHD üretimi sırasında demir cevheri içinde bulunan oksit, gang ve diğer atıkların cüruf şeklinde üretilmesi sürecin bir parçasıdır. Nihai hedef SHD kimyasal spesifikasyonu için prosesin düzgün çalışması gerekmektedir. Örneğin cüruf bazikliği SHD içindeki % Kükürt oranında ciddi rol oynar [52].

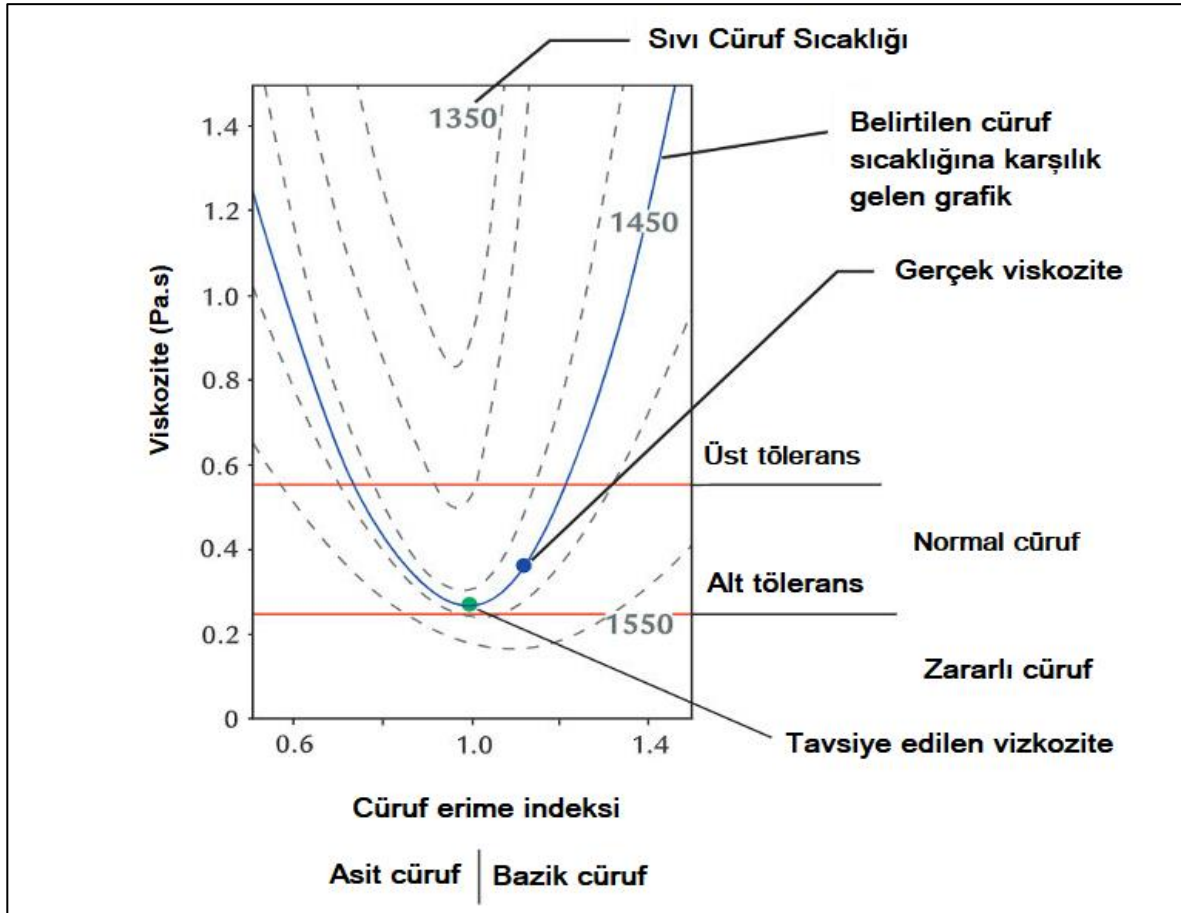
SHD içinde Fe oranı %94,5 olup bu oran YF'nin termal ve kimyasal koşullarına göre değişebilir. SHD'de içeriğinde bunun dışında Si (silisyum), Mg (manganez), Ti (titanium), S (kükürt) gibi diğer elementlerde bulunabilir. YF'nin alt kısmındaki sıcaklık ve kimyasal reaksiyonlar sonucuna göre elementlerin dağılımı değişebilir. SHD kalitesine cüruf kimyasal kompozisyonda etki eder [52].

Cüruftaki en önemli değer baziklik olup, bu değer ergime sıcaklığı 1300-1450 °C arasında değişir. Bu değer ayrıca cürufun akışkanlığını da etkiler [52].

Bunun yanında YF aşırı sıcak olduğunda SHD içindeki % Silisyum oranı artar, cüruf içinde % Silisyum oranı düşer. Bu durumda ise cürufun erime sıcaklığını ve bazikliğini artırır dolayısıyla cürufun viskozitesini yükseltir. Cürufun viskozitesini artması cüruf akışkanlığını düşürerek döküm sırasında haznedeki drenajının yavaş olmasına neden olur. Bu durumda haznedeki sıvı malzeme yüksekliği artarak fırın prosesinde sorunlara neden olabilir. Bunun yanında viskozitesi yüksek olan cürufun akışı dökümhane cüruf kanlarında tıkanmalara neden olarak dökümhane döküm sürecinde İSG açısından risk oluşturabilir[52].

Bunun yanında YF aşırı sıcak olduğunda SHD içindeki % Silisyum oranı artar, cüruf içinde % Silisyum oranı düşer. Bu durumda ise cürufun erime sıcaklığını ve bazikliğini artırır dolayısıyla cürufun viskozitesini yükseltir[52].

Sonuç olarak cüruf kimyasal kompozisyonu SHD içindeki % Silisyum oranlarını aşırı dalgalandırmayacak şekilde olmalıdır [75]. Belli bir baziklik ve sıcaklık aralığında cürufun viskozitesi Şekil-3.4. de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Farklı sıcaklık ve baziklikte cüruf viskozitesi [30]

SHD ergime sıcaklığı 1150 °C olup, hazne sıcaklığı ise 1500 °C'dir. Bu yüzden yüksek haznede yüksek sıcaklıkta bulunan SHD için viskozite önemsizdir. Ancak SHD'de Si ve Ti elementlerinin oranının artması SHD viskozitesinin artırarak drenajda problem oluşturabilir. SHD yoğunluğu 6.8-7.0 t/m³ ve cüruf yoğunluğu ise 2,4- 2,6 0 t/m³ olup SHD ve cüruf arasındaki bu yoğunluk farkından dolayı ana kanalda kolayca ayrışmasını sağlar.

3.2.1. Hazne ve Ölü Adam

YF haznesi aktif metalurjik kok bölgesinin altında kalan SHD ve cüruf birikerek drenaj yapılmadan önce olan kısımdır. YF ömrünü haznede bulunan özel tasarımı refrakter karbon tuğlalar tayin eder. Bu nedenle bu kısım YF verimliliği ve ekonomik üretim için önemli bir yere sahiptir. Hazne duvar ve tabanında kullanılan karbon refrakter tuğlalar aşırı sıcaklık ve kimyasal ortama dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Buna rağmen kampanya süresince haznede bulunan karbon bloklar aşınmaya maruz kalırlar. Ancak hazne karbon refrakter tuğlaların aşırı aşınma olması proses güvenliği ve üretim sürekliliği açısından tehlike oluşturacağı için mutlaka onarımının yapılması gerekmektedir. Bu yüzden Şekil 3.5.'de gibi gösterilen hazne karbon refrakter tuğlaların durumunun sürekli izlenmesi gerekmektedir.

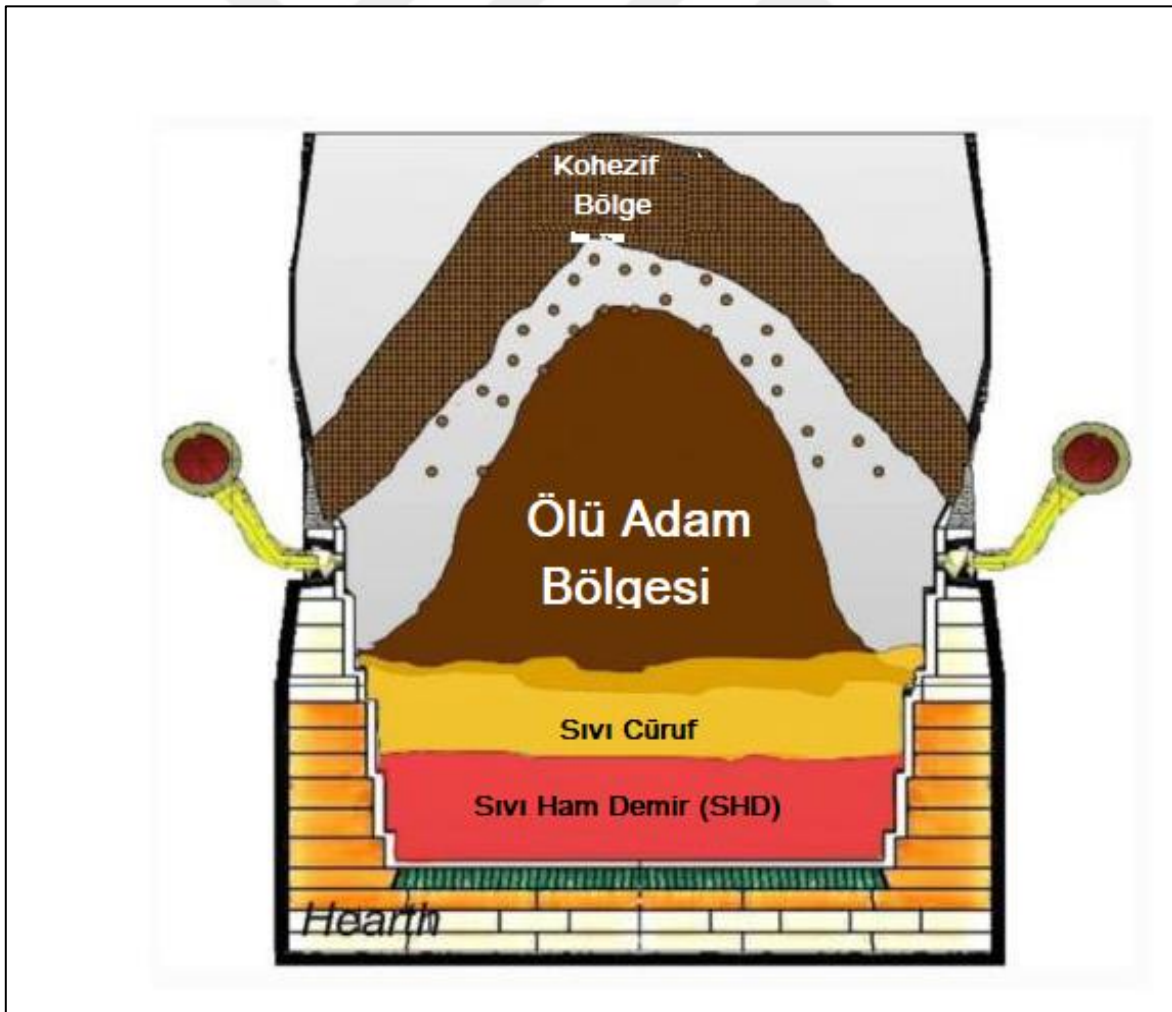


Şekil 3.5. YF haznesinde kullanılan karbon refrakter tuğlalar

Haznedeki karbon refrakter tuğlaların sıcaklığını izlenmesi için hazne zırhından karbon refrakter tuğlalara doğru termokupullar yerleştirilmiştir. Bunun yanında karbon refrakter tuğlaların korunması için hazne zırhı ile karbon blok arasına özel tasarımı su soğutmalı soğutucular yerleştirilmiştir [53].

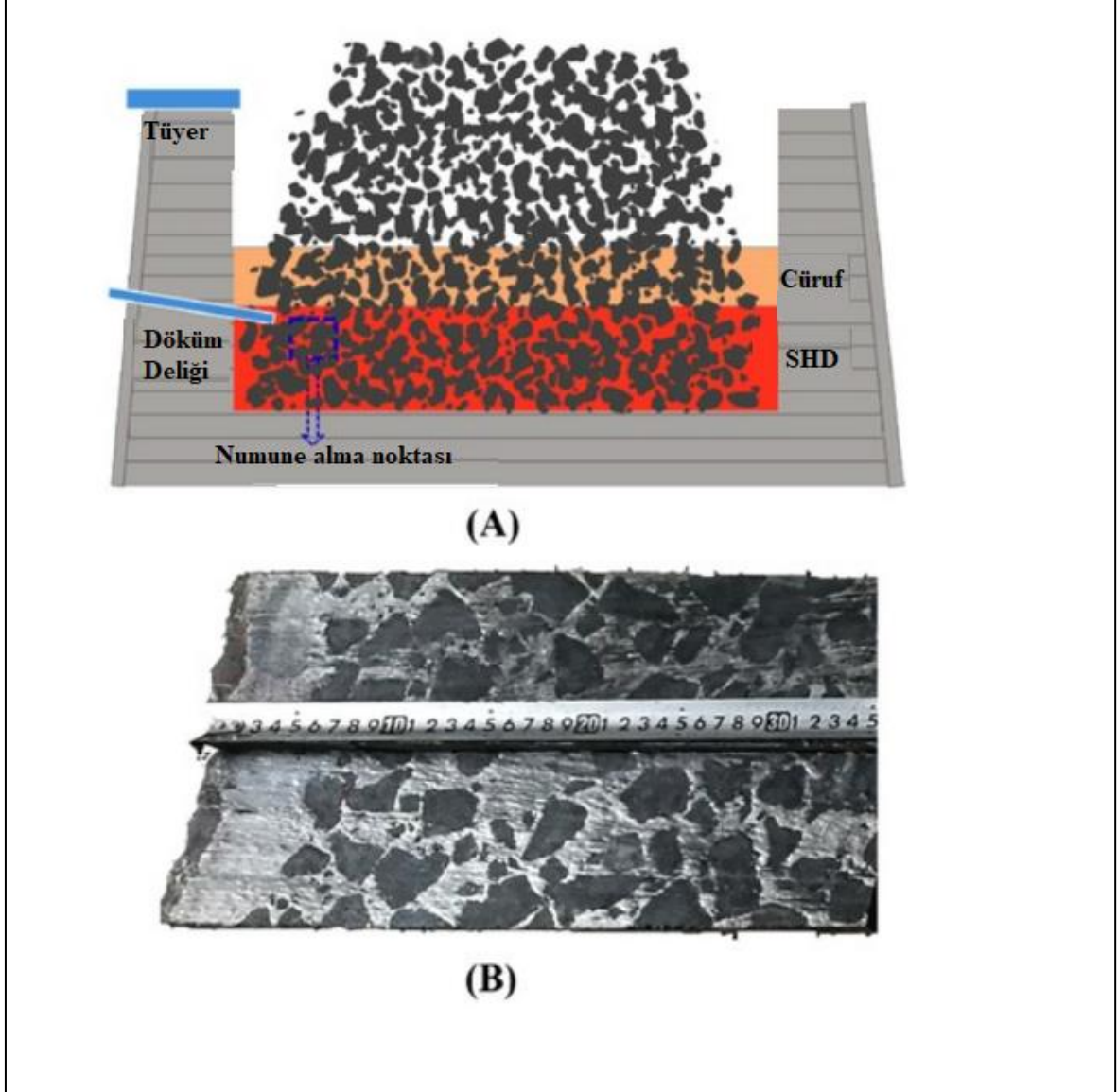
SHD ergime sıcaklığını izleyerek refrakter aşınması ve haznede oluşan farklı aşınma erozyon çalışmaları yapılmıştır [54]. Hazne termokupllarından elde edilen sıcaklık profili ile YF performansı ve döküm deliği durumu ile ilgili bazı bilgilere ulaşabilir. Örneğin SHD sıcaklığı çok yüksek ise YF’de yakıt (metalurjik kok, PCI) miktarının fazla olması gibi [54].

Hazne içinde katı olarak kalabilen tek malzeme metalurjik koktur. Kohezif bölgeden hazneye kadar metalurjik kok cüruf ile reaksiyona girerek bir yatak oluşturur [19]. Tüyer altında katı halde duran metalurjik kok parçacıkları yatay olarak koni şeklinde bölge ve başlangıçta buradaki metalurjik koklar inaktif olduğu için ölü adam olarak anılmakta olup Şekil-3.6.’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Hazne ölü adam gösterimi [46]

YF ölü adam bölgesinde yüksek basınç, yüksek sıcaklık, SHD, cüruf ve birlikte bulunduğu için tüyer altı bölgesinden numune almak çok zordur [59-60].



Şekil 3.7. Ölü adam bölgesindeki alınan metalurjik kok numunesinin yeri (A), metalurjik kok numunesinin kesiti (B) [62]

YF’de ölü adam mevcut çalışma durumlarında bir bütün olarak kabul edilir ve model çalışmaları için belirli bir kok boşluğu ile ölü adamın yüzmesi ve batması meydana gelir [82]. YF haznesinde zamana, çalışma koşullarına, döküm yönetimi gibi nedenlerden dolayı haznede refrakter karbon bloklarından aşınma meydana gelir. Bu durum ölü adamdaki kok yığınının şeklini etkiler.[61]

YF'de haznede ve ölü adam bölgesindeki kok durumunun yapısını incelemek için çalışmalar yapılmıştır. İncelenen YF 2005 yılında devreye alınmış olup teknik parametreleri şunlardır:

- YF çalışma hacmi :2200 m³
- Tüyer sayısı: 28 adet
- Döküm deliği sayısı: 3 adet
- Kok oranı: 350 kg/TSHD
- Toplam yakıt oranı (kok+PCI):510 kg/TSHD
- Cüruf oranı: 320 kg/TSHD
- Üflenen hava sıcaklığı: 1215 °C
- Kok CSR değeri: %68
- Kok CRI değeri: %22

Özellikleri belirtilen YF dan ölü adam ve haznedeki kok yapısını incelemek için numune 17 Ocak 2017 de belli bir bölgeye kadar için boşaltıldı. Daha sonra YF dan karotlarla numune alındı. Alınan numunelerin YF'deki yeri Şekil 3.8'de belirtilmiştir [62].

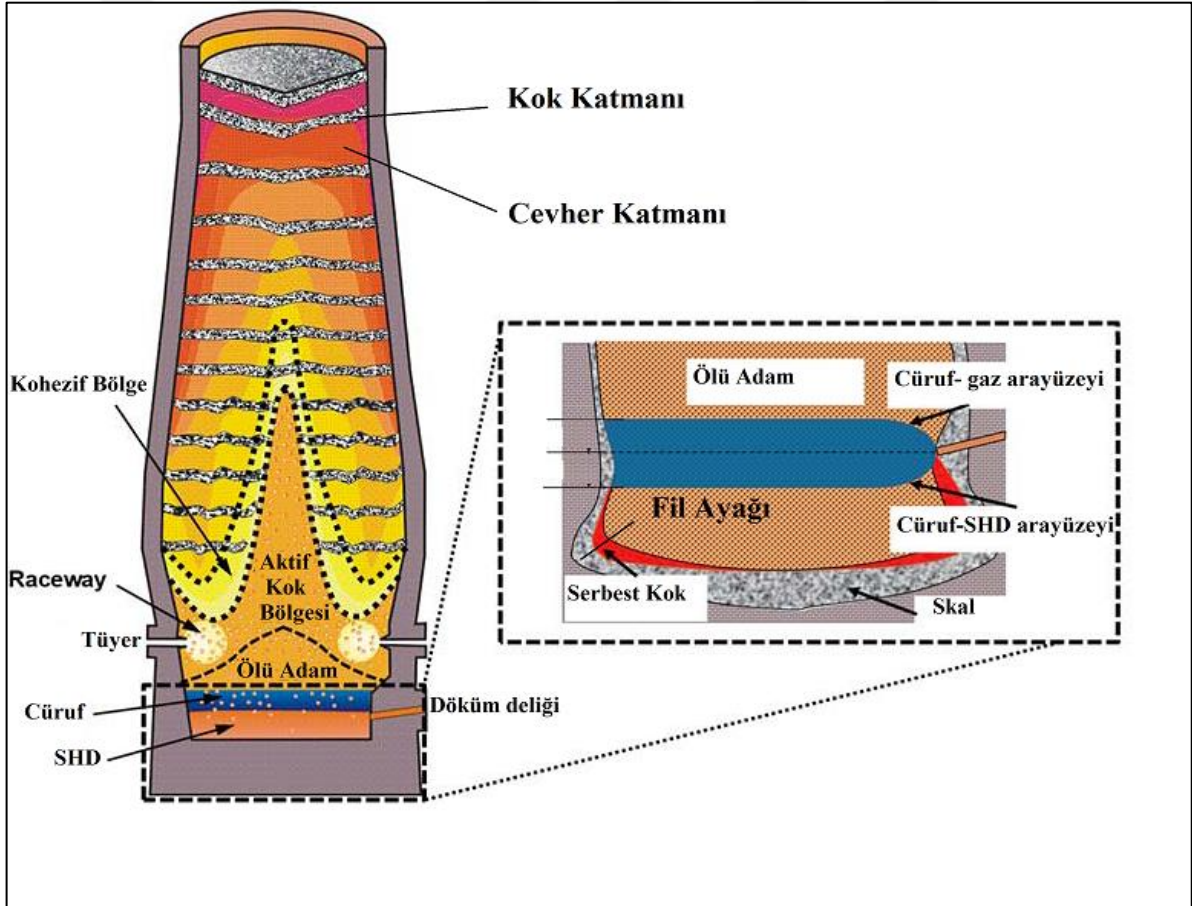
3.2.2. Ölü Adam Dinamikleri

Haznedeki SHD ve cürufun arasındaki kimyasal etkileşim gibi durumlar ölü adam bölgesindeki metalurjik kokun yenilenmesine etki eden faktördür. SHD ve cüruf arasındaki kimyasal etkileşim YF hacmine, çalışma koşulları, metalurjik kok kalitesi, PCI enjeksiyon miktarı gibi nedenlere bağlıdır. SHD ve cüruf ölü adamdaki metalurjik kok boşluklarından süzülerek hazneye toplanır. Metalurjik kok boşluğu oranı metalurjik kok kalitesine bağlı olarak %20 ile %50 arasında değişir [55].

Yapılan araştırmalar soncu ölü adam SHD üretim sürecinde önemli bir role sahiptir. Çünkü uygun bir ölü adam bölgesi, YF'nin geçirgenliğine etki eder, SHD deki kükürtün uzaklaştırılmasını sağlayarak daha kaliteli SHD üretilmesi imkânı sağlar [56]. Ölü adam bölgesi YF'de geçirgenlik için çok önemli bir kısım olup burada geçirgenlik iyi olduğu takdirde SHD ve cüruf hazne karbon refrakter tuğlalarına vereceği zarar azalmakta, SHD ve cüruf drenajının kontrollü şekilde olması gibi faydaları vardır [57]. Ölü adam aşağıdan ve yukarıdan birçok kuvvete maruz kalabilmekte olup kuvvetin şiddetine göre ölü adam yüzebilir. Bu durum YF prosesi açısından problemlidir. Ölü adam bölgesinde düşük

geçirgenliğe sahip bölgeler veya hiç metalurjik kok içermeyen alanlardan dolayı ölü adam SHD ve cüruf geçişi ölü adamdan başka yerlere yönlenerek hazne çevresinde kanal oluşumuna neden olur. Bu durum haznede aşırı ısınma, kontrolsüz skal (fırın içinde sıvı malzemenin kontrolsüz şekilde katılmış hali) oluşumu gibi birçok olumsuzluklara neden olur. Hatta aşırı ısınmaya bağlı olarak haznenin taban karbon refrakter tuğlalarında fil ayağı denilen aşınma türü meydana gelebilir [58]. Fil ayağı gösterimi şekil 3.8’de gibidir.

Sonuç olarak ölü adam metalurjik kokun durumu SHD ve cüruf drenajında etkili olmasına rağmen birçok araştırmacının gözünden kaçmıştır [58].



Şekil 3.8. YF hazne taban karbon tuğlalarında fil ayağı şeklinde meydana gelen aşınma [58]

3.2.3. YF’de Malzeme Dağılımı

YF’ye SHD üretimi için şarj edilen demirli malzeme ve yakıt için verilen metalurjik kokun fırın içindeki dağılımı üretim sürekliliği ve verimlilik açısından önemlidir. YF da demirli

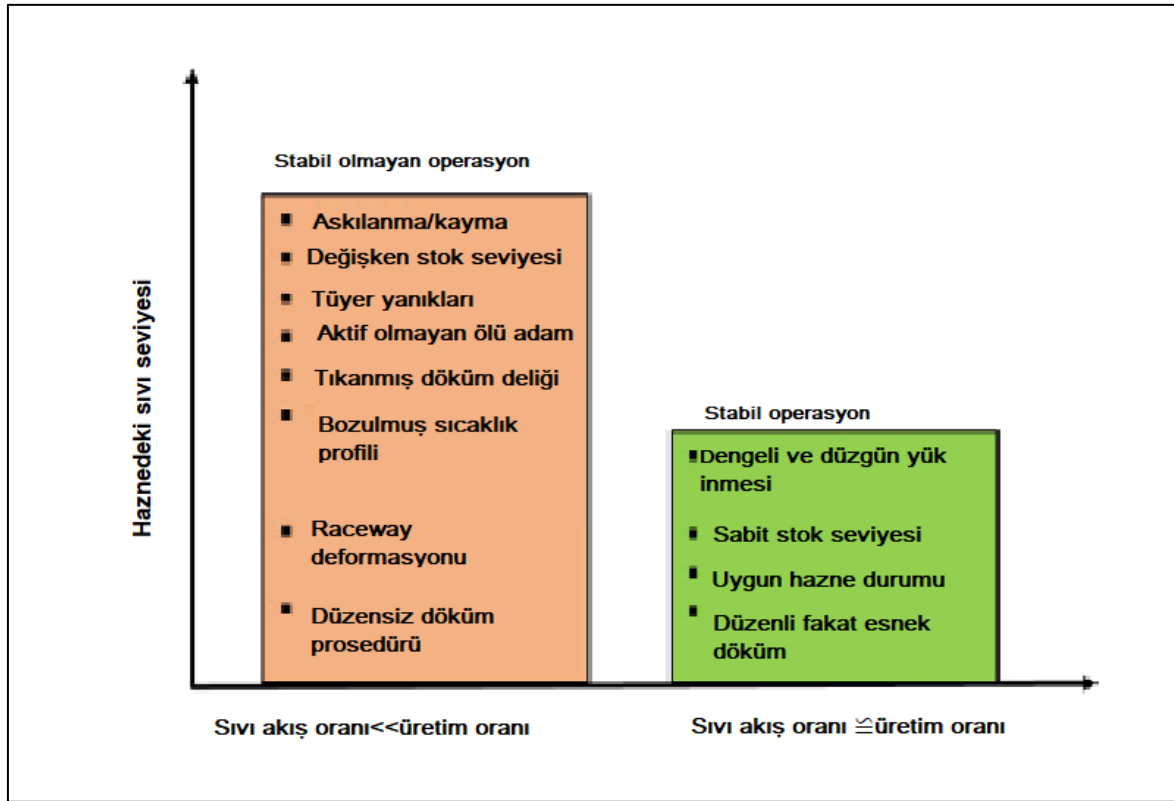
malzemenin reaksiyonu tepeden başlamakta olup bu reaksiyon için metalurjik kok ve demirli cevher arasından tüyer önünde oluşan gazların ulaşması gerekmektedir. İdeal malzeme dağılımı ile gaz geçirgenliği sağlanabilir. Malzeme dağılımında iri ve mukavemetli metalurjik kok YF'nin merkezine verilerek hem gaz geçirgenliği, hemde ölü adam bölgesine yeterli metalurjik kok beslenmesi sağlanır [64]

YF da kohezif bölgenin şekillenmesi ve demir cevheri malzemesinin ve metalurjik kok yükünün düzenli şekilde inmesinde malzeme dağılımının rolü büyüktür. Düzensiz şekilde demir cevheri malzemesi ve metalurjik kok yükünün inmesi ise ölü adam üzerinde olumsuzluğa neden olur. Bu neden ile demir çelik fabrikaları demir cevheri ve metalurjik kok yükünün ne kadar etkili olduğunu simüle etmek için birçok model geliştirmiştir [64]. YF'de malzeme dağılımına ek olarak tüyerlerden verilen PCI gibi yakıtların istikrarlı olması gerekmektedir. Enjeksiyon yapılan PCI karşısında metalurjik kok tüketimi azalır ve demir cevheri malzemesinin yükü artar. Ancak PCI enjeksiyonu hedeflenen değerden az olması durumunda YF termal stabilite düşerek proseste problemlere neden olabilir. Bu yüzden PCI tüketimi için farklı sistemler geliştirilmiştir [51].

3.2.4. Haznede Sıvı Seviyesi

YF da, hazne seviyesi izlenerek gerekli müdahalelerin yapılması gerekmektedir. Örneğin seviyenin anormal düzeyde yükselmesi zayıf drenajın göstergesi olup bu durum proseste ciddi güvenlik riskini oluşturabilir [65]

Bu durumlarda yapılacak aksiyonlar üretim kaybı olsa bile yapılması gerekmektedir. Şu an ki mevcut teknoloji ve imkânlarla hazne içine girerek sıvı seviyesinin ölçülmesi imkansızdır. Ancak gerçek zamanlı sıvı seviye takibinin yapılması önemlidir. Şekil-3.7. de gösterildiği gibi haznede sıvı seviyelerini artıran ve kararsız çalışmaya neden olacak problemler mevcuttur [65].



Şekil 3.9. YF’de hazne seviyesini etkileyen durumlar [65]

Kararlı bir YF çalışmasında drenaj hızı üretimin dengelenmesini sağlar. Ancak döküm deliğinden sabit bir hızda drenaj yapılamadığı durumda, haznede bir miktar sıvı malzeme kalabilir. Ancak bu sıvı malzeme kalması sorunlara neden olmaz [51].

Haznede sıvı seviyesinin yükselmesine bağlı şarj sayısı azalabilir, fark basınç artabilir ve ölü adam sıvı yüzeyinde yüzmeye başladığı durumda, sıcaklık profili bozulabilir [67]. YF’de üretilen ve hazneden döküm yoluyla boşaltılan SHD ve cürufun doğru şekilde hesaplanması hazne seviyesini araştırmak için çok önemlidir. Ancak hazne sıvı seviyesini araştırmak için proseste karışıklığa yol açan, askılanma, kayma, gibi durumların da hesaba katılması gerekmektedir.

3.3. Döküm Deliği ve Döküm Pratikleri

YF da, üretim sürecinde haznede biriken SHD ve cürufun drenajı yine haznede bulunan döküm deliğindeki çamurun matkapla açılması ile gerçekleşmektedir. Bu yüzden döküm deliği YF işletmesi açısından kritik öneme sahiptir. YF büyüklüğüne göre 2-4 arasında

döküm deliği bulunmaktadır. Büyük ölçekli YF'lerde aynı anda iki döküm deliğinden döküm alınabilir yâda bir döküm deliği kapatılıp hemen diğeri açılabilir [68].

Döküm açma işlemi özel tasarımlı matkapla yapılır, kapatma işlemi ise çamur topu içerisine doldurulmuş döküm deliği çamurunun döküm deliğine enjekte edilmesiyle kapatılır.

YF'de iki veya daha fazla döküm deliğinin aktif olarak kullanılması ile her döküm farklı döküm deliğinden açılmaktadır. Bu durumda döküm deliğine enjekte edilen çamurun kürleşmesi tamamlanarak döküm deliği çamuru içindeki tüm uçucu maddeler çıkmaktadır. Böylece, döküm açma sırasında SHD'nin döküm çamuru içindeki uçucu madde ile reaksiyonu olmaması ile olası çevre emisyonlarının önüne geçilmektedir. Döküm açma ve kapama prosedürü hazneden sıvının boşatılmasının ötesinde fonksiyonlara sahiptir. Döküm açmada farklı uç kullanılarak drenaj hızları kontrol edilir [69].

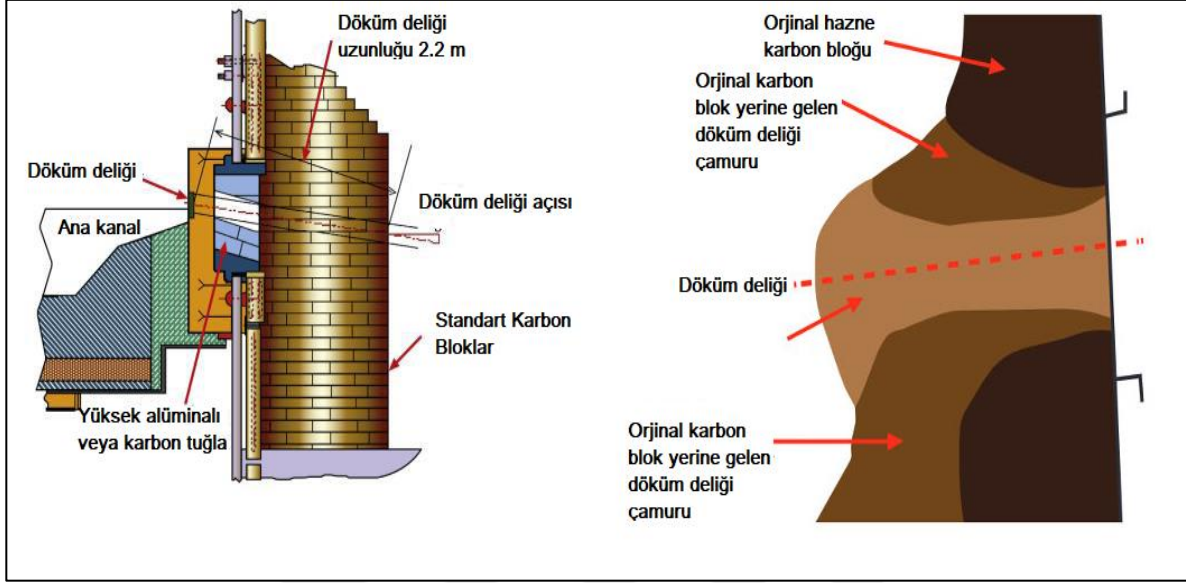
Döküm açma sırasında matkabın ucunun döküm deliğinden sapması döküm deliği etrafına ciddi zarar verebilir.

Döküm açma işlemi sırasında döküm deliğindeki çamurun özel tasarımlı matkap açılması ile çamurun bir miktarı aşınmaktadır. Döküm başlangıcından sonuna doğru döküm deliği çamurunun tamamı harcanmaktadır. Döküm kapatma işleminde ise, tekrar çamur topu içine doldurulan döküm deliğinde enjekte edilir. Şekil-3.9.'da gösterildiği gibi enjekte edilen çamurun bir kısmı döküm deliğini kapatırken bir kısmı ise döküm deliği çıkışında mantar oluşturur [70].

Döküm delik boyunun uzun olması, döküm deliği ile ölü adam arasında daha etkin temas oluşturarak akışın ölü adam çevresi yerine içinde olmasını sağlar. Bunun yanında döküm deliğinin uzun olması sonucu haznenin döküm deliği altı seviyesindeki sıvı malzeme boşaltımını sağlar.

Döküm deliğinin kısa olması ise döküm deliği çamuru maliyetlerinin artması, döküm sırasında aşırı saçaklı akma, döküm sırasında SHD ve cürufun haznedeki döküm deliği çevresindeki karbon refrakter tuğlalara zarar vermesi, gibi problemler oluşabilir [32].

Döküm deliğinin uzatılması için döküm kapatma sırasında döküm deliği yüzeyinde kaçak olmayacak şekilde temizlik yapılması ve çamur miktarının artırılması gerekmektedir [30].



Şekil 3.10. YF döküm deliği yapısı [30]

Sıvı malzeme drenaj miktarının azalması, döküm alma sırasında döküm deliğinin tıkanması, döküm deliği etrafındaki refrakter beton ve/veya karbon refrakter tuğlaların arasından gaz sızıntısı olması, gibi nedenler döküm sırasında saçaklı akmanın nedenleridir. Saçaklı akma ve nedenlerini ortadan kaldırmak için sürekli sabit boyutta mantar oluşturmak ve döküm deliği boyunu sınır değerinin altına düşürmemek gerekmektedir [66].

3.4. Döküm Türleri ve Döküm Döngüsü

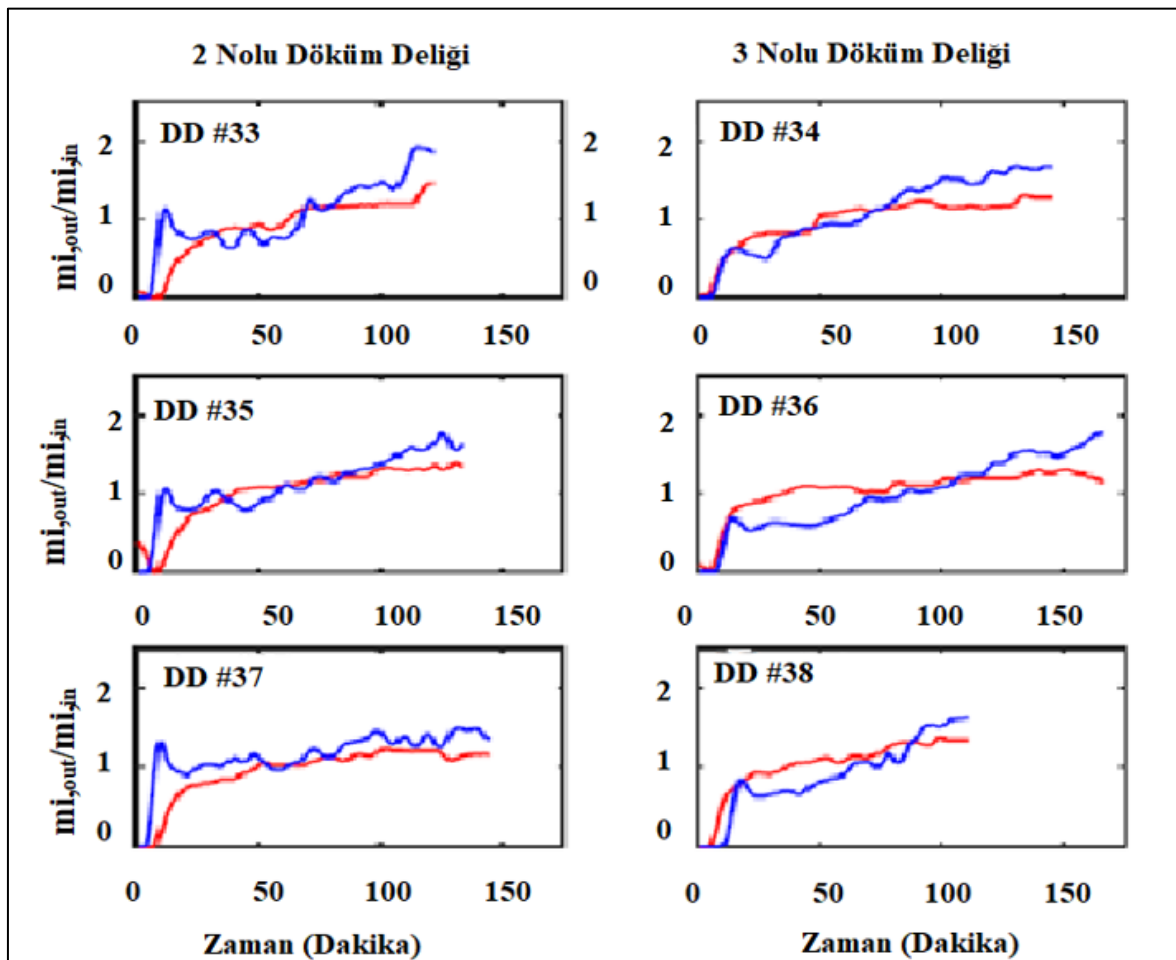
YF’de döküm, matkapla döküm açılmasıyla başlar ve çamur topu ile döküm deliği içinde enjeksiyon yöntemi ile döküm deliğinin kapatılmasıyla biter.

Döküm sırasında SHD ve/veya cürufun geldiği an döküm başlangıcı, SHD ve/veya cürufun akışının çamur topu ile kapatılmasıyla döküm sonu olarak adlandırılmakta olup döküm başlangıcı ile döküm sonu arasındaki süre, toplam döküm süresini verir.

Döküm delikleri hazne içindeki SHD ve cüruf konumu hakkında bilgi verebilir. Viskozite ve yer çekimine bağlı olarak drenaj yönetimi sağlanır. Drenaj sonucuna göre SHD ve cüruf seviyelerinin değişmesi beklenir [71].

YF da döküm açıldığında önce SHD gelir ve SHD drenajı devam ettikçe haznedeki SHD ve cüruf seviyesi düşer. Böylece SHD ve cüruf birlikte döküm deliğinden akmaya başlar [33]. Döküm açılıp cüruf gelene kadar geçen süre “cüruf gecikmesi” olarak adlandırılır.

YF da SHD ve cüruf akışlarını incelemek için Hollanda’da Tata Steel Demir Çelik fabrikasında 7 nolu YF dökümleri incelenmiştir. Bu YF’de 3 döküm deliği bulunmakta olup, 2 döküm deliği aktif olarak çalışmaktadır. [70]



Şekil 3.11. Hollanda TATA Steel 7 nolu YF’de 6 adet dökümün SHD akışı (kırmızı), cüruf akışı (mavi) oranları incelenmiştir [30].

*DD: Döküm deliği

$mi_{,out}$: Drenaj edilen sıvı malzeme miktarı

$mi_{,}$: Üretilen sıvı malzeme miktarı

Şekil 3.10.'da 6 adet döküm incelenmiş olup 2 nolu döküm deliğinde cüruf önce gelmesine rağmen, 3 nolu döküm deliğinde ise önce SHD çok az gecikmeli olarak cüruf gelmiştir.

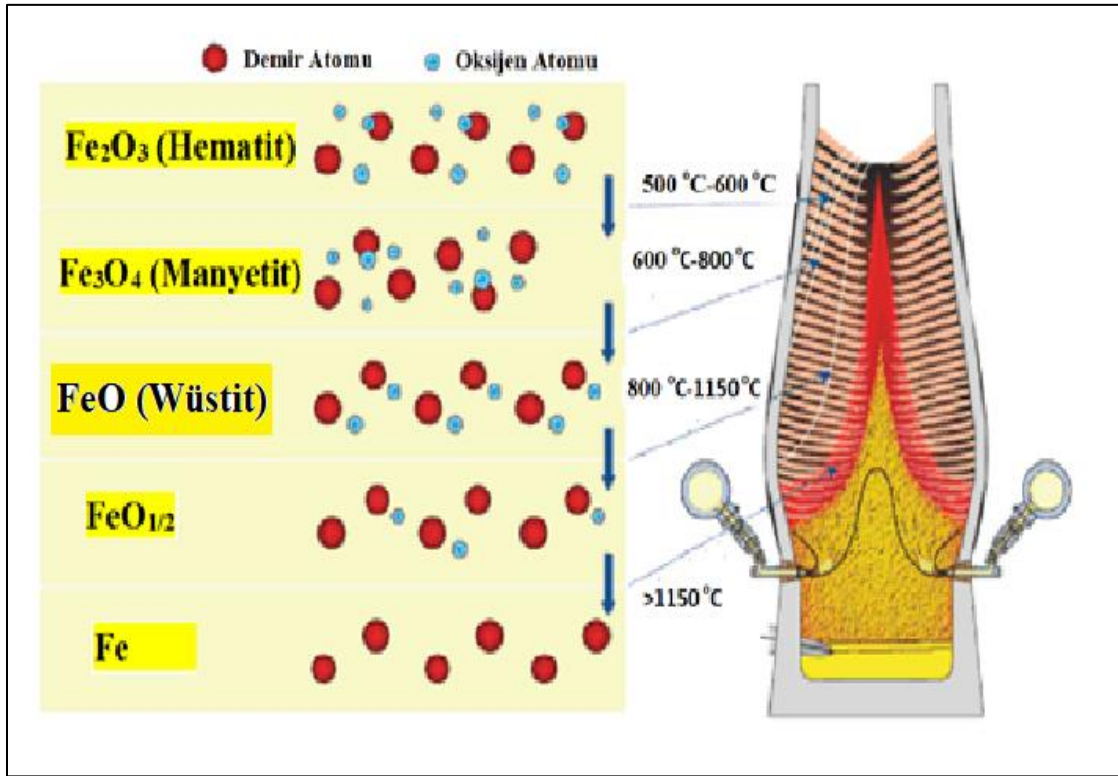
Benzer çalışma Japonya'da Chiba'da bulunan 6 nolu YF'de yapılmıştır. Bu YF'de yapılan gözlemlerde cüruf drenaj miktarı döküm boyunca artmamış olup döküm sonuna doğru minimuma inmektedir. SHD drenaj miktarı ise döküm sırasında başta biraz artıp daha sonra daha da hızlanmaktadır [66].

3.5. Dökümhane Düzenlenmesi ve Proses Verileri Türleri ve Döküm Döngüsü

YF'de hazne sıvı seviyesinin doğru şekilde tahmin edilebilmesi için; SHD üretim hızı tahmini, YF'nin iç durumunun iyi değerlendirilmesi ve drenaj hızı tahminleri çok doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Anlık üretim oksijen dengesi ile birlikte yüklü malzemelerin (demirli cevher malzeme ve metalurjik kok) analizinden ve miktarından hesaplanır. Kütlelerin korunumu yasasına göre, şarj edilen malzemelerin YF içinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu SHD miktarının teorik hesaplanabilmektedir. Döküm sırasında haznedeki boşaltılan SHD ve cüruf ana kanalda dökülür. SHD ve cüruf yoğunluk farkından yararlanılarak ana kanalda bulunan sifonda ayrılır. SHD torpedoya doldurulur ve torpedo radar cihazı ile miktarı hesaplanır, cüruf ise granüle sisteminde granüle edildikten sonra miktarı hesaplanabilir [72].

3.6. YF'deki Reaksiyonlar

YF'de, demir cevherinin YF içinde Şekil 3.11. ve Çizelge 3.1.'deki gibi belirli adımlarda gerçekleşmesi sonucu nihai ürün olan SHD'nin sürekli olarak üretilmesi açısından önemlidir.



Şekil 3.12. YF'deki demir cevherinin bölgelere göre şematik reaksiyonları ve sıcaklık gösterimi [51]

Çizelge 3. 2. YF'de gerçekleşen reaksiyonlar [72]

Reaksiyon Türü	Kimyasal Eşitlik	Sıralama
CO ile gerçekleşen indirek reaksiyonlar	$3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	R1
	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow 3\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	R2
	$\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	R3
H ₂ ile gerçekleşen indirek reaksiyonlar	$3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	R4
	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{FeO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	R5
	$\text{FeO}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	R6
Boudouard reaksiyonu	$\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$	R7
Su Gaz Reaksiyonu	$\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2(\text{g})$	R8
Flux Ayrışma Reaksiyonu	$\text{MeCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{MeO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}), \text{Me} = \text{Ca}, \text{Mg}$	R9
Su gaz dönüşüm reaksiyonu	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$	R10
Sıvı FeO ile gerçekleşen direk reaksiyonlar	$\text{C}(\text{s}) + \text{FeO}(\text{l}) \rightarrow \text{Fe}(\text{l}) + \text{CO}(\text{g})$	R11

Gerçekleşen bu reaksiyonların detayı aşağıdaki gibidir:

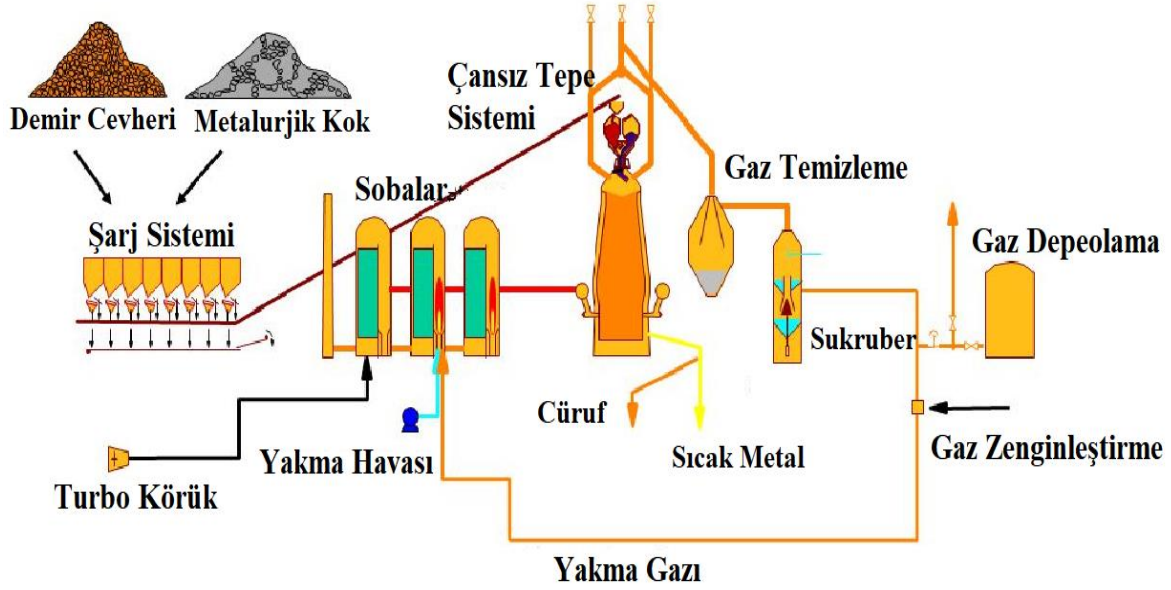
İlk adım hematitin (Fe_2O_3) redüklenerek manyetit (Fe_3O_4) oluşturmasıdır. Bu redüksiyon reaksiyonu enerji üretir ve malzeme yükünün sıcaklığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca redüksiyon reaksiyonu yük malzemesinin kristal yapısında gerilim oluşturarak daha küçük parçalar oluşturmasını sağlamaktadır. Bu özelliğe düşük sıcaklık bozulması (low-temperature disintegration) denilmektedir. YF'nin daha aşağı bölgelerinde malzemenin sıcaklığı daha da artarak malzeme yükünün yumuşadığı ve ergimenin gerçekleştiği kohezif bölge bulunmaktadır. Devamında da ergimiş demir ve cüruf haznede toplanmaktadır [72].

YF içerisindeki gaz bileşimini ve malzeme yükünü ele aldığımızda, daha fazla gaz malzemeden daha çok oksijen bertaraf edilmesini sağlamakta ve YF verimini de artırmaktadır. Sonuç olarak malzeme yükü ile gaz arasındaki etkileşim temel faktörlerden biridir. Bu etkileşimin optimize edilebilmesi için malzeme yükünün geçirgenliğinin olabildiğince yüksek olması sağlanmalıdır. Malzeme yükü boyunca yol kat eden gazın oranı ve malzemeden indirgenmek istenen oksijen miktarı denge halinde olmalıdır [72].

YF hakkındaki tecrübelerle bakıldığında birçok problem geçirgenlik ile alakalı olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak YF'nin çapına ilişkin olarak içerisindeki yük katmanlarının geçirgenliği temel problemlerden biridir. Geçirgenlik büyük oranda YF içerisinde bulunan boyutları 5 mm'nin altındaki malzemeler tarafından etkilenir. Genel olarak bu büyüklükteki malzemeler sinter tarafından üretilmektedir. Bu büyüklükteki tanelerin oluşturduğu sorun YF içerisinde halkalar halinde konsantre olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu taneler daha çok malzemenin şarj edildikleri bölgelerde yoğunlaşmaktadırlar. Ayrıca bu büyüklükteki malzemeler düşük sıcaklıkta bozunma – redüksiyona (low temperature disintegration) sebep olurlar. Temel olarak malzeme yükünün şarj edilmeden önce eleklerden geçilerek bu tip redüksiyon ve bozunma reaksiyonları kontrol altına alınabilmektedir[72].

3.7. YF Yardımcı Birimler

YF'de SHD üretim sürecinde; YF'ye hammadde beslemesinde Şarj Sistemi, üflenen sıcak havanın ısıtılmasında Sobalar Sistemi, YF tepesinden çıkan kirli gazın temizlenmesinde Gaz Temizleme Sistemi gibi yardımcı birimler Şekil 3.12.'de gösterilmiştir [51]



Şekil 3.13. YF düzeneği [73]

3.7.1. Şarj Tesisleri

Entegre demir çelik fabrikalarında metalurjik kok fabrikalarında, taş kömüründen üretilen metalurjik koklar eleme işleminin ardından YF şarj bunkerlerine konveyör bantlarla transfer edilir. Sinter ve hammadde sahasından cevherde (sinter, pelet, ilave malzeme) aynı şekilde şarj bunkerlerine konveyör bantlarla transfer edilerek stoklanır. Şarj bölümünde metalurjik kok, cevher SHD üretim sürecinde kullanılan malzemelerin transfer süreci ve stoklama miktarı sürekli takip edilmekte olup olası bir problemde YF daki üretim süreci sorunlu hale gelebilmektedir. Şarj, YF'ye gönderilecek cevher ve metalurjik kokun bulunduğu bölümdür. Gönderilecek olan şarj malzemesi önce elenir ve daha sonra tartılarak YF'ye ulaştırılır. YF şarjı otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. YF'ye metalurjik kok ve cevher şarjı, tepeden ve skip denilen çelik kovalar veya bant yardımı ile yapılmaktadır. YF içine metalurjik kok ve cevher ayrı katman olacak şekilde dağılımı ise BLT sistemi ile yapılmaktadır. [74].

3.7.2. Sobalar

Sobalar, YF'ye üflenen havanın 1000 °C ile 1250 °C'ye kadar ısıtıldığı bölümdür. Buradan çıkan sıcak hava, sıcak hava simidi ve devamında da tüyerlerden YF'ye üflenir. Sıcak hava, metalurjik kok ve (kireç) enjekte edilen malzemeye reaksiyona girer. Yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçla gönderilen hava tüyer önünde yanma bölgesi oluşturur [75].

3.7.3. Gaz Temizleme

Gaz temizleme, YF dan çıkan tepe gazının toplandığı bölümdür. Çıkan gaz birçok parça içerebilmektedir ve yeterince temiz bir gaz değildir. Bu sebeple bu gaz öncelikle toz toplama ardından da yıkama sistemine tabii tutulur [76].

3.8. SHD'nin Kalitesini Etkileyen Faktörler

SHD kalitesini sıcak metal içindeki; Si(silisyum), P(fosfor), S(kükürt), alkali ve Zn(çinko) miktarları etkilemektedir.

- Si: SHD içindeki ideal silisyum oranı %0,4-0,5 arasındadır. SHD 'de içindeki silisyum oranının YF prosesi hakkında genel bilgi verir. Örneğin, SHD içindeki silisyum oranının düşük olması (<%0,2) durumunda SHD sıcaklığının düşerek YF içindeki cürufun yeterli şekilde alınmaması ile sonuçlanabilir. Bu durum proses bozulmalarına neden olabilir [77].
- P: YF da SHD üretiminde, hammadde ile giren fosfor elementi direk SHD'ye geçmektedir. SHD içindeki % Fosfor miktarı çelik kalitesini etkilemekte olup SHD içindeki ideal % Fosfor miktarı maksimum %0,9 olması gerekmektedir. Bu yüzden YF hammadde harman reçetesi hazırlanırken harman yükündeki toplam % Fosfor girdisine dikkat edilmelidir [5].
- S: SHD içindeki kükürt miktarının çoğunluğu yakıt olarak kullanılan metalurjik koktan gelmektedir. SHD içindeki % Kükürt oranının fazla olması, çelik üretim sürecinde kükürt giderme işlemi uzatarak ham çelik üretim sürecini zorlaştırmaktadır, SHD üretim sürecinde

S elementinin cürufa geçmesi için baziklik ayarı ve YF'ye şarj edilen metalurjik koktaki % Kükürt girdisine dikkat edilmelidir [51].

- Alkali: Maksimum alkali girdisine dikkat edilmelidir. Alkaliler, özellikle K(potasyum) refrakter malzemeye zarar verir ve prosesi etkiler. Alkali için limit genel olarak 1-1,5 kg/T,SHD'dir [51].
- Zn: Maksimum çinko girdisine dikkat edilmelidir. Bu yüzden YF'ye şarj edilen metalurjik kok ve demirli malzeme içeriğindeki toplam çinko değeri eşik miktarının altında olması gerekmektedir. Genel olarak çinko girdisi 100-150 g /TSHD'dir. YF'de merkezdeki gazın yüksek sıcaklıkta olması çinko ve alkalilerin parçalı şekilde tepe gazlarıyla uzaklaştırılmasını sağlar [5].

4. MODEL ÇALIŞMASI

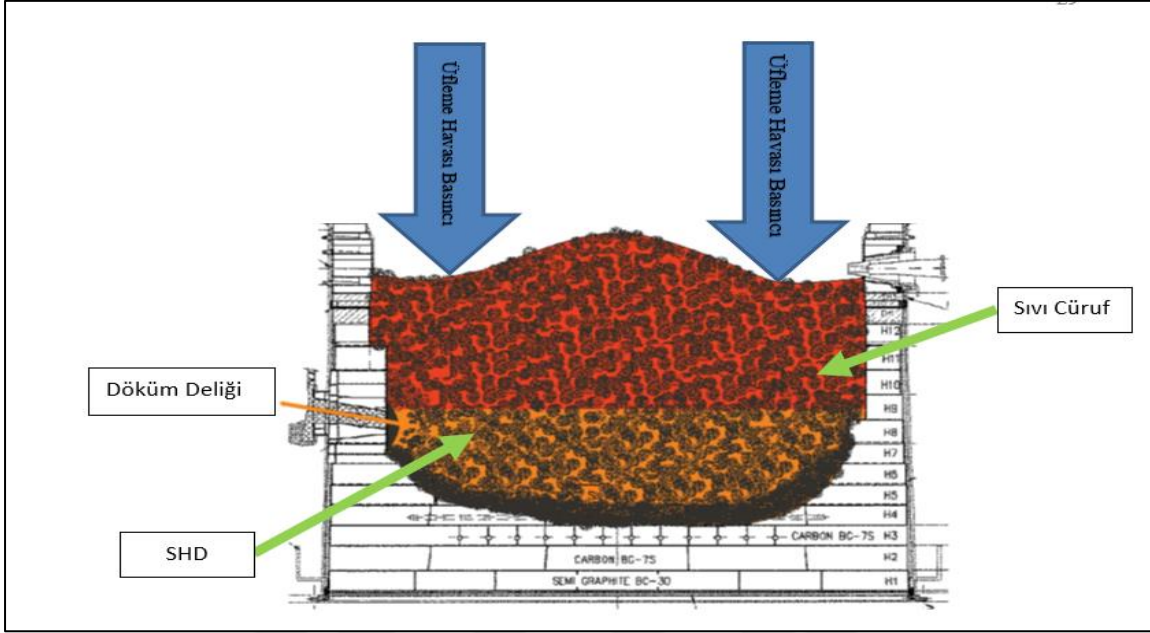
YF'ye şarj sisteminden konveyör bant veya skiplerle taşınan demirli malzeme (pelet, sinter, parça cevher), cüruf yapıcılar (kireçtaşı, dolomit, kuvarsit vb.) ve metalurjik kok, YF tepesindeki çansız tepe sistemi vasıtasıyla şarj edilir. Haznenin hemen üstünde yer alan tüyerlerden oksijenle zenginleştirilmiş nemlendirilmiş hava üflenir. Üflenen hava tüyer bölgesinin hemen önünde raceway bölgesinde metalurjik kok ile reaksiyona girerek ısı ve CO gazı üretir.

Şekil-4.1.'deki gibi CO gazı demirli cevher malzeme ve metalurjik kok ile reaksiyona girerek oluşturduğu SHD ve cüruf haznede yoğunluk farkıyla iki katman şeklinde birikmeye başlar. Hazneden biriken sıvı malzeme belli periyotlarda döküm deliğinden boşaltılır.

Haznede sürekli metalurjik kok malzeme bulunmakta olup döküm sonu dahi metalurjik kok arasındaki boşluklarda belli miktarlarda SHD ve cüruf bulunur.

Haznede bulunan metalurjik kokların geçirgenliği homojen olmayıp en az geçirgen kısım ölü adamdır. Hazne sıvı seviye modellemesi için en önemli parametre metalurjik kok arası boşluktur. Haznedeki SHD ve cürufun drenaj hızında döküm deliği çamuru aşınma hızı etkilidir.

Hazne sıvı seviyesi, döküm deliği ile tüyer bölgesi arası olup ancak güvenli tarafta kalmak için belirli bir seviye olması gerekmektedir.



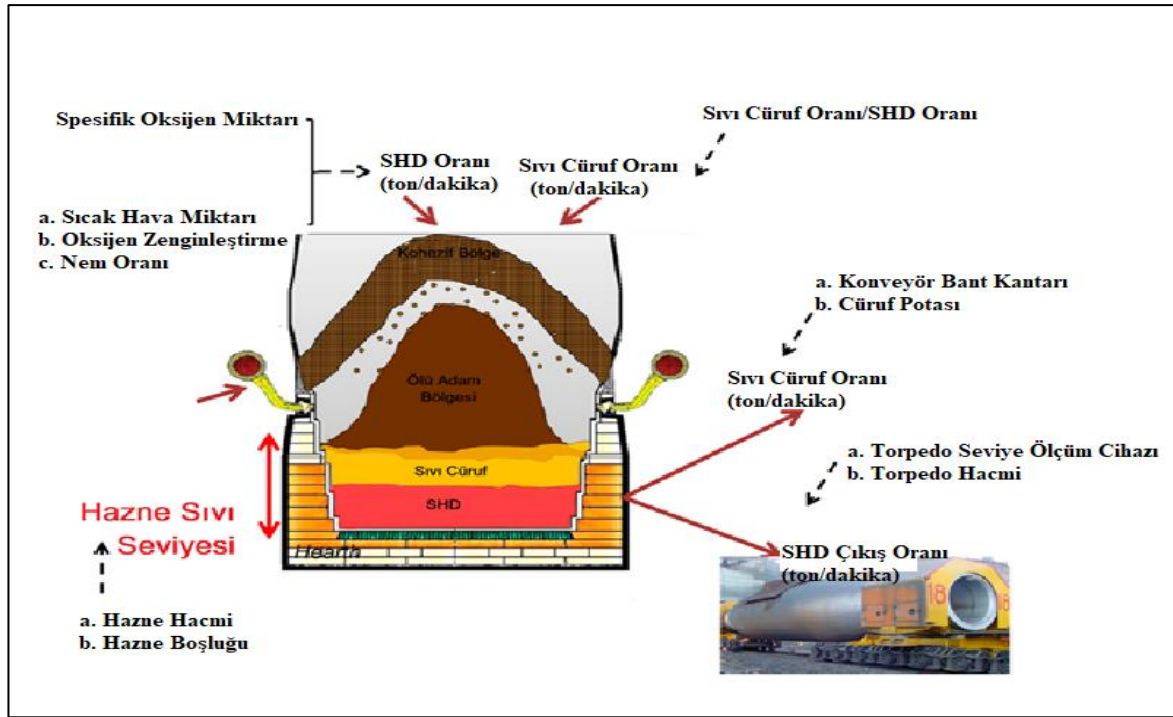
Şekil 4. 1. YF'de üretim sırasında haznedeki metalurjik koklar arasında katman şeklinde SHD ve cüruf [1]

4.1. SHD ve Cüruf Üretim Tahmini

YF haznesinde SHD ve cürufun dakikalık hesaplanması için; SHD ve cüruf drenajını tespit edilmiş , hazne boşluğu (metalurjik koklar arasındaki boşluk), hazne hacim ölçüsü ve üretilen SHD ve cüruf değerleri Şekil-4.2.'deki değerler kullanılarak yapılmıştır [1].

Hazne seviyesi hesaplamalarında SHD yoğunluğu $6,85 \text{ ton/m}^3$, cüruf yoğunluğu ise, $1,3 \text{ ton/m}^3$ olarak kabul edilmiştir. Üretilen teorik SHD ve cüruf için spesifik oksijen tüketimi esas alınmıştır [1].

Üretilen teorik SHD'nin hesaplanabilmesi için öncelikle spesifik oksijen tüketimi 4.1 ve 4.2 nolu denklemlerden hesaplanır [39].



Şekil 4. 2. Yüksek fırında hazne seviyesinde kullanılan değerler [78]

$$K = \frac{\left[(\dot{\omega}_{8h} * 0,21) + \theta_{8h} + \left(\frac{\beta_{8h}}{1000} * \dot{\omega}_{8h} * \frac{22,14}{18} * \frac{1}{2} \right) \right]}{\varepsilon_{8h}}$$

$$Teorik_SHD = \frac{\left[(\dot{\omega} * 0,21) + \theta + \left(\frac{\beta}{1000} * \dot{\omega} * \frac{22,14}{18} * \frac{1}{2} \right) \right]}{60 * K} \quad (4.1)$$

$$(4.2)$$

$$Teorik_{Cüruf} = Teorik_{SHD} * V$$

Bu denklemlerde; K: Spesifik oksijen tüketimi olup birimi $Nm^3.Thm^{-1}$ 'dir, $\dot{\omega}_{8h}$: Son 8 Saatte ortalama üflenen sıcak hava miktarı olup birimi $Nm^3.hr^{-1}$, θ_{8h} : Son 8 Saatte ortalama üflenen oksijen miktarı olup birimi $Nm^3.hr^{-1}$, β_{8h} : Son 8 Saatte ortalama üflenen sıcak havanın nem miktarı olup birimi $g.N^{-1}.m^{-3}$

Denklemlerden özet olarak şarj edilen demirli malzemenin, üflenen sıcak hava miktarının, spesifik oksijen oranının ve nem oranının son 8 saatlik değerine göre teorik SHD ve cüruf hesaplaması yapılmaktadır [78].

4.2. SHD ve Cüruf Drenaj Tahmini

YF'de üretilen SHD'nin Çelikhane 'ye transferi işlemi torpedolarla yapılmaktadır. Döküm sırasında torpedoya dolan SHD miktarının anlık akış hızı, döküm bazlı ne kadar SHD üretildiği gibi proses açısından önemli olan bilgiler Çizelge 4.1.'deki gibi torpedo radar seviye cihazlarından ölçülen değerler seviye-2 sisteminde modellememesiyle alınabilmektedir. Torpedo şekli yatık iki ucu kesik koni ortası silindir olup yüksekliği ve torpedo refrakter aşınması dikkate alınarak tonaj hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4. 1. Torpedo dolumu sırasında radar seviye cihazından alınan değerler [78]

Sıvı Seviyesi	Hacim (mm ³)	Seviye Değeri (%)	Torpedo Tonajı (ton)
100	0.46 x 10 ⁹	4,8	3,2
200	1.3 x 10 ⁹	9,6	9,1
300	2.5 x 10 ⁹	14,4	17
400	3.9 x 10 ⁹	19,1	26,8
500	5.6 x 10 ⁹	23,9	38,2
600	7.5 x 10 ⁹	28,7	51,2
700	9.6 x 10 ⁹	33,5	65,7
800	11.9 x 10 ⁹	38,3	81,5
900	14.3 x 10 ⁹	43,1	98,1
1000	16.8 x 10 ⁹	47,8	115,3
1100	19.4 x 10 ⁹	52,6	133
1200	22.0 x 10 ⁹	57,4	151
1300	24.7 x 10 ⁹	62,2	169,2
1400	27.3 x 10 ⁹	67	187,3
1500	29.9 x 10 ⁹	71,8	205,2
1600	32.5 x 10 ⁹	76,6	222,9
1700	35.0 x 10 ⁹	81,3	240,1
1800	37.5 x 10 ⁹	86,1	256,6
1900	39.7 x 10 ⁹	90,9	272,2
2000	41.8 x 10 ⁹	95,7	286,5
2090	43.5 x 10 ⁹	100	298,1

Cüruf akış tahmini ise 1 ton SHD üretimi sırasında üretilen teorik cüruf hacminden yararlanılarak elde edilir.

4.3. Hazne Sıvı Seviye Tahmin Model Çalışmaları

Hazne sıvı seviyesine en önemli etken haznede ve haznenin üstünde yer alan ölü adamdaki metalurjik kokların arasındaki boşluktur. Metalurjik kok boşluğu oranı %20 ile %50 arasındaki değişmekte olup fark basınç, şarj hızı (şarj sayısı/saat), metalurjik kok kalitesi, vb. durumlara göre metalurjik kok boşluk oranı değişebilmektedir. Ancak bazı hazne sıvı seviyesi için kullanılan metalurjik kok boşluk oranı %30 alınmıştır. Hem sabit metalurjik kok boşluğu, hemde şartlara göre değişen metalurjik kok boşluğu ile ilgili araştırma yapılmıştır.

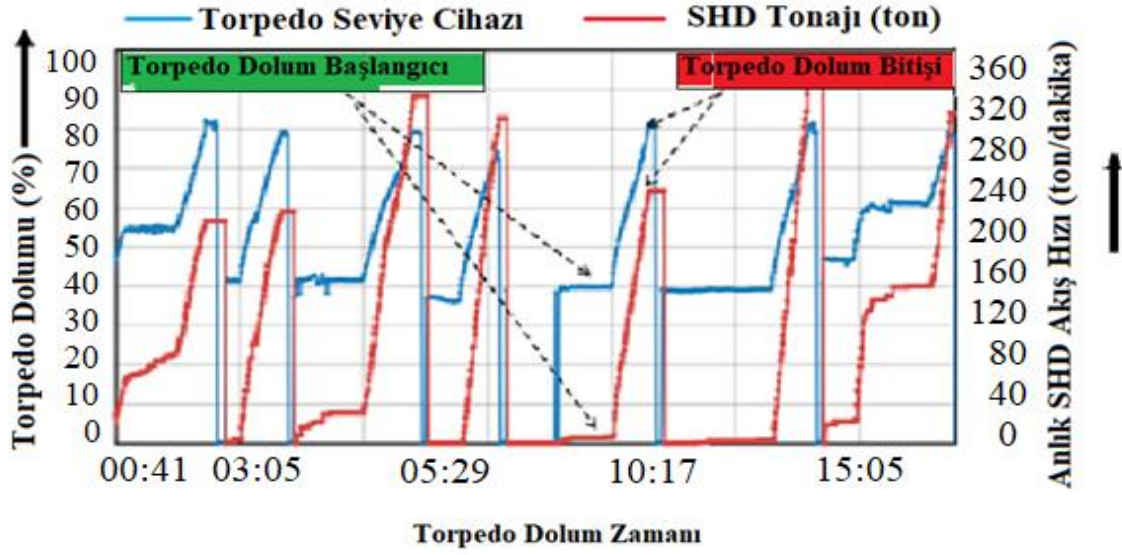
4.3.1. Sabit Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli

YF'de haznedeki sıvı seviyesinin anlık ölçümü; aşırı sıcaklık ve ortam koşullarının son derece zor olmasından yapılması mümkün değildir. Bu yüzden elde edilen bazı verilere dayalı olarak anlık sıvı seviyesinin ölçümü için modelleme çalışmaları yapılmıştır. Hazne seviyesinin anlık olarak izlenebilmesi için yapılan çalışmada haznedeki metalurjik kok boşluk oranı %30 olduğu varsayılmıştır. Bu orana göre haznedeki hacminin %70'i metalurjik koklarla, geri kalan %30'luk boşluk ise üretilen SHD ve cüruf olarak doldurulmaktadır.

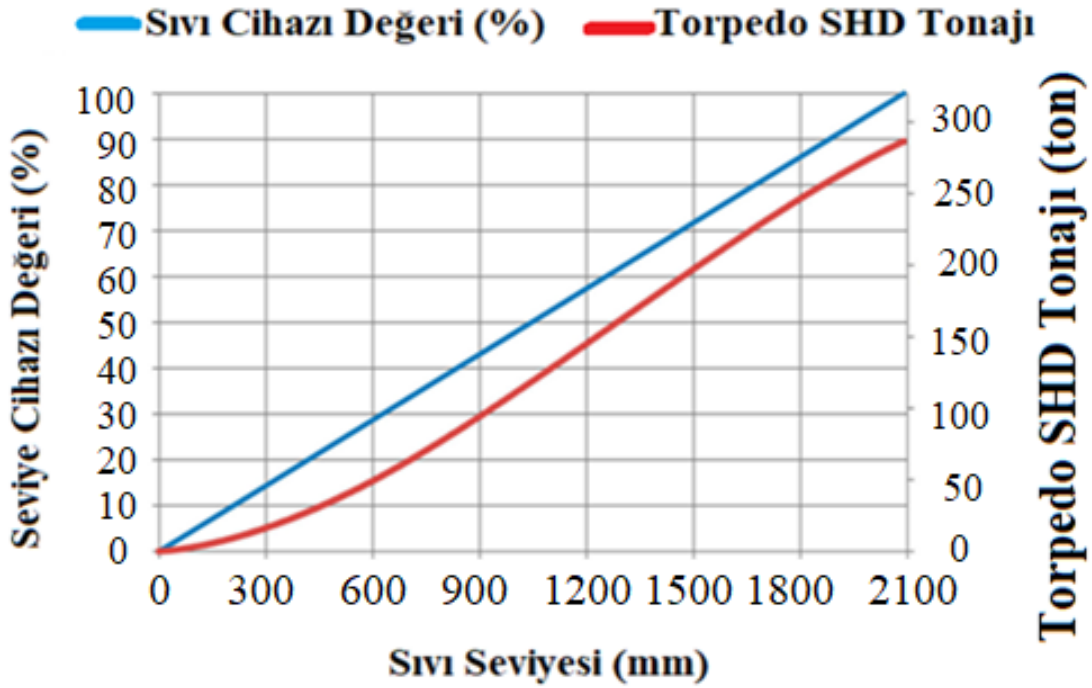
Haznedeki sıvı seviyesinin ölçümü için haznedeki boşluk hacmi hesaplanmakta olup;

Haznedeki boşluk hacmi (m^3) = $\pi \cdot r^2$ (Hazne yarıçapı) * H (haznenin döküm deliği ile tüyer altı arası mesafe) * θ (Boşluk Yüzdesi)

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi döküm sırasında alınan SHD miktarının torpedo seviye cihazları tarafından ölçülmüş olup yapılan hesaplamalar ile bu değerler torpedo seviyesini bağlı olarak oransal (%) ve ağırlık (ton) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.3. Döküm sırasında torpedo dolumunun izlenmesi [78]



Şekil 4.4. Torpedo dolumunun tonajdan yüzde oranına dönüştürülmesi [78]

Haznedeki boşalan SHD tonajı torpedo seviye cihazlarından tespit edilerek hazne seviyesinin izlenmesi için ise cüruf tonajının da bilinmesi gerekmektedir. Bunun için demirli malzemenin reaksiyonun sonucu 1 ton SHD üretimi sırasında üretilen cüruf miktarı değeri kullanılarak cüruf tonajı hesaplanabilir. SHD ve cüruf üretim hızı ise anlık tüketilen oksijen değerinden teorik olarak hesaplanabilmektedir. Döküm sırasında anlık drenaj hızı torpedo üzerine koyulan radar seviye ölçüm cihazlarında seviye değişimine göre hesaplanabilmektedir.

Sonuç olarak anlık teorik üretim hızı ve drenaj hızı arasında matematiksel modeller ile, hazne için anlık seviye ölçüm üzerine modeller geliştirilmiştir. Model geliştirilirken elde edilen verilerin doğruluğu çok önemlidir. Örneğin torpedo radar seviye cihazından alınan anlık drenaj miktarının doğru şekilde elde edilebilmesi için torpedoda ki refrakter aşınmasının ve içindeki oluşan skalın hesaba katılması gerekmektedir.

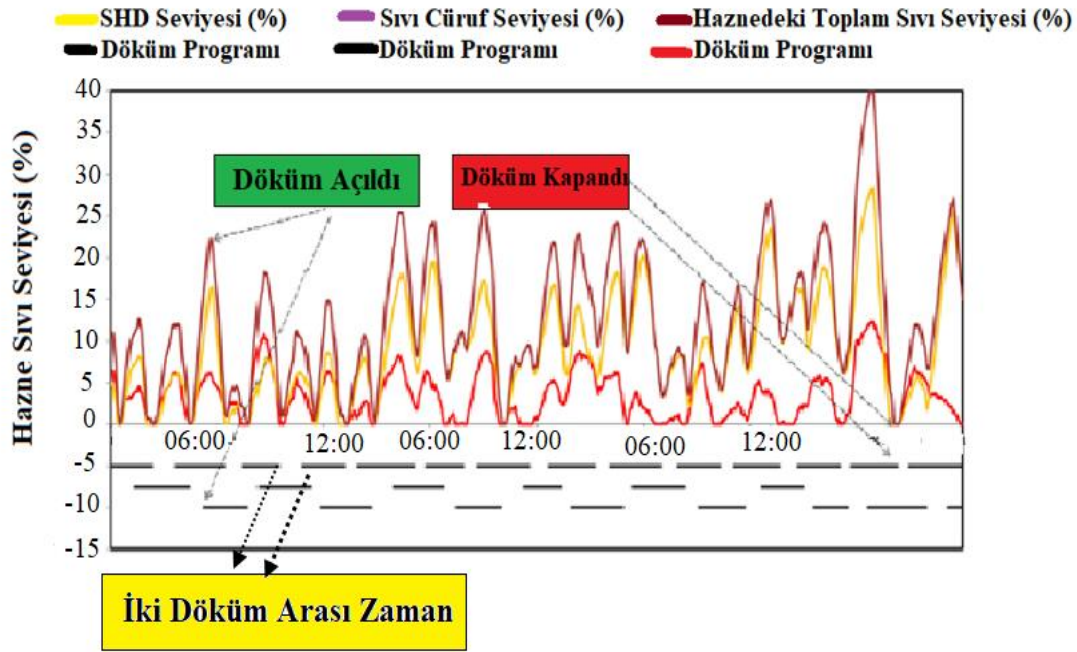
Bunun yanında YF hacmi artıka üretim ve basınç artışının yanında; kullanılan döküm deliği çamuru, matkap ucu ve YF kapatma kullanılan çamur topu ekipmanı da etkilidir.

YF'de döküm sırasında dökümün verimli şekilde olması için döküm çamurunun yeterli şekilde kürleşmesi gerekmektedir. Tek döküm deliği çalışılan YF'de bu süre 30 dakika olup iki veya daha fazla döküm deliğinin aktif olduğu yüksek hacimli YF'den ise döküm delikleri belli bir süreyle kullanıldıkları için döküm deliğindeki çamurun kürleşmesi için yeterli süre olmaktadır.

Döküm açıldıktan sonra önce SHD gelir ve 10-15 dakika sonra cüruf gelir. Cürufun gelme süresi başta YF hacmine ve diğer etkenlere göre değişebilir.

Döküm sırasında ana kanalda cürufun görünmesiyle birlikte haznedeki sıvı seviyesi hızla düşmeye başlar. Çünkü cürufun kimyasal yapısından dolayı cüruf akışı sırasında döküm deliğindeki çamurun hızlı şekilde aşınarak drenaj miktarını artırmaktadır. Geyer ve Halifa döküm deliğinde çamur aşınmasını üç aşamada gerçekleştirdiğini açıklamışlardır. SHD ve cüruf bir arada akarken toplam sıvı seviyesi yeterli şekilde ve drenaj oranı hızlı bir şekilde azalır [79].

Şekil 4.5' de gösterilen döküm açma kapama zamanları gösterilmektedir. YF'de döküm sonu belirtisi SHD ve cürufun aşırı saçaklı akmasından anlaşılır ve operatör bu durum da çamur topundaki çamurun döküm deliğine doldurulmasıyla döküm kapatılır [78].



Şekil 4.5. Torpedo dolumunun gerçek zamanlı gösterimi [78]

Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, döküm kapandığı durumda, hazne sıvı seviyesi yükselmekte olup döküm açıldığında ise seviye düşmektedir. Döküm sırasında cüruf gelme süresine, SHD akış hızına bağlı olarak haznede seviye durumu değişmektedir.

Sıvı seviyesinin anormal derecede yükselmesinin nedenleri ise; sıcak metali taşıyan torpedonun hazır olmaması, YF'yi açan matkapta arıza olması, SHD ve cürufun YF'den taşıyan refrakterli kanalların hazır olmaması gibi durumlardır. Bu durumda sıvı seviyesinin izlenmesi önemlidir. Çünkü sıvı seviyesinin anormal derecede yükselerek YF'ye hava üflenmesini sağlayan su soğutmalı tüyerlerin yanmasına neden olur. Bu durumda ise yanan tüyerleri değiştirmek için YF duruşa alınmakta olup bundan dolayı üretim kayıpları olabilmektedir.

Torpedo seviye cihazlarında seviye bağılı olarak elde edilen veriler sonucu elde edilen SHD miktarı hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer, torpedo kantarında tartım sonucu elde edilen sonuç ile kıyaslanarak doğru olup olmadığı tespitleri yapılmaktadır.

Bu şekilde yapılan hazne sıvı seviyesinin anlık izleme modeli, YF'yi işleten operatörlerin daha güvenli şekilde YF'yi yönetmelerine yardımcı olabilmektedir.

YF'de döküm işleminin matkapla sağlıklı şekilde yapılması için döküm açmadan önce gerekli ayarlama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Matkapla döküm açarken en önemli hususlardan biride kullanılan matkap ucunun çapıdır. Matkap ucu seçiminde en önemli etken haznedeki sıvı seviyesidir. Eğer haznedeki sıvı seviyesi yükselmişse büyük çaplı matkap ucu kullanılır, hazne seviyesi düşük ise daha küçük çaplı matkap ucu kullanılır [80].

Geçmişte hazne içinden ne kadar SHD alındığı torpedoların kantar değerlerine bakılarak anlaşılırdı. Günümüzde hazne sıvı seviyesinin anlık izlendiği modern uygulamalar geliştirilmiştir. Haznenin boş olduğunun göstergesi ise döküm sonunda üfleme belirtisidir. Eğer üfleme uzun olursa döküm deliğini kapatmak için daha fazla döküm deliği çamuru kullanmak gerekir.

4.3.2. Değişken Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli

Hazne ve haznenin üst kısmında yer alan ölü adam arasındaki metalurjik kok boşluk oranının; şarj hızı (şarj sayısı/saat), fark basınç, cüruf oranından etkilendiğine dair çalışmalar yapılmıştır [81].

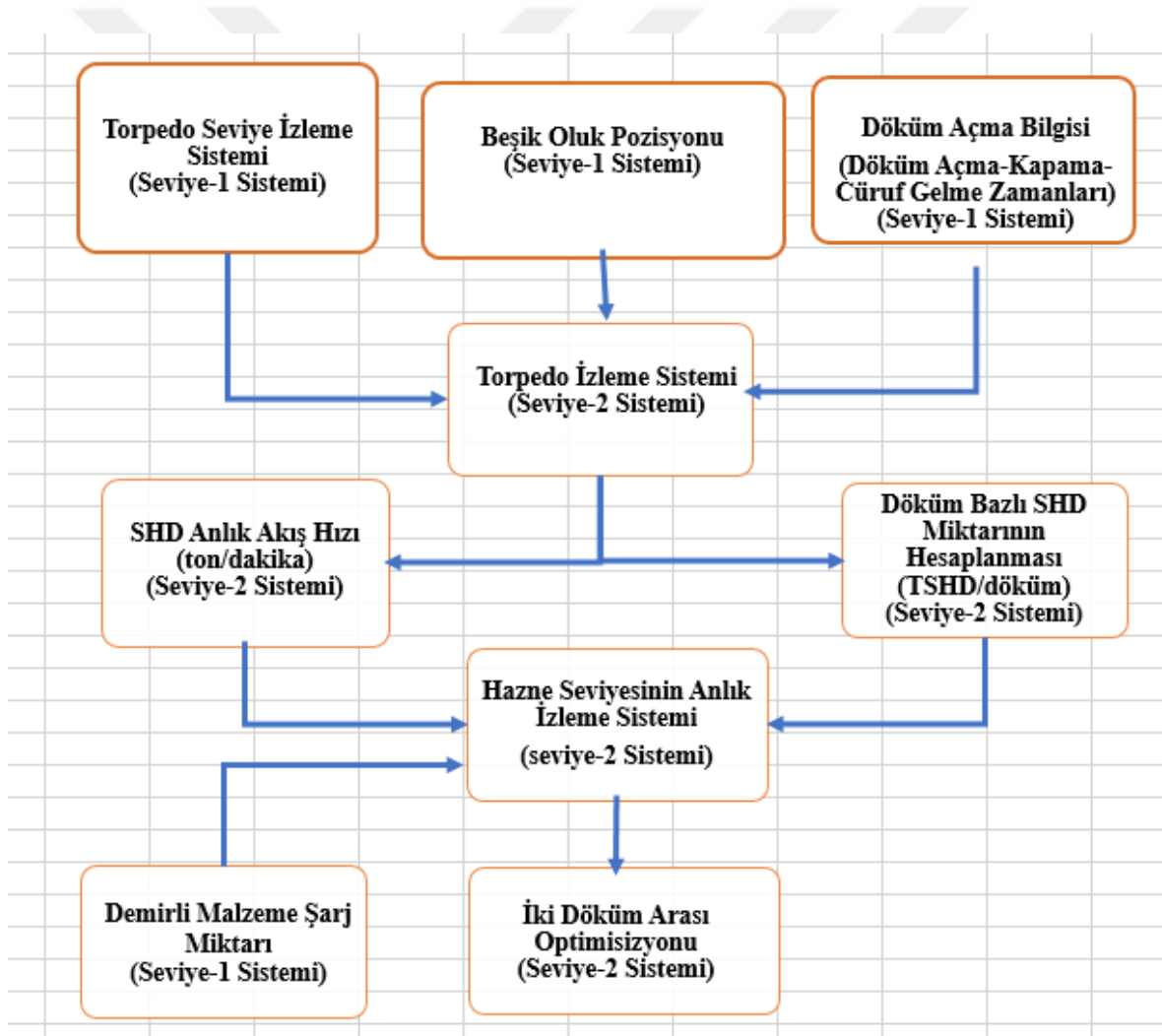
Bu çalışmalar neticesinde elde edilen denklem[42];

$$\varepsilon = \frac{0,0981 * G * (1 + S)}{A * \frac{dP}{dt}} \quad (4.3)$$

Bu denklem içerisinde; ε : Metalurjik kok boşluk oranı (%), G: Teorik SHD üretimi (TSHD/Saat),S: Teorik cüruf üretimi (Ton/TSHD),A: Hazne alanı (m²),dP/dt: Fark basınç (bar)

5. UYGULAMA

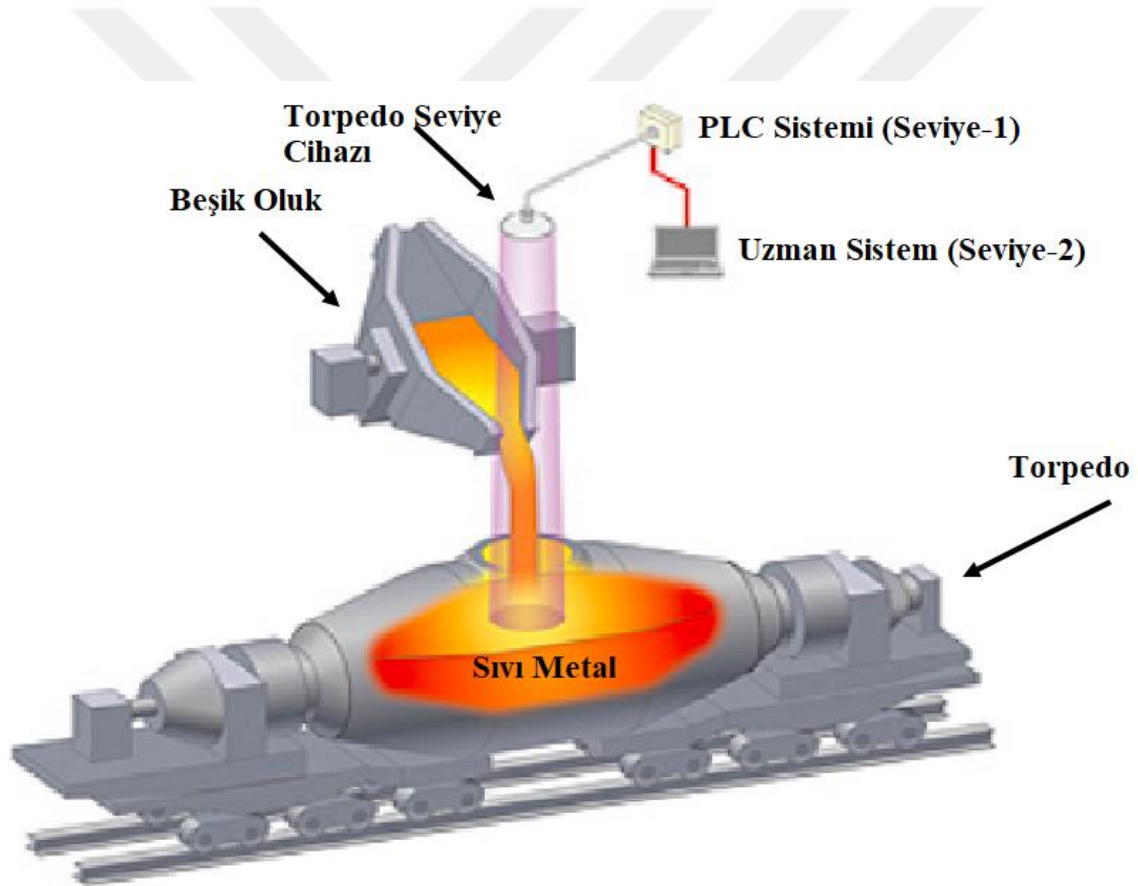
YF’de iki döküm arası optimum sürenin, YF çalışma şartlarına göre hesaplanabilmesi için, haznedeki SHD ve cüruf seviyelerinin anlık olarak izleneceği bir modelin olması amaçlanmıştır. Bu model için makale çalışmaları yukarıda verilmiştir. Bu makalelerden elde edilen bilgiler ve yapılan çalışmaların sonucu 2.YF’de haznedeki SHD, cüruf toplam seviyesi şeklinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma için kullanılan yöntem ve ekipmanların şematik gösterimi Şekil 5.1’de özetlenmiştir.



Şekil 5.1. İki döküm arası sürenin optimizasyonunda kullanılan yöntem ve ekipmanların şematik gösterimi

Şekil 5.1. de gösterildiği gibi iki döküm arası sürenin optimizasyonu için çalışma yaptığımız YF da, uzman sistem olarak bilinen seviye-2 sistemi ve PLC sistemi olarak bilinen seviye-1 sistemleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ise şu şekildedir.

- **Torpedo Seviye İzleme Sistemi (Seviye-1 Sistemi):** YF da, döküm açılma işlemi öncesi yarı dolu ve/veya, boş torpedo bulundurulur. Torpedo hazır olduktan sonra döküm açma işlemi gerçekleştirilir. Torpedo seviye ölçüm cihazları, seviye bilgilerini işlenmek üzere seviye-1 sistemi üzerinden seviye-2 sistemine verileri gönderir.



Şekil 5. 2. Torpedo seviye ölçüm sistemi [82]

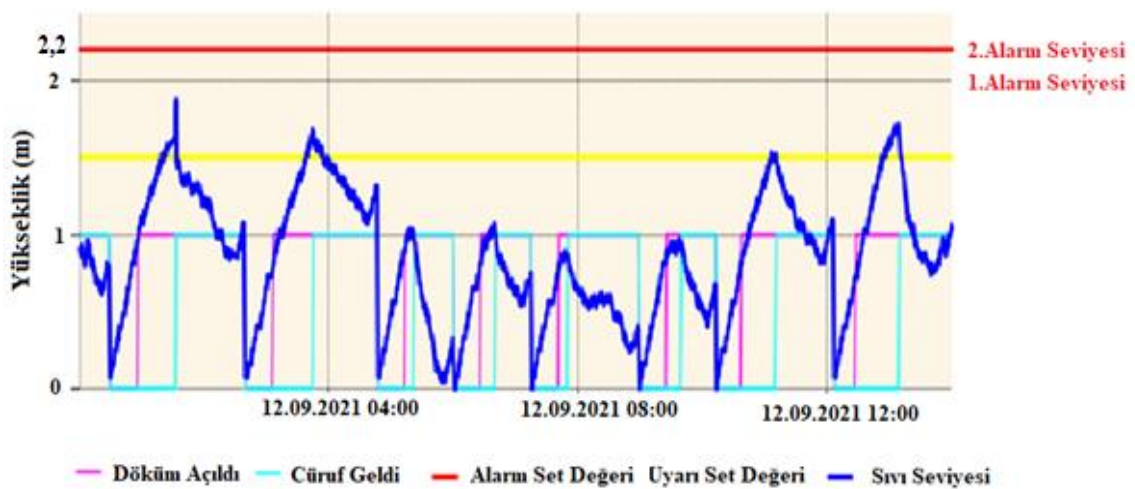
Beşik Oluk Pozisyonu (Seviye-1 Sistemi): YF’de üretilen SHD, beşik oluklar vasıtasıyla iki farklı demiryollarında bulunan torpedolara doldurulur. Beşik oluk konumundan hangi torpedoya SHD akışının olduğu seviye-1 sistemi vasıtasıyla seviye-2 sistemine işlenmek üzere seviye-2 sistemini beşik oluk pozisyon verisi gönderilir. Böylece döküm alınmayan torpedodaki çalkalanma, dalgalanma, vb. durumundan dolayı SHD seviyesi değişimleri

dikkate alınmadığı için daha hassas ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında beşik oluk pozisyonları için özel tasarımı plaka montajlar yapılarak devreye alınmış olup şu an aktif çalışmaktadır.

Döküm Bilgileri (Döküm açma-kapama-cüruf gelme zamanı) (Seviye-1 Sistemi): İki döküm arası süresinin hassas şekilde optimizasyonu için en önemli veriler, döküm açma, cüruf gelme ve döküm kapama zamanlarının doğru şekilde seviye-1 sistemi üzerinden seviye-2 sistemine gönderilmesidir. Bu çalışma kapsamında döküm holüne pano montajı yapılmış olup; döküm gelme, cüruf gelme ve döküm kapatma işlemleri pano üzerinden anlık olarak yapılmıştır. Böylece pano üzerinden yapılan her işlem seviye-1 sistemi üzerinden seviye-2 sistemine gönderilerek işlenmeye başlanmıştır.

Torpedo İzleme Sistemi (Seviye-2 Sistemi): Torpedo seviye cihazlarından gelen ölçüm değerleri, beşik oluk konumu, döküm açma bilgileri seviye-2 sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu yazılım sonucu; döküm sırasında anlık SHD akışı verisi ve döküm sırasında üretilen SHD miktarı verisi hesaplanmıştır.

Hazne Seviyesinin Anlık İzleme Sistemi (Seviye-2 Sistemi): Torpedo izleme sisteminden üretilen yani haznedeki boşaltılan SHD miktarının hesaplanması ve şarj edilen SHD miktarı arasında seviye-2 sisteminde matematiksel modelleme yazılımı yapılarak haznedeki anlık sıvı seviye takibi Şekil-5.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. İki döküm arası sürenin etkin şekilde takibi için yapılan hazne takip sistemi

İki Döküm Arası Optimizasyonu (Seviye-2 Sistemi): Haznedeki anlık sıvı seviyesinin izleme sistemi kurulmasıyla sonucu, zamana bağlı olarak sıvı seviyesi de izlenmeye başlanmıştır. Böylece YF’de SHD’nin hazne içerisinde işletmeye ve prosese zarar verecek yüksekliğe ulaşmadan en uygun dışarıya alınma zamanı (döküm zamanı) tespit edilebilmektedir.

5.1. SHD ve Cüruf Drenaj Miktarının Hesaplanması

5.1.1. SHD Drenajının Hesaplanması

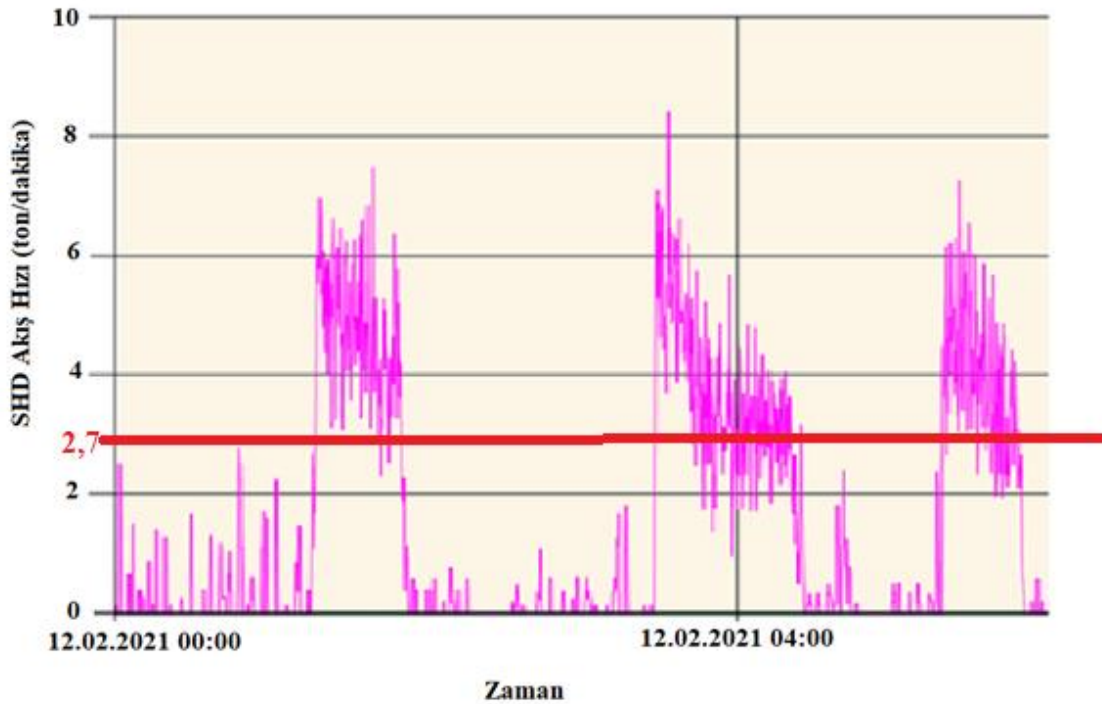
2.YF’de sadece bir dökümde drenaj edilen SHD miktarının tonajı, bir torpedoya alınan doldurulan SHD miktarı torpedo kantarından tartılması ile döküm sırasındaki toplam SHD drenajı hesaplanabiliyordu. Ancak anlık SHD drenaj miktarı ölçen bir sistem olmadığı için haznedeki anlık SHD seviyesi ile ilgili hesap yapılamıyordu. Bu yüzden anlık hazne seviyesi belli olmamaktaydı. Bunun için her dökümde alınan SHD miktarının hesaplanabilmesi için torpedo seviye cihazı montajları yapılmıştır.

Torpedo seviye cihazları devreye alınmadan önce torpedo hacmi, yüksekliğe bağlı dolun seviyesinin tonaj cinsinden belirlenmesi ve anlık SHD akış hızlarının belirlenmesi yönünde modelleme çalışmaları seviye-2 sistemi üzerinden elde edilen değerler Çizelge 5.1.’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 1. Torpedo dolumu sırasında doluluk oranı, sıvı seviyesi ve tonaj miktarı

Sıvı Seviyesi (mm)	Seviye Değeri (%)	Torpedo Tonajı (ton)
100	4,37	5,5
200	8,75	16,7
300	13,1	18,72
400	17,31	30,77
500	21,6	40,43
600	26,1	54,909
700	30,42	69,028
800	34,82	84,059
900	39,1	101,12
1000	43,41	115,141
1100	47,7	128,387
1200	52,31	149,44
1300	56,51	164,998
1400	60,7	180,83
1500	65,2	198,157
1600	69,5	212,512
1700	73,8	222,816
1800	78,04	239,366
1900	82,65	250,39
2000	86,86	264,509
2100	91,34	278,955

Döküm sırasında torpedo dolum tonajı seviye-2 sistemi ile izlenmekte olup, bu veriler kayıt altına alınabilmektedir. Ayrıca döküm başlangıcında ve sonunda torpedo seviye farkından döküm bazlı ne kadar SHD alınması gerektiği, bu model sayesinde mümkün olmuştur. Bunun yanında döküm sırasında SHD anlık akış miktarı Şekil-5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5. 4. Torpedo dolumu sırasında radar seviyesinde alınan değerlerin seviye-2 sisteminde anlık akış hızına dönüştürülmesi

Şekil 5.4 incelediğimize, dökümün ilk açılış zamanlarında, döküm deliği çapı küçük olduğu için, anlık SHD akış hızı da düşük olmaktadır. Döküm deliği boyutu yaklaşık döküm alınır iken kullanılan matkap ucu çapı olan 50 mm civarında olduğundan akış az olmaktadır. Bu durumda SHD akış hızı da düşük olabilmektedir. SHD sıcaklık, kimyasal kompozisyon, cürufun gelme süresi ve çamurun kalitesine bağlı aşınma hızı gibi faktörler sonucu döküm deliği çapı 100 mm'ye kadar çıkmaktadır. Döküm deliği çapının genişlemesine bağlı olarak ise SHD akış hızı değişebilmektedir. Şekil 5.4 irdelediğimizde YF'nin daha sağlıklı bir şekilde yönetilmesi, SHD'nin kontrollü bir şekilde hazneden boşaltılması için döküm akış hızının artırılmasının daha iyi olacağı söylenebilir.

5.1.2. Cüruf Drenajının Hesaplanması

Konu ile ilgili literatür araştırması incelendiğinde günümüzde birçok YF'de döküm sırasında üretilen cürufun granüle tesisinde tartımı yapılmaktadır [78]. Ancak mevcut tesiste böyle bir

imkân olmadığı için cüruf miktarının döküm bazlı olarak belirlenmesinde aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.

Normal şartlarda Seviye-2 sisteminde şarj edilen demirli cevher malzemesinden ne kadar SHD ve cüruf üretileceği teorik olarak hesaplanmaktadır.

Çalışma yaptığımız YF da, döküm sırasında cüruf potaya alınmaktadır. Potaya alınan cüruf üretim miktarı ile seviye-2 sistemi üzerinden hesaplanan teorik cüruf miktarları karşılaştırılmıştır. Örneğin, döküm sırasında 4 pota cüruf alındığında cüruf miktarı 4 adet pota *30 ton (her potadaki cüruf miktarı) =120 ton cüruf elde edilmiştir. Seviye-2 sisteminde ise döküm sırasında elde edilen miktarı ise 100 ton olmaktadır. Buna benzer çalışmalar sonucu teorik cüruf miktarının %20 fazlası kabul edilerek hazne seviyesi için cüruf hesabı yapılmıştır.

Yapılan gerçek ölçümlerde döküm bazlı olarak üretilen cüruf miktarının teorik cüruf miktarından %20'den daha fazla oranda bulunduğu hesaplanmıştır. CTT (Dökümde elde edilen cüruf tonajı) değeri denklemde yerine konularak aşağıdaki gibi hesaplama yapılmıştır.

$$CAT \text{ (ton/dakika)} = SHDAT \text{ (ton/dakika)} * CH \text{ (kg/TSHD)} * DK \quad (5.1)$$

$$CTT \text{ (ton)} = CAT \text{ (ton/dakika)} * CAS \text{ (dakika)} \quad (5.2)$$

5.1 nolu formülde SHD drenajının ölçümü torpedo seviye cihazlarından alınan dakikalık seviye değişimlerinden elde edilerek hesaplanır.

5.2. nolu formülde cüruf drenajını üretilen cüruf miktarının %20 fazlası (bazı dökümlerde cüruf potaya alındığında üretimin %20 fazlası olduğu) varsayılarak hesaplanır.

Bunun yanında denklemde; CTT (ton): Dökümde elde edilen cüruf tonajı, CAT (ton/dakika): cüruf anlık tonajı, SHDAT (ton/dakika): SHD anlık tonajı, CH (kg/TSHD): Cüruf hacmi; güncel harmandaki cüruf hacmi, DK: Düzeltme katsayısı; (Düzletme katsayısı; son dönemlerde potaya çalışıldığı durumda, potaya alınan miktar teorik miktarın %20 fazlası olmuştur), CAS (dakika): Cüruf Akış Süresi

5.2. Hazne Sıvı Seviyesinin Modellenmesi

Döküm sırasında üfleme belirtisi ile döküm kapatılır ve haznenin döküm deliği seviyesinde sıvı malzeme olmadığı kabul edilerek metalurjik kok boşluğunun sabit olması ve değişken olması ile iki farklı tipte hazne sıvı seviyesi modeli yapılmıştır.

YF üretim sürecinde haznede metalurjik kok boşlukları arasında üretilen SHD ve cüruf dolmaktadır (Bknz. Şekil 4.1). Hazne modelleri sabit metalurjik kok boşluğu ve değişken metalurjik kok boşluğu değerine göre iki farklı şekilde geliştirilmiştir. Sabit metalurjik kok boşluğu değerine göre hazne modeline göre; fırın çalışma hacmi ve metalurjik kok kalite parametrelerine 0,2 ile 0,5 arasında değişmektedir [21]. Yapılan araştırmalarında haznedeki metalurjik kok boşluğu hacim oranı 0,3 (%30) sabit kabul edilerek ve hazne modeli geliştirilmiştir [1]. Değişken metalurjik kok boşluk değerine göre hazne modelinde ise, fark basınç, cüruf gelme süresi gibi faktörler dikkate alınarak metalurjik kok boşluk değeri hesaplanarak farklı bir hazne modeli geliştirilmiştir [42]. Yaptığımız bu çalışmalar aşağıdaki gibidir.

5.2.1. Sabit Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli

a. Hazne Hacim Hesabı

$$FHD(m^3) = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * H * V \quad (5.3)$$

Bu denklemde; FHD: Faydalı Hazne Hacmi (m³), π : pi sayısı, D(m): Hazne Çapı (m), H: Tüyer altı ile döküm deliği arasındaki yükseklik (m), V: YF haznesindeki metalurjik koklar arasındaki boşluk oranıdır.

YF haznesinde metalurjik kok boşlukları arasındaki elde edilen hacim faydalı hazne hacmi (FHD) olarak adlandırılmaktadır. YF'de üretilen SHD ve cüruf haznedeki faydalı hacmi doldurmaktadır. YF haznesindeki FHD formülü SHD ve cürufun hacminin ve katman kalınlığının ölçümünde kullanılarak anlık hazne seviye izleme modelinin oluşumunda etkin rol oynamaktadır. Faydalı hacim hesaplamasında en önemli faktör metalurjik kok boşluğu

oranı olup YF hacmi ve metalurjik kok kalitesinde elde edilen değerlere göre metalurjik kok boşluk oranı %30 olarak alınmıştır. FHD formülü değerleri Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5. 2. Çalışma yapılan 2.YF Hazne Parametreleri

YF Hazne Parametreleri		
Tanım	Boyut	Açıklama
π	3,14	Pi sayısı olup hazne hacminin hesaplanmasında kullanılan sabit değerdir.
Çap	7,5 (m)	Hazne çapı normal şartlarda 8,5 m olup skal, hazne kirliliği vb. nedenlerden dolayı 7,5 m alınmıştır.
Yükseklik	2,2 (m)	Döküm deliği ile tüyer eksenin 2,8 m olup güvenli alan olan 2,2 m yükseklik seçilmiştir.
Hacim	97,1 (m ³)	Hazne için belirtilen yükseklik ve çap bilgilerinden elde edilen hacim hesaplaması
Metalurjik kok Boşluğu	0,3 (%)	Haznedeki metalurjik kok boşluğu için kabul edilen değer [1]
Faydalı Hacim	24 (m ³)	Metalurjik kok boşluğu değeri sonrası elde edilen hacim
Sıvı Pik Yoğunluğu	6,8 (kg/m ³)	Birçok literatür çalışmasında 6,8 kg/m ³ alınmıştır. [1]
Cüruf Yoğunluğu	1,3 (kg/m ³)	Birçok literatür çalışmasında 1,3 kg/m ³ alınmıştır. [6]

Çizelge 5.2.’de test çalışması yaptığımız YF’de hazne değerleri ve metalurjik kok boşluğu değerini formülde yerine koyduğumuzda;

FHD (m³): $\pi * [(7.5/2)^2] * 2,2(m) * 0,3 = 29,14 \text{ m}^3$ haznedeki faydalı hacim elde ettik. Bu faydalı hacim haznedeki SHD ve cürufun kapladığı hacimdir.

YF’de, YF tepesinden şarj edilen metalurjik kok malzemesi yüksek sıcaklıkta reaksiyonlara girmesine rağmen haznede katı kalabilmektedir. Haznede katı şekilde duran metalurjik kok boşlukları arasını ise üretilen SHD ve cüruf doldurmaktadır. Yapılan hesaplamada SHD ve cürufun kapladığı hacim yer almaktadır.

b. İki Döküm Arasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi

Döküm sonunda üfleme belirtisi görüldüğünde YF kapatılır ve haznede, döküm deliği ile tüyer altında belirlenen seviye arasında SHD ve cüruf olmadığı kabul edilir. Döküm kapanıp üretim devam ettiği için haznede tekrar SHD ve cüruf birikmeye (5.4) başlamaktadır. Hazne seviyesi aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$SHD\mathcal{M}(ton) = \mathcal{S}A(adet) * TESHD \left(\frac{ton}{adet} \right)$$

YF'ye şarj edilen demir cevherinin redüklenmesi sonucu yaklaşık %94 Fe içeriğine sahip SHD üretilmektedir. İki döküm arasında şarj edilen demirli cevherin redüklenmesi sonucu üretilen toplam SHD miktarı şarj edilen demir malzeme miktarı (TESHD) ve şarj sayısının (ŞA) çarpımı ile bulunur.

$$C\mathcal{S}M(ton) = \mathcal{S}A(adet) * TEC \left(\frac{ton}{adet} \right) \quad (5.5)$$

YF'ye şarj edilen demir cevherinin redüklenmesi için ilave olarak cüruf yapıcılar (dolomit, kuvarsit, olivin, vb.) şarj edilmektedir. Böylece SHD üretim sırasında cürufta üretilmektedir. İki döküm arasında şarj edilen demirli malzeme ve ilavelerin redüklenmesi sonucu üretilen toplam cüruf miktarı şarj edilen demir içerikli malzeme miktarı ve ilave yapıcılar (TEC) ve şarj sayısının (ŞA) çarpımı ile bulunur.

$$\mathcal{S}PKK \left(\frac{m}{adet} \right) = \mathcal{S}A \left(\frac{ton}{adet} \right) * \frac{SHDY \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{FHD(m^3)} * H(m) \quad (5.6)$$

YF kohezif bölgesinde üretilen SHD sıvı damlacıklar şeklinde haznede birikmektedir. Bu formülle her şarj sonrası üretilen SHD'nin haznede oluşturduğu katman kalınlığı yüksekliği hesaplanmaktadır.

$$\mathcal{S}CKK \left(\frac{m}{adet} \right) = TEC \left(\frac{ton}{adet} \right) * \frac{CY \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{FHD(m^3)} * H(m) \quad (5.7)$$

YF kohezif bölgesinde SHD ile birlikte üretilen cüruf sıvı damlacıklar şeklinde haznede birikmektedir. Bu formülle her şarj sonrası üretilen cürufun haznede oluşturduğu katman kalınlığı yüksekliği hesaplanmaktadır.

$$(5.8)$$

$$\text{\textit{ŞTKK}}(\text{ton}) = \text{\textit{ŞPKK}}\left(\frac{m}{\text{adet}}\right) + \text{\textit{ŞCKK}}\left(\frac{m}{\text{adet}}\right)$$

YF’de yapılan 1 adet demirli malzeme ve ilave malzemenin şarj sonucu üretilen SHD ve cürufun haznedeki toplam katman kalınlığı hesaplanmaktadır. Böylece zamana bağlı şarj sayısına bağlı olarak tüyer seviyesine ulaşılacağı hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer ile iki döküm arası optimum süre belirlenir.

Bu denklemlerde; TESH (ton/adet): Şarjdaki teorik SHD miktarının seviye sistemi tarafından hesaplanan değeri, TEC (ton/adet): Şarjdaki teorik cüruf miktarının seviye sistemi tarafından hesaplanan değeri, ŞA (adet): Şarj Adedi, SHDŞM (ton): İki döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD üretim miktarı, CŞM (ton): İki döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik Cürufun üretim miktarı, ŞCKK(m/adet): Şarjdaki teorik cüruf miktarının haznede oluşturduğu katman kalınlığı, ŞKKK(m/adet): Şarjdaki teorik SHD ve cüruf miktarının haznede oluşturduğu katman kalınlığı, SHDY (kg/m³): Birçok literatür çalışmasında 6,8 kg/m³ alınmıştır [12], CY (kg/m³): Birçok literatür çalışmasında 1,3 kg/m³ alınmıştır [83]

Çizelge 5. 3. YF hazne verileri, YF şarj verileri ve formüller kullanılarak elde edilen iki döküm arası süre veri tablosu

İki Döküm Arası Süre (dakika)		
Tanım	Boyut	Açıklama
İki Döküm Arası Süre (dakika)	25,33	Döküm kapandıktan sonra şarj hızı(şarj sayısı/saat), şarj edilen yük miktarı ve hazne değerlerine göre hesaplanan değer (Çizelge 6.5).
Maksimum Hazne Yüksekliği(m)	2,2	Döküm deliği ile tüyer eksenindeki mesafe 2,80 m olup proses güvenliği için 20 cm emniyet payı bırakılarak bu değer 2,20 m olarak alınmıştır.
Şarjdaki Teorik SHD (ton/adet)	27,2	Şarjdaki teorik SHD miktarının seviye-2 sistemi tarafından hesaplanan değeri
Şarjdaki Teorik Cüruf Miktarı (Ton)	8,0	Şarjdaki teorik cüruf miktarının seviye-2 sistemi tarafından hesaplanan değeri
Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	6,5	Seviye-1 sisteminde şarj sayısının süreye bağlı ölçümü
Kritik Şarj Adedi (Adet)	2,4	Döküm kapandıktan sonra şartlara göre maksimum yapılacak sayısı
Sıcak Metal Şarj Miktarı (ton)	65	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD üretim miktarı

Sıcak Malzeme Hacmi (m ³)	9,6	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD'nin haznede kapladığı hacim
Cüruf Şarj Miktarı (ton)	19,2	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik Cürufun üretim miktarı
Cüruf Hacmi (m ³)	14,7	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik Cürufun haznede kapladığı hacim
Hazne Toplam Hacmi (m ³)	29,15	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD ve Cürufun haznede kapladığı toplam hacim
Sıvı Pik Katman Kalınlığı (m)	0,9	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD'nin haznede oluşturduğu katman kalınlığı
Sıvı Cüruf Katman Kalınlığı (m)	1,3	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik Cürufun haznede oluşturduğu katman kalınlığı
Toplam Katman Kalınlığı (m)	2,20	Döküm arasında yapılan şarj sayısına göre teorik SHD Cürufun haznede oluşturduğu toplam katman kalınlığı
Kritik Yükseklik Durumu (EVET/HAYIR)	HAYIR	Tüyer altı ile döküm deliği arasındaki yükseklik durumu
Şarj Pik Katman kalınlığı (m/adet)	0,362	Şarjdaki teorik SHD miktarının haznede oluşturduğu katman kalınlığı
Şarj Cüruf Katman kalınlığı (m/adet)	0,559	Şarjdaki teorik cüruf miktarının haznede oluşturduğu katman kalınlığı
Şarj Toplam Katman kalınlığı (m/adet)	0,92	Şarjdaki teorik SHD ve cüruf miktarının haznede oluşturduğu katman kalınlığı

Çizelge 5.3.'deki YF'de döküm kapandıktan sonra maksimum ne kadar sürede SHD alınabilir noktasında çalışma yapılmıştır. Bu çizelgedeki optimum döküm süresi için 5.4, 5.5, 5.6. ,5.7. ve 5.8 nolu formüllerden yararlanılarak elde edilmiştir. Formüllerdeki veriler aşağıda kısaca özetlenmiştir;

- YF tepesinden şarj edilen demir cevheri ve metalurjik kokun, tüyerlerden üflenen oksijen yönünden ısıtılmış hava ile reaksiyonu sonucu SHD ve cüruf üretilmektedir.
- Üretilen SHD ve cüruf miktarı şarj hızına (şarj sayısı/saat) göre değişkenlik göstermektedir.
- Üretilen SHD ve cüruf YF haznesinde metalurjik kok boşlukları arasına birikmektedir.
- Haznede biriken SHD ile birlikte cüruf seviyesi 2,2 m'ye kadar yükseldiğinde çalışma yaptığımız YF'de döküm açılması işletme ve proses sürekliliği açısından önemlidir.

- Normal şartlarda çalışma yaptığımız YF’de tüyer ile döküm deliği arasındaki 2,8 m olup, döküm kapalı iken haznedeki sıvı seviyesinin buraya kadar ulaşmasında üretim açısından bir problem oluşturmaz. Ancak döküm açma sırasında kullanılan matkap arızası, üretilen SHD’nin doldurularak çelikhaneye transferinde kullanılan torpedoların geç gelmesi ve en önemlisi döküm açıldıktan sonra cüruf akışkanın çok geç başlamasına bağlı olarak haznedeki sıvı seviyesinin yükselerek 2,8 m’yi geçmesi proses güvenliği açısından risk oluşturacaktır. Bu yüzden emniyet payı olarak 60 cm olarak alınmıştır.

Çizelge 5.3. de elde edilen formüller İSDEMİR A.Ş. seviye-2 sistemine işlemiştir. İSDEMİR A.Ş. YF Seviye-2 sisteminde formüllere göre elde değerlerin sonucu döküm kapalı iken Çizelge 5.4.’deki veriler ile elde edilmiştir.

Çizelge 5. 4.2.YF hazne verileri, YF şarj verileri ve formüller kullanılarak elde edilen iki döküm arası süre verileri (Yüksek Fırın Seviye-3 sisteminden alındı).

Haznede SHD Miktarı (ton)	Haznede Cüruf Miktarı (ton)	SHD Seviyesi (m)	Cüruf Seviyesi (m)	Sıvı Seviyesi (SHD Seviyesi (m)+ Cüruf Seviyesi (m))	Döküm Kapanış Zamanı (SS:DD) Saati	İki Döküm Arası Zaman (SS:DD)
2,813	0,83	0,037	0,033	0,07	08:43	00:01
2,925	0,87	0,076	0,067	0,14	08:44	00:02
2,813	0,83	0,114	0,100	0,21	08:45	00:03
2,925	0,87	0,153	0,134	0,29	08:46	00:04
3,038	0,90	0,193	0,169	0,36	08:47	00:05
3,150	0,93	0,235	0,206	0,44	08:48	00:06
2,700	0,80	0,271	0,238	0,51	08:49	00:07
2,700	0,80	0,307	0,269	0,58	08:50	00:08
2,700	0,80	0,343	0,301	0,64	08:51	00:09
2,700	0,80	0,379	0,332	0,71	08:52	00:10
2,700	0,80	0,415	0,364	0,78	08:53	00:11
2,925	0,87	0,454	0,398	0,85	08:54	00:12
2,925	0,87	0,493	0,432	0,92	08:55	00:13
2,925	0,87	0,532	0,466	1,00	08:56	00:14
2,925	0,87	0,571	0,500	1,07	08:57	00:15
2,925	0,87	0,610	0,534	1,14	08:58	00:16
2,817	0,87	0,647	0,568	1,22	08:59	00:17
2,817	0,87	0,685	0,603	1,29	09:00	00:18
2,817	0,87	0,723	0,637	1,36	09:01	00:19
2,817	0,87	0,760	0,671	1,43	09:02	00:20
2,925	0,90	0,799	0,706	1,51	09:03	00:21
2,925	0,90	0,838	0,742	1,58	09:04	00:22
2,925	0,90	0,877	0,777	1,65	09:05	00:23

2,925	0,90	0,916	0,813	1,73	09:06	00:24
2,925	0,90	0,955	0,848	1,80	09:07	00:25
2,925	0,90	0,994	0,884	1,88	09:08	00:26
2,925	0,90	1,033	0,919	1,95	09:09	00:27
2,925	0,90	1,072	0,954	2,03	09:10	00:28
2,925	0,90	1,111	0,990	2,10	09:11	00:29
2,925	0,90	1,150	1,025	2,18	09:12	00:30
3,033	0,93	1,190	1,062	2,25	09:13	00:31
3,033	0,93	1,231	1,099	2,33	09:14	00:32
3,033	0,93	1,271	1,136	2,41	09:15	00:33
3,033	0,93	1,311	1,172	2,48	09:16	00:34
3,033	0,93	1,352	1,209	2,56	09:16	00:35
3,033	0,93	1,392	1,246	2,64	10:16	00:36
3,033	0,93	1,433	1,283	2,72	11:16	00:37
3,033	0,93	1,473	1,319	2,79	12:16	00:38
3,033	0,93	1,513	1,356	2,87	13:16	00:39

Burada elde edilen verilerin YF prosesine olan etkileri aşağıda özetlenmiştir:

Çizelge 5.4. elde edilen veriler YF’de döküm kapanıp tekrar açılıncaya kadar haznedeki SHD ve cüruf yüksekliğinin; zamana bağlı değişimi göstermiştir. Burada elde edilen verilerle Şekil 5.5. deki grafik oluşturulmuştur. YF’de SHD üretimi sırasında, şarj edilen demirli cevher miktarına bağlı olarak iki döküm arası süre hesaplanabilmektedir. Şekil-5.5.’de çalışma yaptığımız YF’de iki döküm arası süre, hazne hacim ve üretim verileri kullanarak hesapladığımız değerler grafik üzerinde belirtilmiştir.

Bu grafik ile döküm kapalı iken sıvı malzeme seviyesinin zamana bağlı yükselmesi gösterilmiştir. Araştırma sonucunda çalışma yaptığımız YF’de döküm deliği ile tüyer ekseninde arasında yükseklik 2,80 m olmasına rağmen proses güvenliği için 60 cm emniyet payı bırakılarak bu değer 2,20 m alınmıştır. (Bknz Çizelge 5.3 ve Şekil 5.2). İki döküm arasında hazne yüksekliği 2,20 m’yi geçerek 2,80 m’ye doğru yükselmeye devam ederken döküm açılmadığında haznedeki sıvı seviyesi yükselerek YF’ye hava üflemesini sağlayan su soğutmalı bakır tüyerlerin hasarlanmasına neden olmaktadır. Hasarlanan tüyerin değişimi için ise YF duruşa alınmakta olup bu durum hem üretim kaybı hemde prosesin bozulması gibi problemleri ortaya çıkartmaktadır.

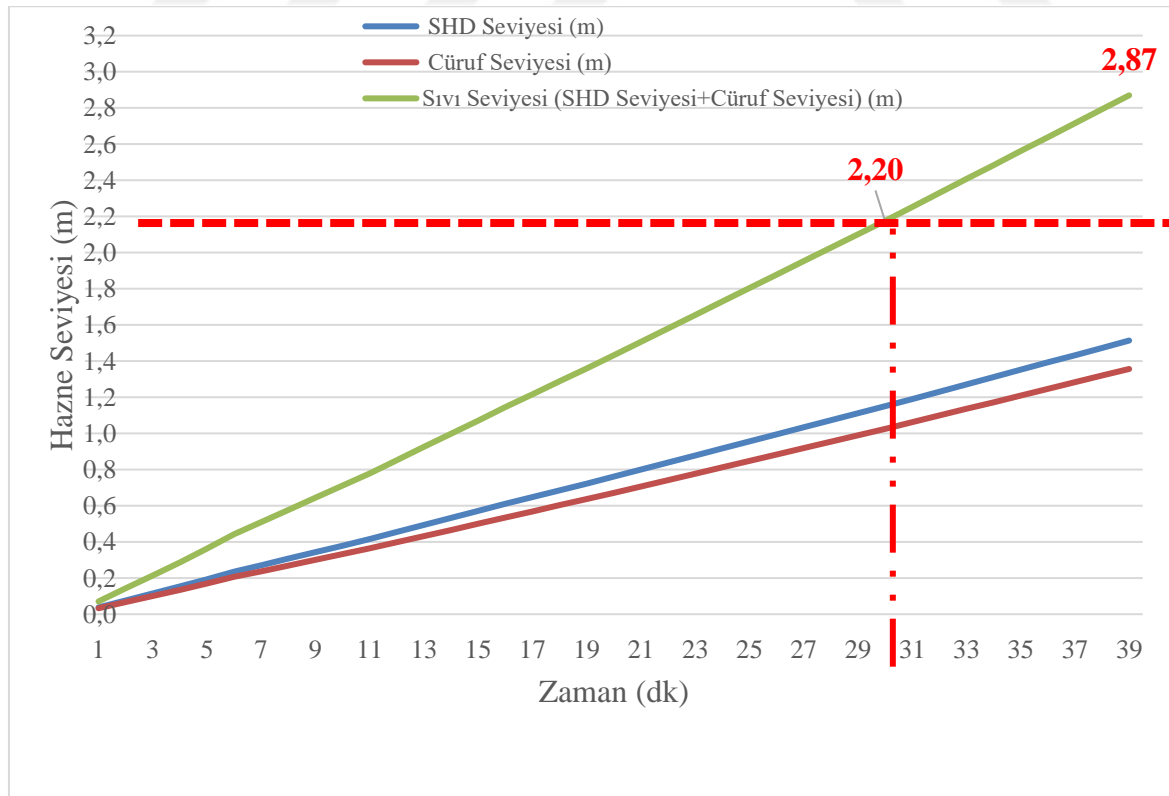
Bunun yanında YF’de SHD akışını (dökümü) kapatmak için kullanılan döküm deliği çamurunun en az 25 dakika kürleşmesi gerekmektedir. Bu sürenin YF prosesinin verimliliği

açısından önemli olup bu yüzden tek döküm deliği çalışan YF’de kürleşme süresinin dikkate alınarak iki döküm arası süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü döküm deliği çamuru yeterince küreleşmeden döküm açılması durumunda aşırı emisyon olmaktadır.

Bu yüzden iki döküm arası süreyi hem haznedeki kritik seviye hem de döküm deliği çamurunun kürleşme durumu dikkate alınarak optimize edilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, grafikte değerlere göre iki döküm arası süre optimize edilerek, döküm açma öncesi gerekli hazırlıklar yapılarak YF’nin zamanında açılması proses güvenliği ve üretim sürekliliği açısından yararlı olmaktadır.

Entegre demir çelik fabrikalarındaki tesisler birbirini takip eden bantlı üretim yaptıklarından ünitelerden bir tanesi devre dışı kaldığı durumda, üretim akışına göre diğer ünitenin durması ya da yavaş çalışması durumu olabilmektedir. Şekil-1.1’de görüldüğü gibi demir çelik üretim akış şemasında yer aldığı gibi çelikhane de olası bir arıza olduğu durumda, malzeme tedarikçisi olan YF’de üretim yavaşlamaktadır.



Şekil 5. 5. Döküm kapalı iken 2. YF’de zamana bağlı haznede sıvı ve cüruf seviyesi yükseklikleri

Şekil 5.5’de test çalışması yaptığımız YF’de tam yol çalışması sırasında üretilen SHD ve cüruf haznede birikmeye devam etmektedir. YF kapandıktan yaklaşık 30 dk sonra haznedeki sıvı seviyesi kritik seviye olan (tüyer seviyesi) 2,2 m’ye ulaşmaktadır YF’de iki döküm arası süre 30 dakika sorasında açılmadığı durumda haznedeki sıvı seviyesi tüyer seviyesini aşarak 2,80 m’ye ulaşabilmektedir. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi 39. dakikada hazne sıvı seviyesi 2,87 m’ye ulaşarak YF tüyenlerinin sıvı malzeme teması sonucu yanmasına neden olacaktır. Bu durumda YF’nin durmasına, üretim kayıplarına ve daha fazla yakıt tüketimine neden olarak SHD maliyetlerini artıracaktır. Şekil 5.5. incelendiğinde bu yapılan test çalışmasına göre YF normal çalışma koşullarında iken iki döküm arası optimum sürenin 30 dakika olması gerektiği söylenebilir. YF haznesindeki SHD zamanında alındığında YF’ye şarj edilen yük miktarı artacak, hazne içindeki SHD uygun zamanda alınarak efektif fırın kapasitesi artacak ve dökümde kullanılan sarf malzeme (döküm deliği çamuru, matkap ucu) maliyetlerinin azalmasına ve üretim sürekliliğine katkı sağlayacaktır. YF’nin az şarj yaptığı erken döküm açıldığı durumda, hazneden yeterince sıvı malzeme birikmeden döküm alma söz konusu olacak, YF SHD üretim verimi düşecek ve işçilik-sarf malzeme maliyetlerinin artmasına neden olacaktır.

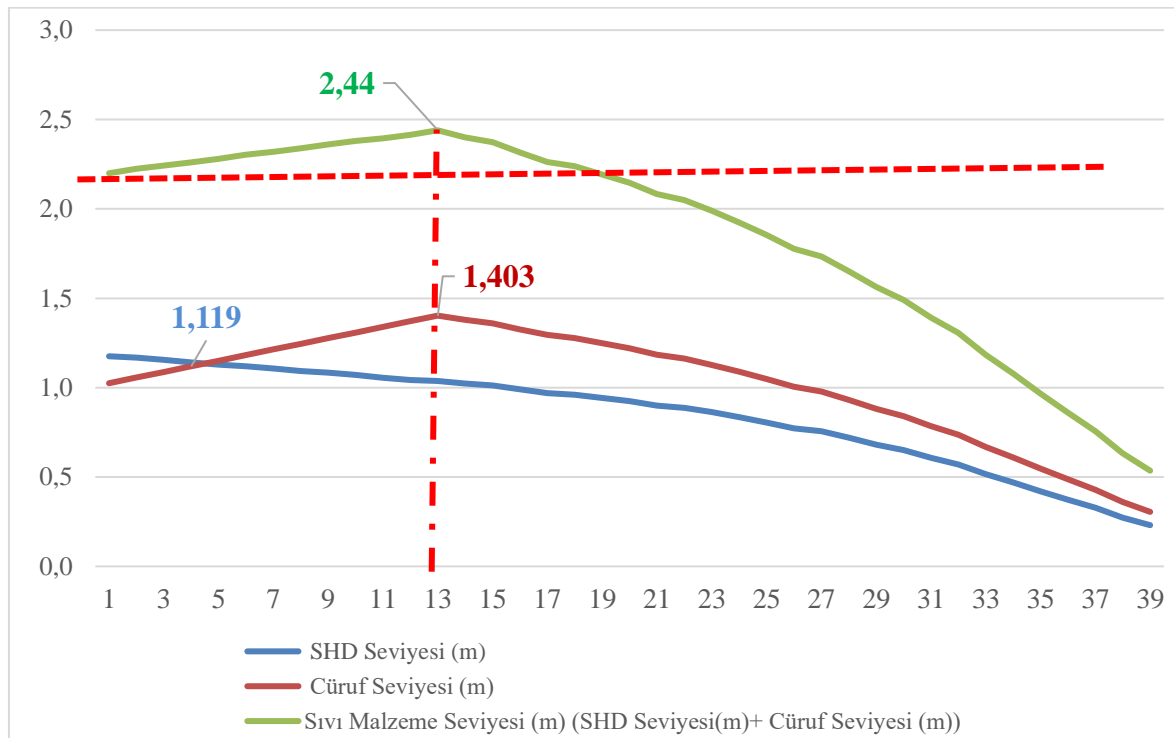
c. Döküm Sırasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi

YF’de ideal zamanda döküm açılması ile haznede biriken SHD ana kanal vasıtasıyla torpedolara, cüruf ise normal şartlarda granüle sistemine taşınarak granüle edilmekte, granüle sistemi arızalandığı durumda ise cüruf potalara alınmaktadır. YF’de döküm işlemi sırasında SHD ve cüruf drenajının sağlıklı şekilde yapılarak döküm sonunda haznenin boşaltılması YF hazne ömrü ve proses sürekliliği açısından çok önemlidir.

Çizelge 5. 5. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için kullanılan veriler (YF Seviye-3 sisteminden alındı).

Hazne SHD Miktarı (ton)	Hazne Cüruf Miktarı (ton)	İki Döküm Arası Zaman (ss:dd)	SHD Seviyesi (m)	Cüruf Seviyesi (m)	Sıvı Malz. Seviyesi (SHD Seviyesi (m)+ Cüruf Seviyesi (m))	SHD Akış Hızı (ton/dk)	Cüruf Gelme Zamanı (ss:dd)	Cüruf Akış Hızı (ton/dk)	SHD Üretim Hızı (ton/dk)	Cüruf Üretim Hızı (ton/dk)	Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)
88,23	26,02	00:01	1,18	1,02	2,20	0					
87,72	26,82	00:02	1,17	1,056	2,22	3,108			2,600	0,80	6
86,69	27,62	00:03	1,15	1,088	2,24	3,633			2,600	0,80	6
85,66	28,42	00:04	1,14	1,119	2,26	3,626			2,600	0,80	6
84,73	29,22	00:05	1,13	1,151	2,28	3,530			2,600	0,80	6
84,10	30,02	00:06	1,12	1,182	2,30	3,231			2,600	0,80	6
83,05	30,82	00:07	1,11	1,214	2,32	3,652			2,600	0,80	6
82,09	31,62	00:08	1,09	1,245	2,34	3,566			2,600	0,80	6
81,39	32,42	00:09	1,08	1,277	2,36	3,295			2,600	0,80	6
80,48	33,22	00:10	1,07	1,308	2,38	3,513			2,600	0,80	6
79,23	34,02	00:11	1,06	1,340	2,40	3,847			2,600	0,80	6
78,29	34,82	00:12	1,04	1,371	2,41	3,543			2,600	0,80	6
77,83	35,62	00:13	1,04	1,403	2,44	3,062			2,600	0,80	6
76,73	35,00	00:14	1,02	1,378	2,40	3,694	08:12	1,419	2,600	0,80	6
76,02	34,52	00:15	1,01	1,360	2,37	3,314	08:13	1,272	2,600	0,80	6
74,31	33,67	00:16	0,99	1,326	2,32	4,305	08:14	1,653	2,600	0,80	6
72,71	32,86	00:17	0,97	1,294	2,26	4,200	08:15	1,613	2,600	0,80	6
72,12	32,43	00:18	0,96	1,277	2,24	3,189	08:16	1,224	2,600	0,80	6
70,77	31,71	00:19	0,94	1,249	2,19	3,957	08:17	1,519	2,600	0,80	6
69,41	30,99	00:20	0,92	1,221	2,15	3,962	08:18	1,521	2,600	0,80	6
67,52	30,07	00:21	0,90	1,184	2,08	4,488	08:19	1,723	2,600	0,80	6
66,54	29,50	00:22	0,89	1,162	2,05	3,575	08:20	1,373	2,600	0,80	6
64,76	28,61	00:23	0,86	1,127	1,99	4,387	08:21	1,685	2,600	0,80	6
62,69	27,65	00:24	0,84	1,089	1,92	4,235	08:22	1,626	2,167	0,67	5
60,42	26,62	00:25	0,80	1,048	1,85	4,437	08:23	1,704	2,167	0,67	5
57,95	25,50	00:26	0,77	1,004	1,78	4,631	08:24	1,778	2,167	0,67	5
56,69	24,85	00:27	0,76	0,979	1,73	3,427	08:25	1,316	2,167	0,67	5
54,00	23,66	00:28	0,72	0,932	1,65	4,859	08:26	1,866	2,167	0,67	5
51,15	22,40	00:29	0,68	0,882	1,56	5,013	08:27	1,925	2,167	0,67	5
48,80	21,33	00:30	0,65	0,840	1,49	4,521	08:28	1,736	2,167	0,67	5
45,57	19,92	00:31	0,61	0,785	1,39	5,394	08:29	2,071	2,167	0,67	5
42,79	18,69	00:32	0,57	0,736	1,31	4,948	08:30	1,900	2,167	0,67	5
38,75	16,97	00:33	0,52	0,668	1,18	6,211	08:31	2,385	2,167	0,67	5
35,26	15,47	00:34	0,47	0,609	1,08	5,651	08:32	2,170	2,167	0,67	5
31,51	13,86	00:35	0,42	0,546	0,97	5,918	08:33	2,272	2,167	0,67	5
28,02	12,36	00:36	0,37	0,487	0,86	5,654	08:34	2,171	2,167	0,67	5
24,57	10,87	00:37	0,33	0,428	0,76	5,618	08:35	2,157	2,167	0,67	5
20,51	9,14	00:38	0,27	0,360	0,63	6,234	08:36	2,394	2,167	0,67	5
17,30	7,74	00:39	0,23	0,305	0,54	5,378	08:37	2,065	2,167	0,67	5

Çizelge 5.5’de seviye-3’den alınan veriler 2.YF’de hazne seviyesini araştırmak için test çalışmasında kullanıldı. Bu yüzden döküm sırasında hazne seviyesinin izlenmesi önemli olup bu süreçle ilgili matematiksel model çalışması yapılmıştır. Bu model çalışması için 5.1 ve 5.2 nolu yer alan denklemlerden yararlanılarak aşağıdaki tablodaki veriler elde edilmiştir.



Şekil 5. 6. Döküm açık iken 2. YF haznesinde sıvı seviyesinin izlenmesi

Şekil 5.6 incelendiğinde YF haznesinde döküm açıldığında önce SHD akışı başladığı görülmektedir. Bundan dolayı hem haznedeki SHD, hemde üretilen SHD boşaldığı için SHD seviyesinin hızla azaldığı görülmektedir.

Cüruf akışı döküm başladıktan 12. dakikadan sonra cüruf akışı başladığı için bu sırada hem haznede biriken cürufun hemde üretilen cürufun hazne seviyesini daha da yükseltmeye başlamış olup toplam sıvı malzeme yükseltmesi proses açısından risk oluşturmaktadır. Bu durumu incelediğimizde; döküm başlangıcında sıvı malzeme başta 2,2 m’ye, cüruf akışı başladığında 2,44 m’ye ulaşmıştır. Çünkü döküm başlangıcında yalnız SHD akışı

başlamakta olup haznede cüruf birikmeye devam etmektedir. Bu nedenden dolayı döküm başlangıcında cüruf seviyesi ise 1,119 m iken, cüruf akışının başladığında ise 1,403 m'ye yükseldiği Şekil 5.6.'da görülmektedir.

Ayrıca haznede sıvı malzeme yükselmesi sonucu YF'ye hava üfleyen tüyerlerin hasarlanmasına ve/veya tüyerlerden sıvı malzeme akışı olmasına neden olabilmektedir. Bu durumda hasarlı tüyerin değişmesi ve/veya sıvı malzemesinin yükselmesi durumuna bağlı olarak YF duruşu olduğu için üretim kayıpları olmaktadır. Bu yüzden döküm sırasında cüruf akışının geç gelmesi proste önemli sorunlara neden olabilmektedir.

Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi döküm sonunda torpedo seviye cihazlarından alınan verilerin hesaplanmasına göre döküm sonunda haznede yok denecek miktarda sıvı malzeme kalmıştır.

5.2.2. Değişken Metalurjik kok Boşluğuna Dayalı Hazne Seviye Tahmin Modeli

a. Hazne Hacmi Hesabı

YF çalışma şartlarına göre elde edilen metalurjik kok boşluk değeri ile haznede değişken faydalı hacim 5.9 nolu denklem elde edilmiştir. Buradaki veriler kullanılarak 4 adet döküm denemesi yapılmıştır.

$$FHD (m^3): \pi \cdot (D/2)^2 \cdot H(m) \cdot V \quad (5.9)$$

Bu denkleme göre; FHD(m³): Faydalı Hazne Hacmi , π : pi sayısı , D(m): Hazne Çapı (m), H(m): Tüyer altı ile döküm deliği arasındaki yükseklik

FHD denkleminin elde edilmesi için çizelge yapılmış olup bu tablodaki değerler formülde yerine koyulduğunda hesaplama yapılmıştır (Bknz. Çizelge 5.2.). Bunun yanında haznedeki hacimsel metalurjik kok boşluğu için aşağıdaki formülde yer alan değerlerle hesaplama yapılmıştır.

$$\varepsilon = \frac{0,0981 \cdot G \cdot (1+S)}{A \cdot \frac{dP}{dt}} \quad (5.10)$$

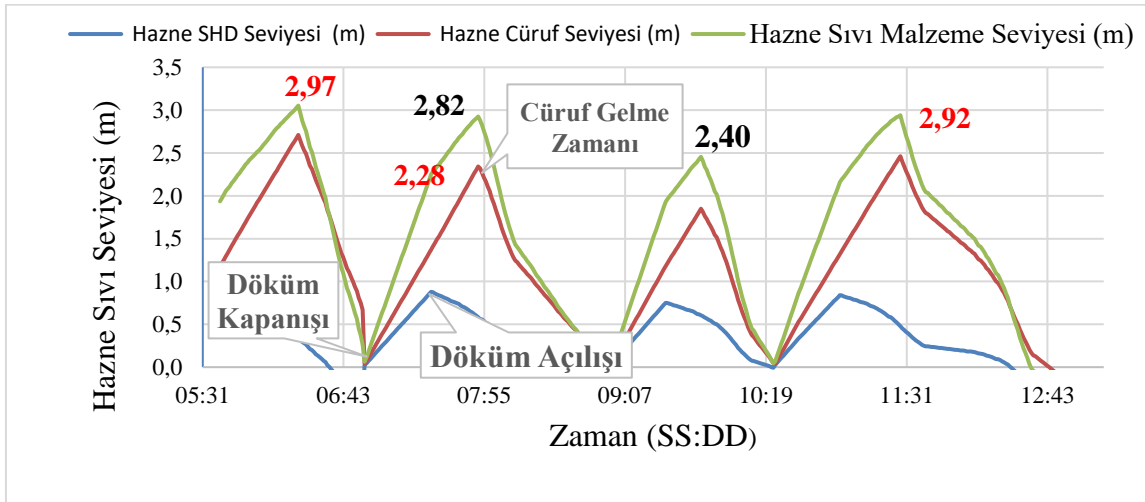
Bu denkleme göre; ϵ : Metalurjik kok hacimsel boşluk oranı (%), G: Teorik SHD üretimi (T,SHD/Saat), S: Teorik cüruf üretimi (Ton/TSHD), A: Hazne alanı (m²)

$$FHD \text{ (m}^3\text{)}: \pi \cdot (4,25)^2 \cdot (m) \cdot 2,2 \cdot 0,3 = 37,43 \text{ m}^3$$

b. İki Döküm Arasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi

Değişken metalurjik kok boşluğunda iki döküm arası süre için, 5.1.2. bölümünde yer alan 5.1, 5.2 ve 5.2 bölümünde yer alan 5.3, 5.4 ve 5.5 nolu formüllerden yararlanılmakta olup sadece metalurjik kok boşluğu için 5.3.2 de hesaplanan 5.1 nolu değişken metalurjik kok boşluğu formülünden ekstra olarak yararlanılmaktadır.

YF üretim halinde iken şarj sayısına, cüruf hacmine, fark basınç ve metalurjik kok boşluğu dikkate alınarak iki döküm arası süresi hesaplanabilmektedir. Şekil-5.5.'de görüldüğü gibi YF'nin prosesinin bir dökümde sağlıklı olmadığı, diğer 3 dökümde ise düzelme yönünde olduğu döküm test çalışmaları ile zamana bağlı hazne sıvı seviyesi grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 5. 7. Değişken metalurjik kok boşluğu ile zamana bağlı 4 dökümde elde edilen hazne seviyesi

Şekil 5.7.'de elde edilen grafikte test çalışmaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- İlk dökümde YF prosesinde problem olduğu için modelde düzgün veri elde edilmemiştir. Döküm sırasında SHD sıcaklığı 1400 °C'nin altında olup bu değer düşük olduğu için

yeterince cüruf drenajı yapılamamıştır. Bu durumu düzeltmek için tüyerlerden yakıt olarak ekstra doğal gaz enjeksiyonu verilmiştir.

- Sonraki 3 dökümde döküm sıcaklıkları 1400 °C'nin üstünde olup bu değer YF'nin stabil hale gelmesine işaret ettiği için, hazne izleme seviyesi ile daha düzgün veriler elde edilmiştir.
- Döküm sırasında sıvı malzeme seviyesinin kritik seviyeyi geçmemesi için bir önceki dökümde YF'nin tam boşaltılması gerekmektedir. YF'yi boşaltmak için ise yapılacak işlemler şunlardır;

- ✓ YF'yi açmak için daha büyük çapta matkap ucu kullanılması önerilmiştir; cüruf gelme süresi 35 dakikaya geçtiği durumlarda, 50 mm matkap ucu çapı yerine 55 mm çapında matkap ucu kullanılmıştır.
- ✓ Döküm sırasında cüruf geldikten sonra, döküm deliğindeki kılcal çatlak ve döküm deliği çamur kalitesine bağlı olarak döküm deliği birden genişlemektedir. Bunun sonucu olarak, haznedeki cüruf boşalmadan aşırı üfleme meydana gelerek çevre emisyonu oluşmaktadır. Bu durumu önlemek için ise döküm kapatılmakta ve normal döküm deliği çamurundan daha ince tane boyutuna sahip tamir çamuru kullanılmıştır.

- 4 adet dökümde döküm arasında kritik seviyeyi az miktarda geçmiş olup döküm sırasında cürufun geç gelmesine bağlı hazne seviyesi tüyer seviyesi olan 2.80 m'yi geçerek aşırı yükselmiştir. Bu durumda YF' de çıkış yolu bölgesindeki boşluğunun azalması ile YF'ye üflenen hava debisi miktarı 300 m³/dakika düşmesi sonucu proste problemlere neden olmuştur.

c. Döküm Sırasında Hazne Seviyesinin İzlenmesi

YF'de ideal sürede döküm açılması ile haznede biriken SHD ana kanal vasıtasıyla torpedolara, cüruf ise normal şartlarda granüle sistemine taşınarak granüle edilmekte, granüle sistemi arızalandığı durumda ise cüruf potalara alınmaktadır.

YF' de döküm işlemi sırasında SHD ve cüruf drenajının sağlıklı şekilde yapılarak döküm sonunda haznenin boşaltılması YF hazne ömrü ve proses sürekliliği açısından çok önemlidir.

- YF’de döküm açıldıktan sonraki en önemli husus döküm açıldıktan sonra cürufun gelme süresidir. Çünkü YF’de 1 ton SHD üretimi sırasında 300 kg cüruf üretilmekte olup cüruf gelmediği zaman haznedeki toplam sıvı malzeme miktarı artmaktadır. Cürufun geç gelmesine etki eden nedenler; dökümün kontrollü şekilde açılması sırasında küçük çaplı matkap ucu kullanarak YF’nin açılması ile SHD akışı yavaş olduğu için haznedeki SHD seviyesinin düşmesi uzun zaman almakta olup buna bağlı cüruf gelme süreside uzamaktadır. Bunun yanında YF haznesinin soğuk olması sonucu cüruf viskozitesi artarak cüruf akışkanlığı düşmekte ve buna bağlı olarak cüruf gelme süresi uzamaktadır.

- Ancak cüruf geç geldiği durumda ise hazne seviyesinin hızlı şekilde yükselerek fırın ölü adam içindeki metalurjik kokların etrafını cüruf kaplamaktadır. Bu durum ise SHD sıcaklığında ciddi manada düşüşe neden olmaktadır. Bu durumda YF içindeki cevher ve metalurjik kokun hazneye doğru hareket etmemesi askılanma olarak ifade edilmektedir. Askıda olan cevher ve kokun müdahale sonucu veya koşullara bağlı olarak hazneye çok hızlı hareket etmesi kayıntı olarak tanımlanmaktadır. Askılanma ve kayıntı olması YF prosesinde problemlere neden olabilmektedir.

- Bu yüzden cüruf gelmediği durumlarda; tekrardan matkap ile müdahale etme, geçici olarak hava düşme seviyesinin azaltılması gibi tedbirlerin alınması gerekmektedir.

- Hazne izleme sistemi ile haznedeki SHD ve cüruf seviyesi izlenerek döküm sırasında seviye değişimine göre erken müdahaleler yapılacaktır.

- Bu nedenlerden dolayı döküm sırasında hazne seviyesinin izlenmesi önemli olup bu süreçle ilgili matematiksel model çalışması yapılmıştır.

Çizelge 5. 6. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için elde edilen veriler tablosu

İki Döküm Arası Zamanı (SS:DD)	Metalurjik Kok Boş. (%)	Fark Basınc (Bar)	Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	SHD Svy. (m)	Cüruf Svy (m)	Sıvı Malz. Svy (m)	Döküm Açılış Zamanı (ss:dd)	Cüruf Gelme Zamanı (ss:dd)	SHD Akış Hızı (ton/dk)	Cüruf Akış Hızı (ton/dk)	SHD Üretim Hızı (ton/dk)	Cüruf Üretim Hızı (ton/dk)
05:40	0,362	1,3	6,25	0,76	1,18	1,93	05:41	---	2,26	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,76	1,22	1,98	05:42	---	2,65	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,76	1,26	2,02	05:43	---	2,64	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,76	1,30	2,06	05:44	---	4,02	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,75	1,34	2,09	05:45	---	4,10	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,74	1,37	2,11	05:46	---	3,20	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,73	1,41	2,15	05:47	---	3,84	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,72	1,45	2,18	05:48	---	3,98	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,71	1,49	2,20	05:49	---	3,37	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,71	1,53	2,24	05:50	---	3,53	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,70	1,57	2,27	05:51	---	3,54	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,69	1,61	2,30	05:52	---	3,65	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,68	1,65	2,33	05:53	---	3,29	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,68	1,69	2,37	05:54	---	4,68	0	2,73	0,82
---	0,362	1,3	6,25	0,66	1,73	2,39	05:55	---	3,60	0	2,73	0,82
---	0,347	1,3	6	0,65	1,77	2,42	05:56	---	4,52	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,63	1,81	2,44	05:57	---	4,12	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,62	1,84	2,46	05:58	---	4,31	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,60	1,88	2,49	05:59	---	4,12	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,59	1,92	2,51	06:00	---	4,02	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,58	1,96	2,53	06:01	---	4,10	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,56	1,99	2,56	06:02	---	3,20	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,56	2,03	2,59	06:03	---	3,84	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,55	2,07	2,62	06:04	---	3,98	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,54	2,11	2,64	06:05	---	3,37	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,53	2,14	2,67	06:06	---	3,53	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,52	2,18	2,70	06:07	---	3,54	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,51	2,22	2,73	06:08	---	3,65	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,50	2,26	2,76	06:09	---	3,29	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,50	2,30	2,79	06:10	---	4,68	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,48	2,33	2,81	06:11	---	3,60	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,47	2,37	2,84	06:12	---	4,52	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,45	2,41	2,86	06:13	---	4,12	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,44	2,45	2,88	06:14	---	4,31	0	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,42	2,48	2,91	06:15	---	4,12	0	2,63	0,78

Çizelge 5.6. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için elde edilen veriler tablosu (devamı)

İki Döküm Arası Zamanı (SS:DD)	Metalurjik kok Boş. (%)	Fark Basınç (Bar)	Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	Hazne SHD Svy. (m)	Hazne Cüruf Svy (m)	Hazne Sıvı Malz. Svy (m)	Döküm Açılış Zamanı (ss:dd)	Cüruf Gelme Zamanı (ss:dd)	SHD Akış Hızı (ton/dk)	Cüruf Akış Hızı (ton/dk)	SHD Üretim Hızı (ton/dk)	Cüruf Üretim Hızı (ton/dk)
---	0,347	1,3	6	0,34	2,71	3,05	06:21	06:21	5,04	2,046	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,32	2,65	2,97	06:22	06:22	5,25	2,132	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,30	2,58	2,88	06:23	06:23	4,54	1,844	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,28	2,53	2,81	06:24	06:24	4,10	1,665	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,27	2,49	2,76	06:25	06:25	5,36	2,176	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,24	2,42	2,66	06:26	06:26	5,47	2,222	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,21	2,35	2,57	06:27	06:27	4,26	1,730	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,20	2,31	2,51	06:28	06:28	5,11	2,076	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,18	2,25	2,42	06:29	06:29	5,31	2,156	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,15	2,18	2,33	06:30	06:30	4,50	1,826	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,13	2,13	2,26	06:31	06:31	4,70	1,908	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,11	2,08	2,19	06:32	06:32	4,72	1,916	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,10	2,02	2,12	06:33	06:33	4,87	1,977	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	0,07	1,96	2,04	06:34	06:34	4,39	1,783	2,63	0,78
---	0,333	1,3	5,75	0,06	1,92	1,97	06:35	06:35	6,24	2,533	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	0,02	1,83	1,85	06:36	06:36	4,81	1,951	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	0,00	1,77	1,78	06:37	06:37	6,03	2,449	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,03	1,69	1,66	06:38	06:38	5,49	2,228	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,06	1,62	1,56	06:39	06:39	5,75	2,334	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,09	1,54	1,46	06:40	06:40	5,49	2,230	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,11	1,47	1,36	06:41	06:41	5,36	2,176	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,14	1,40	1,26	06:42	06:42	5,47	2,222	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,17	1,33	1,17	06:43	06:43	4,26	1,730	2,52	0,75
---	0,333	1,3	5,75	-0,18	1,29	1,10	06:44	06:44	5,11	2,076	2,52	0,75
---	0,347	1,3	6	-0,21	1,22	1,01	06:45	06:45	5,31	2,156	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,23	1,16	0,92	06:46	06:46	4,50	1,826	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,25	1,10	0,86	06:47	06:47	4,70	1,908	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,27	1,05	0,78	06:48	06:48	4,72	1,916	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,29	1,00	0,71	06:49	06:49	4,87	1,977	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,31	0,94	0,63	06:50	06:50	4,39	1,783	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,32	0,89	0,57	06:51	06:51	6,24	2,533	2,63	0,78
---	0,347	1,3	6	-0,36	0,81	0,45	06:52	06:52	4,81	1,951	2,63	0,78

Çizelge 5.6. Döküm sırasında hazne seviyesini araştırmak için elde edilen veriler tablosu (devamı)

İki Döküm Arası Zamanı (SS:DD)	Metalurjik kok Boş. (%)	Fark Basınc (Bar)	Şarj Hz. (şarj sayısı/saat)	Hazne SHD Svy. (m)	Hazne Cüruf Svy (m)	Sıvı Malz. Svy (m)	Döküm Açılış Zamanı (ss:dd)	Cüruf Gelme Zamanı (ss:dd)	SHD Akış Hızı (ton/dk)	Cüruf Akış Hızı (ton/dk)	SHD Üretim Hızı (ton/dk)	Cüruf Üretim Hızı (ton/dk)
06:54	0,353	1,28	6	0,02	0,04	0,06	---	---	0,00	0,000	2,63	0,78
06:55	0,367	1,28	6,25	0,05	0,08	0,12	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
06:56	0,367	1,28	6,25	0,07	0,11	0,19	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
06:57	0,367	1,28	6,25	0,10	0,15	0,25	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
06:58	0,367	1,28	6,25	0,12	0,19	0,32	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
06:59	0,367	1,28	6,25	0,15	0,23	0,38	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:00	0,367	1,28	6,25	0,17	0,27	0,45	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:01	0,367	1,28	6,25	0,20	0,31	0,51	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:02	0,367	1,28	6,25	0,22	0,35	0,58	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:03	0,367	1,28	6,25	0,25	0,39	0,64	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:04	0,367	1,28	6,25	0,27	0,43	0,70	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:05	0,367	1,28	6,25	0,30	0,47	0,77	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:06	0,367	1,28	6,25	0,33	0,51	0,83	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:07	0,367	1,28	6,25	0,35	0,55	0,90	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:08	0,367	1,28	6,25	0,38	0,59	0,96	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:09	0,367	1,28	6,25	0,40	0,63	1,03	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:10	0,367	1,28	6,25	0,43	0,66	1,09	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:11	0,367	1,28	6,25	0,45	0,70	1,16	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:12	0,367	1,28	6,25	0,48	0,74	1,22	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:13	0,367	1,28	6,25	0,50	0,78	1,28	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:14	0,367	1,28	6,25	0,53	0,82	1,35	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:15	0,367	1,28	6,25	0,55	0,86	1,41	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:16	0,367	1,28	6,25	0,58	0,90	1,48	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:17	0,367	1,28	6,25	0,60	0,94	1,54	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:18	0,367	1,28	6,25	0,63	0,98	1,61	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:19	0,367	1,28	6,25	0,65	1,02	1,67	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:20	0,367	1,28	6,25	0,68	1,06	1,74	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:21	0,367	1,28	6,25	0,70	1,10	1,80	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:22	0,367	1,28	6,25	0,73	1,14	1,86	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:23	0,367	1,28	6,25	0,75	1,18	1,93	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:24	0,367	1,28	6,25	0,78	1,21	1,99	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:25	0,367	1,28	6,25	0,80	1,25	2,06	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82
07:26	0,367	1,28	6,25	0,83	1,29	2,12	---	---	0,00	0,000	2,73	0,82

Bu model çalışması için 5.2.1’de bölümde yer alan 5.3., 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8 nolu formüller yer almaktadır. Metalurjik kok boşluğu için 5.1.2’de hesaplanan 5.10 nolu formülden yararlanılarak aşağıdaki tablodaki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 5.5 ‘de İSDEMİR A.Ş. veri tabanı YF Seviye-3 sistemindeki verilerle 2.YF’de hazne seviyesini araştırmak için test çalışmaları yapılmıştır. Bu araştırma sırasında elde edilen özet bilgiler aşağıdaki gibidir:

- Hazne seviyesi kritik değer olan 2,2 m’de iken dökümler açılmıştır. Dökümler açıldığında önce SHD akışı başlamıştır. Bundan dolayı hem haznedeki SHD, hemde üretilen SHD boşaldığı için haznedeki SHD seviyesi düşmeye başlamıştır.
- Şekil 5.7. irdelendiği durumda, 1.dökümde cüruf akışı döküm başladıktan 41 dakika sonra, başladığı için bu sırada hem haznede biriken cürufun hemde üretilen cürufun hazne seviyesini daha da yükseltmeye başlamış olup toplam sıvı malzeme seviyesi 3,05 m yükselerek proses açısından önemli sorun oluşturmuştur.
- Bu riskli durumda haznede sıvı malzeme yükselmesi sonucu YF’ye hava üfleyen tüyerlerin hasarlanmasına ve/veya tüyerlerden sıvı malzeme akışı olmasına neden olabilmektedir. Bu durumda hasarlı tüyerin değişmesi ve/veya sıvı malzeme durumuna bağlı olarak YF’de duruş olduğu için üretim kayıpları olmaktadır. Bu yüzden döküm sırasında cüruf akışının geç gelmesi proses te de ciddi problemlere neden olabilmektedir.
- Döküm sonunda torpedo seviye cihazlarından alınan verilerin hesaplanmasına göre döküm sonunda haznede yok denecek miktarda sıvı malzeme kalmıştır (Bknz. Şekil 5.7.).

6. ANALİZ

YF da, iki döküm arası sürenin optimizasyonu için yapılan literatür çalışmaları sonucu, anlık hazne sıvı seviyenin izlenmesi için matematiksel modellerin ön plana çıktığı görülmüştür. Literatür çalışmalarından elde edilen bilgilere dayanarak İSDEMİR A.Ş. 2.YF’de hazne sıvı seviyenin anlık izlenebilmesi için, seviye-2 sistemindeki; şarj hızı şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi, oksijen miktarı, torpedolardan alınan seviye ölçüm değerleri, döküm açma zamanı, cüruf gelme zamanı, döküm kapanma zamanı gibi değerlerle matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model de kullanılan değerler ile ilgili elde edilen test çalışmaları Minitab 20 de analiz edilerek sonuçları değerlendirilmiştir.

Tez çalışmalarında kullanılan Minitab 20 istatistiksel veri analizi yazılım programı lisanslı olup lisans bilgileri aşağıdadır:

License information:

License Server: 29000@isdlicensesrv.isdemir.erdgrp.intra

Expiration Date: 30.11.2022

Registered By: mgokoglu@isdemir.com.tr

The license does not support borrowing.

Change License Type

6.1. Minitab

İlk olarak eğitim 1972 yılında eğitim amacıyla hazırlanmış bir istatistiksel analiz yazılımıdır. Otomotiv başta olmak üzere tüm sektörlerde çeşitli amaçlarla kullanılan Minitab yazılımı ihtiyaçlar doğrultusunda diğer tüm yazılımlarda olduğu gibi güncellenir. Proses kabiliyeti (Cp,Cpk), Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA) gibi IATF gerekliliklerinden, Hipotez Testleri, Regresyon, DOE gibi Ar-Ge konularına kadar geniş bir alanda istatistiksel araçlar sunar [84].

Minitab; veri analizinde, dünyada en yaygın kullanılan istatistik yazılımıdır. Verinin bilgiye dönüştürülmesi istatistiksel analizler ile mümkündür. Geçmişte çok zor olan istatistiksel analizler, geliştirilen yazılımlar sayesinde artık çok daha kolay ve hızlı hale gelmiştir.

Minitab ile çalışmak, bir araştırma konusu üzerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçların istatistiksel analizini yapmak demektir [85].

Minitab analizinde kullanılacak verilerin çalışma alanından seçilerek toplanması analiz için doğru şekilde sonuçlanması açısından önemlidir. Daha sonra bu veriler analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmektedir. Veri toplanması, analiz ve sonuçlarının değerlendirilmesinin ana hatları Şekil 6.1.'deki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Minitab ile veri analizinde işlem akış şeması

Bu çalışmada, hava debisi, oksijen miktarı, cüruf gelme süresi gibi parametrelerin her biri adım adım Minitab 20 programı ile analiz edilip, yorumlanmış ve aşağıda sonuçları detaylı olarak verilmiştir.

6.2. Minitab 'ta Regresyon Analizi

Regresyon analizi bizlere biri bağımlı diğeri bağımsız değişken olmak üzere bir doğru denklemi sunar. Bu denklem değişkenlerden birinin değerinin değişmesi durumunda diğeri hakkında yorum yapabilmemizi sağlar. Örneğin çocuklar için günlük süt tüketimi ile boy uzunluğu arasındaki ilişkiyi incelediğimizi düşünelim. Burada bağımsız değişkenimiz günlük tüketilen süt miktarı iken bağımlı değişkenimiz ise boy uzunluğu olacaktır. Regresyon analizi bu ilişki hakkında birtakım yorumlar yapabilmemize olanak verecektir.

Aşağıda 6.1 nolu denklemde basit regresyon denklemini görüyoruz.

$$Y = \alpha + \beta X + \epsilon$$

(6.1)

Bu denklemde; Y:bağımlı (sonuç) değişkeni, X: bağımsız (sebeup) değişkeni temsil eder. α : sabit olup $X=0$ olduğunda Y'nin aldığı değerdir. β : regresyon katsayısı olup, X'de meydana gelecek bir birimlik değişimin Y deki etkisini gösterir. ϵ : tesadüfi hata terimidir.

YF'de iki döküm arası süreyi etkileyen, YF'ye şarj edilen demirli malzeme ve metalurjik kokun şarj hızı(şarj sayısı/saat)(X) ve YF'nin üflenen sıcak havanın miktarı değişkeni arasındaki korelasyondan yola çıkılarak kurulan regresyon modeli aşağıdaki gibi elde edilmiştir [84].

Çizelge 6. 1. Regresyon eşitliğinin gösterimi

Hava Debisi (m ³ /dk.)	=	1255.0 + 259.3 Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)
-----------------------------------	---	---

Bu formüle göre saatte YF'ye 1 adet demirli malzeme ve metalurjik kok şarjı sırasında 1514,30 m³/dakika hava üflenmesi gerekmektedir. Çizelge 6.2'de örnek olarak verilen regresyon eşitliğinde iki değişken arasındaki korelasyon değeri 0.8'den büyük olup, şarj hızı (şarj sayısı/saat) R-sq değeri %65,2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %64'den büyük olmasından dolayı hava debisi ile şarj hızı arasında güçlü bir korelasyon (ilişki) olduğunu görülmektedir [84].

Çizelge 6. 2. Regresyon eşitliğinde R-Sq değerinin gösterimi

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
108.361	%65,2	%65,1	%59,44

İstatiksel analizde en önemli unsurlardan biri yapılan analizdeki P değeridir. P değerinin anlatımı ile ilgili aşağıda çizelge 6.3'de hazırlanan örnek bir tablo verilmiştir.

Çizelge 6. 3. Varyans analizinde P değerinin gösterimi

Varyans Analizi					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	57,2049	11,4410	218,08	0,000
Cüruf Gelme Süresi (dk)	1	0,0898	0,0898	1,71	0,192
Hava Debisi (m ³ /dk)	1	23,2947	23,2947	444,02	0,000

Çizelge 6.3.de varyans analizinde Çizelge 6.5’de şarj hızına (şarj sayısı/saat) etki eden cüruf gelme süresi (dk) ve hava debisi (m³/dk) P değerleri yer almaktadır. Cüruf gelme süresi (dk) P değeri 0,192 olup bu değer %5’den büyük olduğu için cüruf gelme süresinin(dk) şarj hızına (şarj sayısı/saat) etkisi istatistiksel yönden anlamsızdır.

Hava debisi (m³/dk) P değeri ise 0,00 olup bu değer %5’ den küçük olması, hava debisinin (m³/dk) şarj hızına (şarj sayısı/saat) etkisi istatistiksel yönden anlamlıdır. Bunun manası bu verilere güven aralığında olup buradan çıkan sonuçlara göre işlem yapılabilir.

İki döküm arası sürenin optimizasyonu test çalışması yaptığımız YF’de iki döküm arası süreyi etki eden; hava debisi ile şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi ile fark basınç, cüruf akış süresi ile döküm süresi, hava debisi ile hazne seviyesi, oksijen tüketimi ile hazne seviyesi değerleri arasındaki veriler Minitab 20 analiz programında regresyon analizleri yapılmıştır.

Regresyon analizlerinin sonucunun değerlendirilmesinde birinci etken P değeri (P-Value), ikinci etken R-sq değeridir. P değeri ve R-sq değeri dışındaki tüm değerler yardımcı değerlerdir. P değeri sonucu %5’in altında olduğunda analizin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, R-sq değeri sonucu ise, iki bağımsız değişken arasındaki korelasyon katsayısı için güçlülük değeri olan 0,8 katsayısının karesi olan 0,64 (%64)’in üzerinde olması değişkenler arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu açıklamaktadır [86].

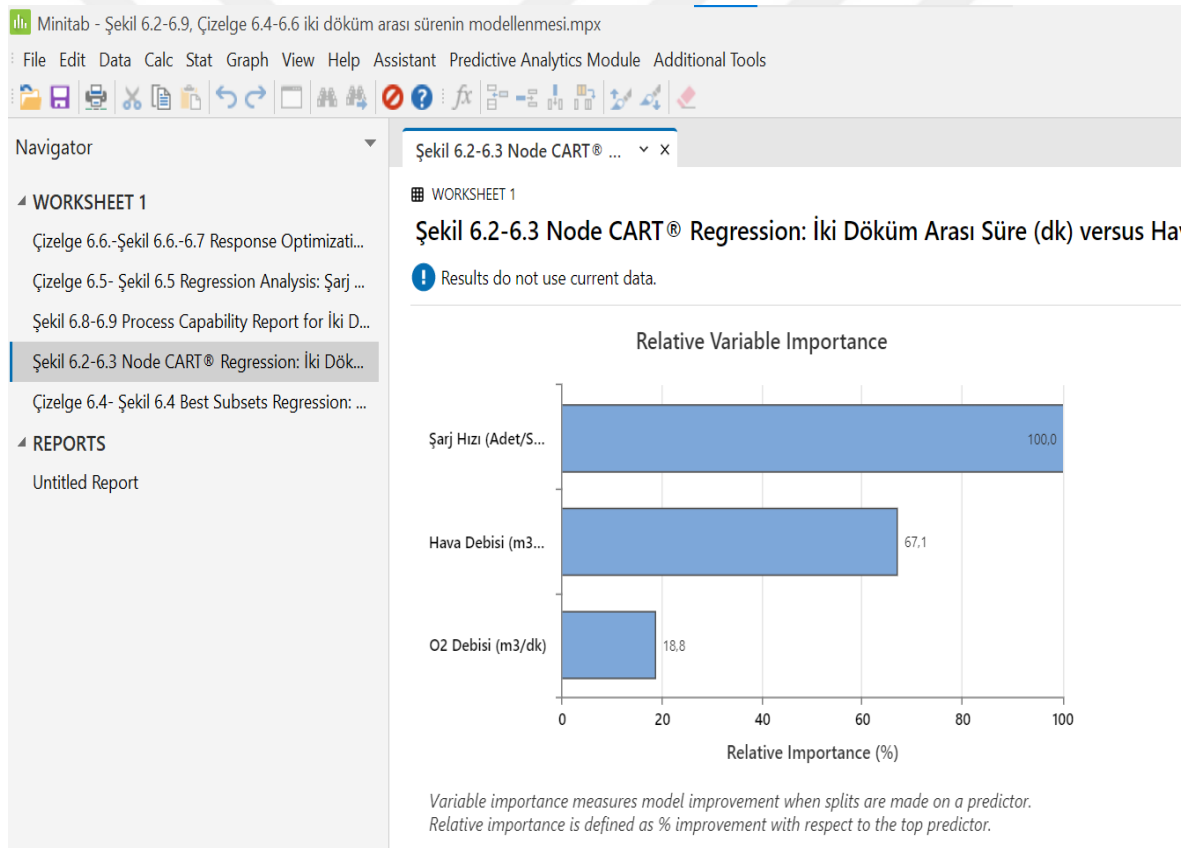
6.3. İki Döküm Arası Sürenin Modellenmesi

YF’de, üflenen sıcak havanın içindeki oksijenin tüyer önünde metalurjik kok ile yanma reaksiyonu sonucu CO gazı oluşur. Böylece oluşan CO gazı ile YF’deki reaksiyonlar başlayarak demir cevherinden SHD ve cüruf üretimi başlar. Hava debisi arttıkça reaksiyon artmakta olup buna bağlı olarak da şarj hızı(şarj sayısı/saat) da artmaktadır. Şarj hızı(şarj sayısı/saat) arttığında ise üretilen SHD ve cüruf miktarının artması sonucu, döküm arasında

hazne seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak şarj hızı (şarj sayısı/saat) iki döküm arası sürenin optimizasyonunda önemli rol oynamaktadır.

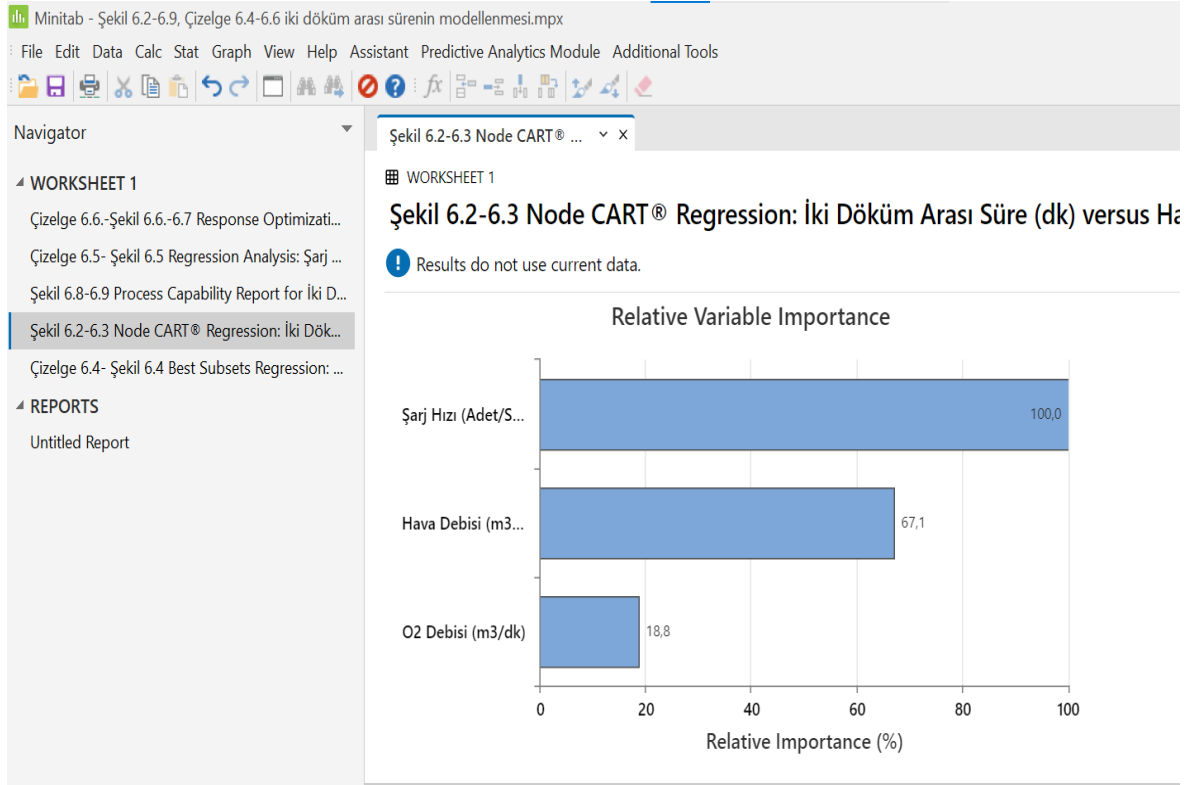
İki döküm arası sürenin modellenmesinde en önemli unsur şarj edilen demirli malzeme ve kokun reaksiyonu sonucu üretilen SHD ve cürufun miktarı ve şarj hızıdır.

İki döküm arası sürede kullanılan parametrelerin ağaç yapısına göre algoritma oluşturularak etki derecelerini belirlemek için Minitab 20’de şekil 6.2. de gösterildiği gibi *Cart Regression* modülü kullanılmıştır.



Şekil 6.2. Minitab 20 istatistiksel analiz programında cart regresyon modülü

İki döküm arası süreyi etki eden şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi (m^3/dk), fark basınç (bar) ve O_2 Debisi (m^3/dk) parametreleri ile Minitab 20 analiz programında *Cart Regression* modülü kullanılarak regresyon analizi Şekil 6.3.deki yapılmıştır.



Şekil 6.3. İki döküm arası süresini etkileyen parametrelerin dağılım yüzdesi

İki döküm arası süreyi etki eden değişkenlerden en iyi şekilde regresyon modelini ortaya çıkartmak için Minitab 20 istatistiksel analiz programı ile 305 adet test çalışma verisi kullanılarak Şekil 6.3’de gösterilen Cart Regression modeli uygulanmıştır. Minitab 20 istatistiksel analiz programında, YF’de iki döküm arası süreye etki eden; şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi ($m^3/dakika$), O₂ debisi ($m^3/dakika$) parametreleri Cart Regression modeli ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucuna göre;

- Yapılan analiz de, iki döküm arası sürenin modellenmesinde şarj hızının (şarj sayısı/saat) %100 etki ettiği görülmüştür. Çünkü şarj hızı(şarj sayısı/saat) arttığı zaman haznede biriken SHD ve cüruf miktarı artması sonucu iki döküm arası sürede direk etkilenmektedir.
- İki döküm arası süreye ikinci olarak %67,1 oranında hava debisi etki ettiği tespit görülmektedir. YF’ye üflenen hava miktarı debisi arttığı zaman reaksiyon hızı artarak haznede biriken SHD ve cüruf seviyesi artmaktadır. Bu durum ise iki döküm arası süreyi etkilemektedir.
- Yüksek Fırınlara sobalardan sıcak hava ile birlikte saf oksijen verilerek PCI’ın tam yanması amaçlanmaktadır. YF’ye verilen sıcak hava ile birlikte oksijen miktarına O₂ adı

verilmektedir. YF’de yapılan minitab modellemesinde, O₂ debisi (m³/dakika) ile iki döküm arası süre arasında %18,8 gibi düşük bir ilişki olduğu görülmektedir. Ancak üflenen hava içinde oksijen oranı arttığı zaman YF içinde indirgenme reaksiyonları hızlanmaktadır. Buna bağlı olarak haznedeki SHD ve cüruf seviyesi yükselerek iki döküm arası süreyi de etkilemektedir.

The screenshot shows the Minitab 20 interface with the 'Best Subsets Regression' results for 'Şarj Hızı (Adet/Saat) ve'. The results table is as follows:

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	m / m e i	3 (S 3	/ b a / ((d a a d d d	k r t k k k
1	64,2	64,1	63,7	137,0	0,29458		X			
1	36,7	36,5	35,5	485,5	0,39184	X				
2	74,6	74,4	74,0	8,1	0,24879	X	X			
2	65,2	65,0	64,5	126,9	0,29107		X	X		
3	74,9	74,6	74,2	6,2	0,24767	X	X	X		
3	74,8	74,6	74,1	6,8	0,24790	X	X	X		
4	75,2	74,8	74,3	4,4	0,24659	X	X	X	X	
4	75,0	74,7	74,1	6,7	0,24747	X	X	X	X	
5	75,2	74,8	74,2	5,5	0,24663	X	X	X	X	X
5	75,2	74,8	74,2	5,8	0,24675	X	X	X	X	X
6	75,3	74,8	74,0	7,0	0,24681	X	X	X	X	X

Şekil 6.4. Minitab 20 istatistiksel analiz programında best subsets regresyon modülü

Şekil 6.4.’de etkileyen parametrelerden yola çıkılarak iki döküm arası sürenin daha kapsamlı regresyonu Minitab 20 Analiz programında yer alan “Best Subsests” modülüyle yapılmıştır. olup sonuç tablosu Çizelge 6.4.’deki gibidir.

Çizelge 6. 4. İki döküm arası sürenin modellenmesinde kullanılan parametreler

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	O ₂ Debisi (m ³ /dk)	Fark Basınç (bar)	PCI Oranı (Ton/Saat)	Hava Debisi (m ³ /dk)	İki Döküm Arası Süre (dk)	Cüruf Gelme Süresi (dk)
1	64,2	64,1	63,7	137,0	0,29458				X		
1	36,7	36,5	35,5	485,5	0,39184		X				
2	74,6	74,4	74,0	8,1	0,24879	X			X		
2	65,2	65,0	64,5	126,9	0,29107				X	X	
3	74,9	74,6	74,2	6,2	0,24767	X			X		X
3	74,8	74,6	74,1	6,8	0,24790	X			X	X	
4	75,2	74,8	74,3	4,4	0,24659	X			X	X	X
4	75,0	74,7	74,1	6,7	0,24747	X	X		X		X
5	75,2	74,8	74,2	5,5	0,24663	X	X		X	X	X
5	75,2	74,8	74,2	5,8	0,24675	X		X	X	X	X
6	75,3	74,8	74,0	7,0	0,24681	X	X	X	X	X	X

Çizelge 6.4.'deki R-sq değeri en anlamlı olarak çıkacak ve metalürjik olarak da açıklaması sunulabilecek parametreler ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) modellenmesi için 305 adet veri kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelge 6.4.'de görüldüğü üzere şarj hızı(şarj sayısı/saat), oksijen debisi, hava debisi, cüruf gelme süresi ve iki döküm arası süresi parametreleri ile %78,3 değerinde R-sq'e ulaşılmıştır. Bunun yanında Cp değeri küçüldükçe yapılan analiz daha kararlı olmaktadır.

Çizelge 6.4'deki şarj hızı (şarj sayısı/saat) etki eden parametrelerin R-sq değerleri incelendiğinde sonuçlar şu şekildedir:

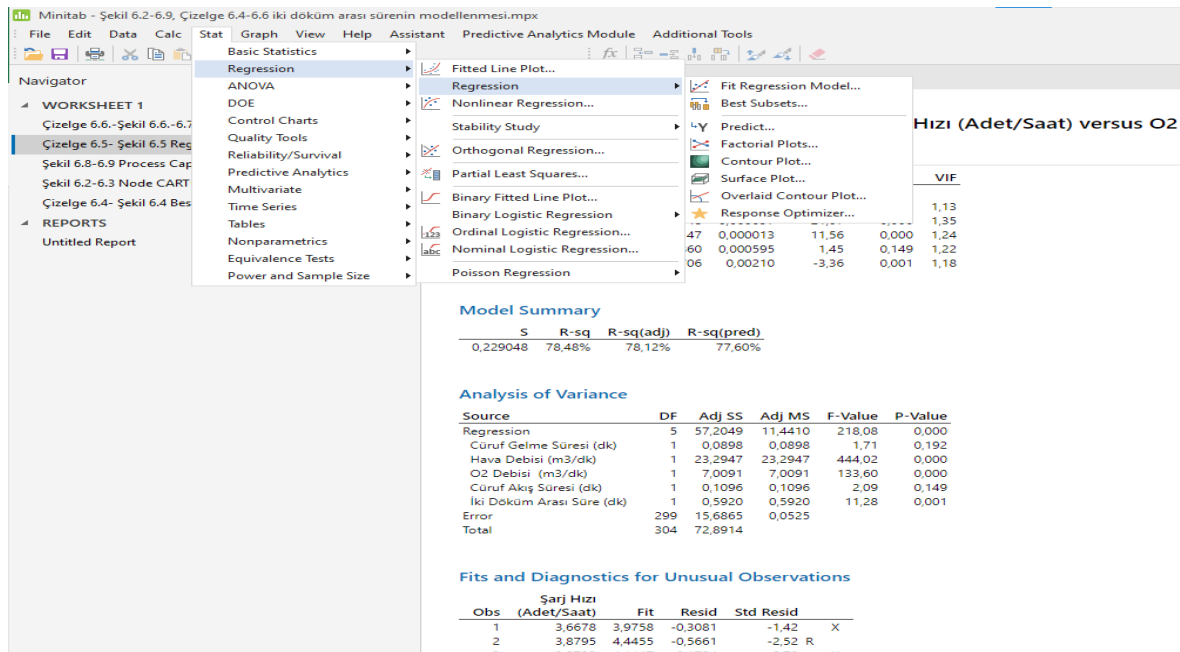
- Hava debisi parametresinin R-sq değerinin %64,2 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk) ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda ilişkili olduğunu göstermektedir.
- Fark basınç (bar) parametresinin R-sq değerinin %36,7 olduğu görülmekte olup bu değere göre fark basınç ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda zayıf olduğu tespit edilmiştir. Test çalışması yaptığımız dönemde fark basınç değerlerinin çoğunluğunun ideal değer olan 1.25-1,35 bar arasına yığıldığı görülmektedir.
- Hava debisi (m^3/dk) ve oksijen(m^3/dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %74,6 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk) ve oksijen(m^3/dk) ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda güçlü bir ilişkiye sahip olduğu söylenebilir. Normal şartlarda yalnızca hava debisi(m^3/dk) R-sq değeri %64,2 iken, üflenen havadaki oksijen oksijen(m^3/dk) ilavesi ile reaksiyon hızının artması sonucu R-sq değerinin yani aralarındaki ilişkinin önemli miktarda yükseldiği tespit edilmiştir.
- Hava debisi (m^3/dk) ve iki döküm arası süresi (dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %65,2 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk) ve döküm arası süresi (dk) ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda normal olduğu tespit edilmiştir. Normal şartlarda yalnızca hava debisi(m^3/dk) R-sq değeri %64,2 iken, döküm arası süresi (dk) ile birlikte R-sq değerinin yükseldiği aralarındaki ilişkinin arttığı görülmüştür.
- Hava debisi (m^3/dk), oksijen(m^3/dk) ve cüruf gelme süresi (dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %74,9 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk), oksijen(m^3/dk) ve cüruf gelme süresi (dk) verileri ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda güçlü olduğu sonucu çıkarılmıştır. Normal şartlarda hava debisi(m^3/dk) ve oksijen(m^3/dk) R-sq değeri %74,6 iken, cüruf gelme süresi ile R-sq değerinin azda olsa yükseldiği görülmüştür.
- Hava debisi (m^3/dk), oksijen(m^3/dk) ve iki döküm arası süresi (dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %74,8 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk), oksijen(m^3/dk) ve iki döküm arası süresi (dk) verileri ile şarj hızı (şarj hızı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Normal

şartlarda hava debisi(m^3/dk) ve iki döküm arası süresi (dk) R-sq değeri %65,2 iken, oksijen(m^3/dk) ile R-sq değerine önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Hava debisi (m^3/dk), oksijen(m^3/dk), cüruf gelme süresi (dk) ve iki döküm arası süresi (dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %75,2 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk), oksijen(m^3/dk), cüruf gelme süresi (dk) ve iki döküm arası süresi (dk) verileri ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda güçlü olduğu tespit edilmiştir. Normal şartlarda hava debisi(m^3/dk) ve oksijen(m^3/dk) arasındaki R-sq değeri %74,6 iken, iki döküm arası süresi (dk) ile R-sq değerinin azda olsa yükseldiği görülmüştür.

- Hava debisi (m^3/dk), oksijen(m^3/dk), cüruf gelme süresi (dk), fark basınç (bar), PCI oranı (ton/saat) ve iki döküm arası süresi (dk) parametrelerinin R-sq değerlerinin %75,3 olduğu görülmekte olup bu değere göre hava debisi(m^3/dk), oksijen(m^3/dk), cüruf gelme süresi (dk), iki döküm arası süresi ve PCI oranı (ton/saat) verileri ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) verileri arasındaki analizlerin istatistiksel anlamda güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Değişkenler üzerinde regresyon analizi yapılarak sonucun formülize edilmesi ve formülün P ve R-sq değerine göre yorumlanması Şekil 6.5.'deki gibi Minitab 20 istatistiksel analiz programında Fit Regression Modülü ile yapılmıştır.



Şekil 6.5. Minitab 20 istatistiksel analiz programında fit regresyon modülü

Şarj hızı (şarj sayısı/saat) üzerinden iki döküm arası sürenin regresyon analizi Çizelge 6.4'de yapılmıştır. Yapılan bu analiz sonucuna göre:

Çizelge 6. 5. Şarj hızı (şarj sayısı/saat) modellenmesinde kullanılan regresyon analizi ve varyans analizleri

Regrasyon Eşitliği					
Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	=	-0,485 + 0,001087Cüruf Gelme Süresi (dk) + 0,002048Hava Debisi (m ³ /dk) + 0,000147O ₂ Debisi (m ³ /dk) + 0,000860Cüruf Akış Süresi (dk) - 0,00706İki Döküm Arası Süre (dk)			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)		
0,229048	%78,48	%78,12	%77,60		
Varyans Analizi					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	57,2049	11,4410	218,08	0,000
Cüruf Gelme Süresi (dk)	1	0,0898	0,0898	1,71	0,192
Hava Debisi (m ³ /dk)	1	23,2947	23,2947	444,02	0,000
O ₂ Debisi (m ³ /dk)	1	7,0091	7,0091	133,60	0,000
Cüruf Akış Süresi (dk)	1	0,1096	0,1096	2,09	0,149
İki Döküm Arası Süre (dk)	1	0,5920	0,5920	11,28	0,001
Error	299	15,6865	0,0525	---	---
Total	304	72,8914	---	---	---

Çizelge 6.5.'de test çalışmaları sırasında elde edilen 304 adet veri üzerinden şarj hızı(şarj sayısı/saat) etki eden Cüruf Gelme Süresi (dk), Hava Debisi (m³/dk) O₂ Debisi (m³/dk), Cüruf Akış Süresi (dk) ve İki Döküm Arası Süre (dk) parametreleri (Regresyon fit modülü kullanılarak yapılan analizde R-sq değeri (%78,48) yapılan model çalışmasının istatistiksel olarak güçlü olduğunu göstermektedir.

Bunun yanında şarj hızı(şarj sayısı/saat) ile parametreler arasındaki P değerlerini ayrı ayrı incelediğimizde;

- Şarj Hızı (şarj sayısı/saat) ile cüruf gelme süresi (dk) arasındaki P değeri 0,192 olup bu değer %5' den büyük olduğu için cüruf gelme süresinin şarj hızı(şarj sayısı/saat) etkilemediği istatistiksel olarak açıklamaktadır.

- Şarj Hızı (şarj sayısı/saat) ile cüruf akış süresi (dk) arasındaki P değerine baktığımızda bu değer ise 0,149 olup %5'den büyük olduğu için cüruf akış süresinin de şarj hızı(şarj sayısı/saat) etkilemediği istatistiksel olarak yorumlanmaktadır.
- Şarj Hızı (şarj sayısı/saat) ile hava debisi (m^3/dk) arasındaki P değeri 0,0 olup bu değer %5 küçük olması nedeniyle hava debisinin (m^3/dk) şarj hızını(şarj sayısı/saat) etkilediği istatistiksel olarak yorumlanmaktadır. Bunun yanında P değerinin 0,0 olması şarj hızı(şarj sayısı/saat) ile hava debisi(m^3/dk) arasında yapılan istatistiksel çalışmanın çok güçlü olduğunu belirtmektedir.
- Şarj Hızı (şarj sayısı/saat) ile O₂ debisi (m^3/dk) arasındaki P değeri de 0,0 olup bu değerinde %5 küçük olması nedeniyle O₂ debisinin (m^3/dk) şarj hızını da(şarj sayısı/saat) etkilediği istatistiksel olarak yorumlanmaktadır. Bunun yanında P değerinin hava debisindeki gibi 0,0 olması şarj hızı(şarj sayısı/saat) ile O₂ debisi(m^3/dk) arasında yapılan istatistiksel çalışmanın aynı şekilde çok güçlü olduğunu belirtmektedir.
- Şarj Hızı (şarj sayısı/saat) ile iki döküm arası sürenin (dk) arasındaki P değerine baktığımızda bu değerde 0,001 olup %5 küçük olması nedeniyle iki döküm arası sürenin (dk) şarj hızını (şarj sayısı/saat) etkilediği istatistiksel olarak yorumlanmaktadır. Bunun yanında P değerinin 0,001 gibi bir değerde olması şarj hızı(şarj sayısı/saat) ile O₂ debisi(m^3/dk) arasında yapılan istatistiksel çalışmanın aynı şekilde çok güçlü olduğunu belirtmektedir.

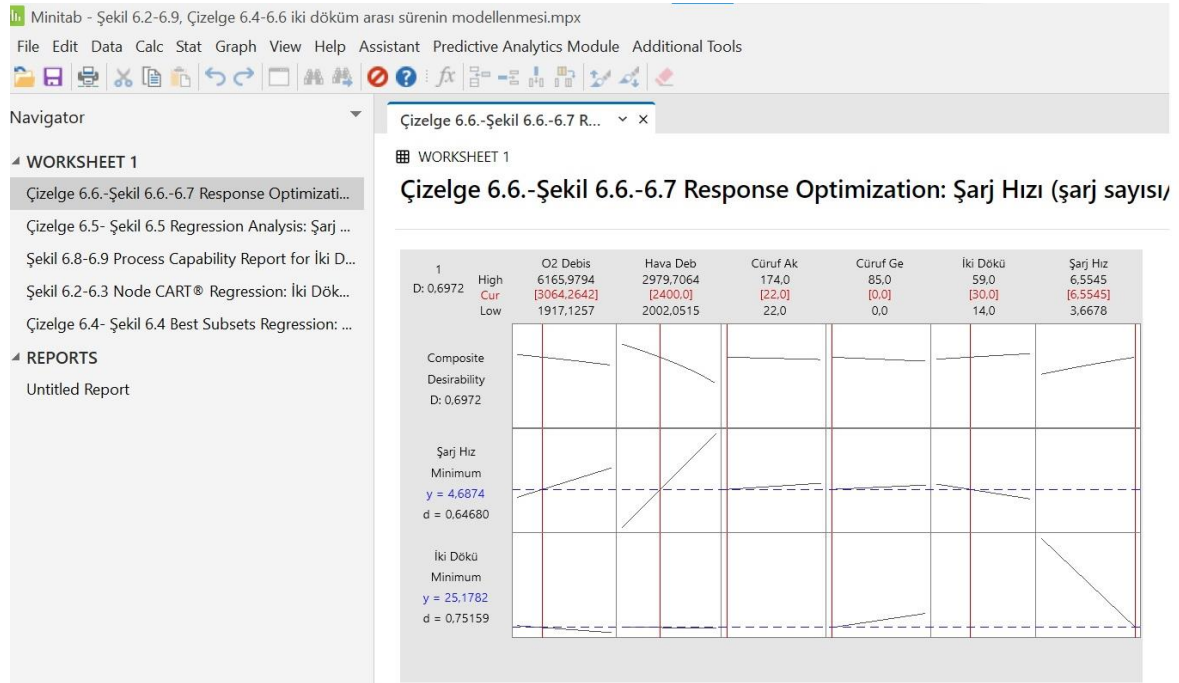
Response Optimization modülüne göre, iki döküm süresi ve şarj sayısının optimum değerleri Çizelge 6.6.'da verilmiştir.

Çizelge 6. 6. İki döküm arası sürenin optimum değerleri

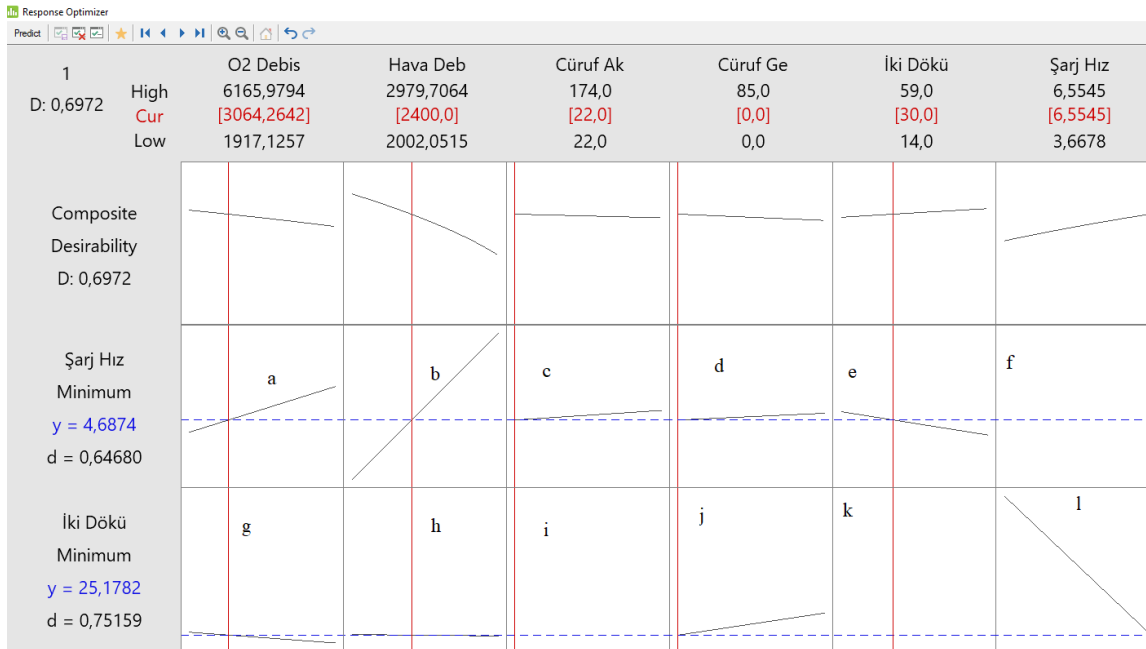
Solution	O ₂ Debisi (m ³ /dk)	Hava Debisi (m ³ /dk)	Cüruf Akış Süresi (dk)	Cüruf Gelme Süresi (dk)	İki Döküm Arası Süre (dk)	Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	Optimum Şarj Hızı (şarj sayısı/saat)	Optimum İki Döküm Arası Süre (dk)	Composite Desirability
	3064,26	2002,1	22	0	59	6,55455	3,66776	25,2431	0,866114

Çizelge 6.5.'de regrasyon eşitliğinde R-Sq değerinin %78,48 olması şarj hızı (şarj sayısı/saat) hızı ile parametreler arasında ilişkinin çok kuvvetli olduğunu, Regresyon P değerinin ise, 0,0 olması bu regrasyon eşitliğinin istatistiksel yönden anlamlı olduğunu

belirtmiştir. R-sq ve P değerlerinin istatistiksel yönden uygun olduğunun anlaşılmasından sonra test çalışması yapılan 305 adet test ile maksimum şarj hızında iki döküm arası sürenin YF şartlarına göre optimum değerinin bulunması için Şekil 6.6.'daki gibi Minitab 20 analiz programında “Response Optimization” modülü kullanılarak iki döküm arası sürenin optimum süresi YF şartlarına göre hesaplanmıştır. Çizelge 6.6.'da “Response Optimization” modülü ile yapılan çalışma sonucuna göre en uygun şarj hızı(şarj sayısı/saat) 3.66 (adet/saat) iken optimum iki döküm arası süre 25,32 dk olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. Minitab 20 istatistiksel analiz programında response optimizer modülü



Şekil 6.7. Şarj hızına bağlı olarak iki döküm arası sürenin belirlenmesi

Şekil 6.7’de görüldüğü 305 adet test çalışması üzerinden Response Optimizer modülü kullanılarak maksimum şarj hızına (şarj sayısı/saat) bağlı olarak optimum iki döküm arası süre belirlenmiştir. Buna göre; oksijen debisi (m^3/dk), hava debisi (m^3/dk), cüruf akış süresi (dk), cüruf gelme süresi (dk) ve iki döküm arası süreye(dk) göre maksimum şarj hızı (şarj sayısı/saat) değerleri a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k ve l maddeleriyle belirlenmiş olup aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

a. O₂ debisi en düşük değeri 1917 m^3/dk , maksimum değeri 6165 m^3/dk olmuştur. O₂ debisi 3064 m^3/dk iken Şarj hızı değerinin 4,46 (şarj sayısı/saat)’e ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında oksijen debisinin (m^3/dk) belli bir şarj hızı (şarj sayısı/saat) değerinden sonra pozitif yönde katkı sağladığı şekilde doğrusal çizgiden yorumlanmıştır.

b. Hava debisi en düşük değeri 2002,0515 m^3/dk , maksimum değeri 2979,7064 m^3/dk olmuştur. Hava debisi 2400 m^3/dk iken şarj hızı değerinin 4,46 (şarj sayısı/saat)’e ulaştığı görülmüştür. Bu durumda şarj hızıyla (adet/saat) ile hava debisi (m^3/dk) arasında pozitif doğrusal orantı olduğu tespit edilmiştir.

c. Cüruf akış süresi en düşük değeri 22 dk (test çalışması yaptığımız YF’de normal şartlarda cüruf akış süresi ortalama 60 dk’dır. Bu sürenin altında cüruf akış süresi altında cüruf akış sürelerinde döküm de yeterince cüruf drenajı yapılamamaktadır), maksimum değeri 174 dk

olmuştur. Cüruf gelme süresi 22 dakika olduğunda şarj hızı değerinin 4,46 (şarj sayısı/saat)'e ulaştığı anlaşılmıştır.

d. Cüruf gelme süresi en düşük değeri 0 dk (döküm açıldığında direk SHD ile birlikte cüruf gelmiştir), maksimum değeri 85 dk olmuştur. Cüruf gelme süresi en düşük değeri 0 dk dakika olduğunda şarj hızı değerinin 4,46 (şarj sayısı/saat)'e ulaştığı tespit edilmiştir.

e. İki döküm arası sürenin en düşük değeri 14 dk (test çalışması yaptığımız YF'de normal şartlarda iki döküm arası optimum süre 25 dk'dır. Ancak proses sorunları olması sonucu, hazne içindeki sıvı malzemenin drenajı için dökümler erken açılmaktadır), maksimum değeri 59 dk (bazı dökümlerde SHD taşıyan torpedo manevrasının gecikmesi, döküm açmada kullanılan matkaplardaki arıza nedeniyle dökümler gecikmeli açılmıştır) olmuştur. İki arası süresi 25,32 dakika olduğunda şarj hızı değerinin 4,46 (şarj sayısı/saat)'e ulaştığı anlaşılmıştır. Bunun yanında iki döküm arası süre ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) arasındaki doğrusal çizgideki duruma göre, şarj hızı (şarj sayısı/saat) arttığında iki döküm arası süre azaldığı yorumu yapılabilir.

f. Bu kısımda minimum şarj hızına (şarj sayısı/saat) göre şarj hızı arasında ilişki yoktur.

g. İki döküm arası süre 25,32 olduğunda, O₂ debisi en düşük değeri 1917 m³/dk, maksimum değeri 6165 m³/dk olmuştur. O₂ debisi 3064 m³/dk iken iki döküm arası sürenin 25,17 dakika olduğu görülmüştür.

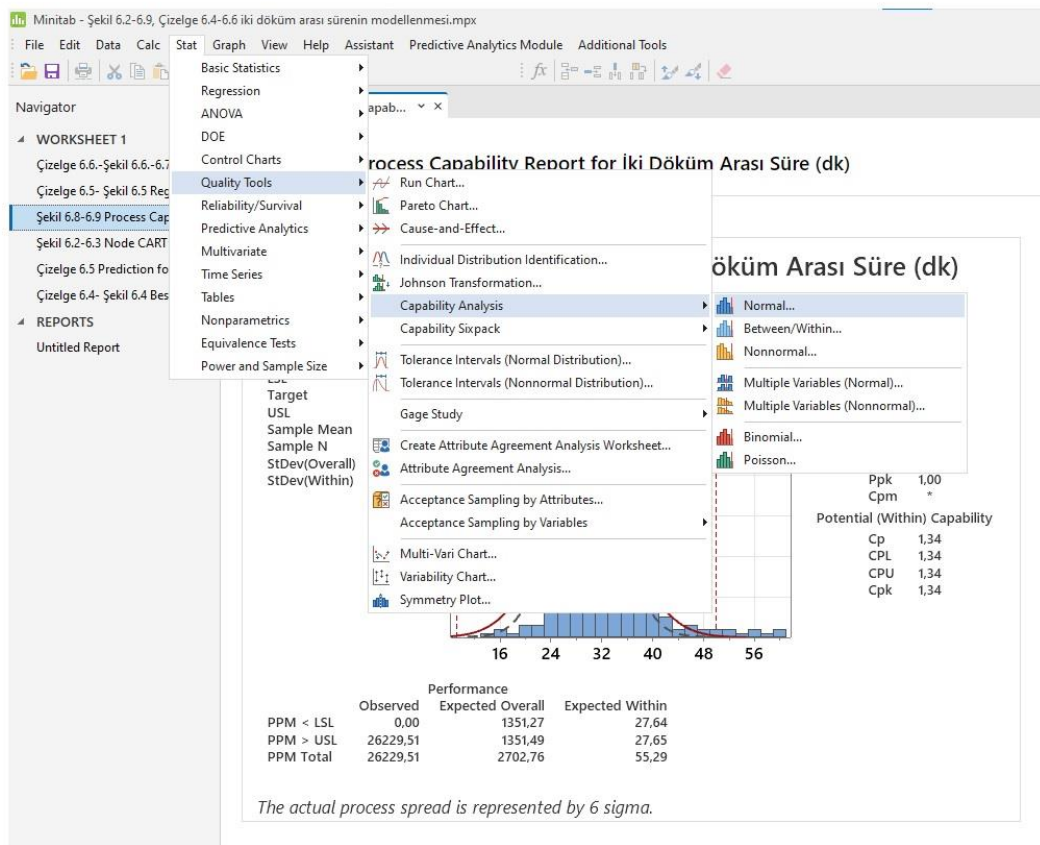
h. İki döküm arası süre 25,32 iken, hava debisi en düşük değeri 2002,0515 m³/dk, maksimum değeri 2979,7064 m³/dk olmuştur. Hava debisi 2400 m³/dk olması durumunda, iki döküm arası sürenin 25,17 dakika olduğu görülmüştür.

i. Cüruf akış süresi en düşük değeri 22 dk (test çalışması yaptığımız YF'de normal şartlarda cüruf akış süresi ortalama 60 dk'dır. Bu sürenin altında cüruf akış süresi altında cüruf akış sürelerinde döküm de yeterince cüruf drenajı yapılamamaktadır), maksimum değeri 174 dk olmuştur. Cüruf gelme süresi 22 dakika olduğunda iki döküm arası süresinin 25,17 dakikaya ulaştığı anlaşılmıştır.

j. Cüruf gelme süresi en düşük değeri 0 dk (döküm açıldığında direk SHD ile birlikte cüruf gelmiştir), maksimum değeri 85 dk olmuştur. Cüruf gelme süresi en düşük değeri 0 dk dakika olduğunda iki döküm arası süresinin 25,17 (şarj sayısı/saat)'e dakikaya ulaştığı edilmiştir.

k. Bu kısımda minimum iki döküm arası süresine (dk) göre iki döküm arası süresinin arasında ilişki yoktur.

l. Şarj hızının en düşük değeri 3,66 (şarj sayısı/saat), maksimum değeri ise 6,55 (şarj sayısı/saat) olmuştur. Şarj hızı 6,55 (şarj sayısı/saat) iken iki döküm arası süre 25,17 dakika olmuştur. Bunun yanında iki döküm arası süre ile şarj hızı (şarj sayısı/saat) arasındaki doğrusal çizgideki duruma göre, şarj hızı (şarj sayısı/saat) arttığında iki döküm arası süre azaldığı yorumu yapılabilir.



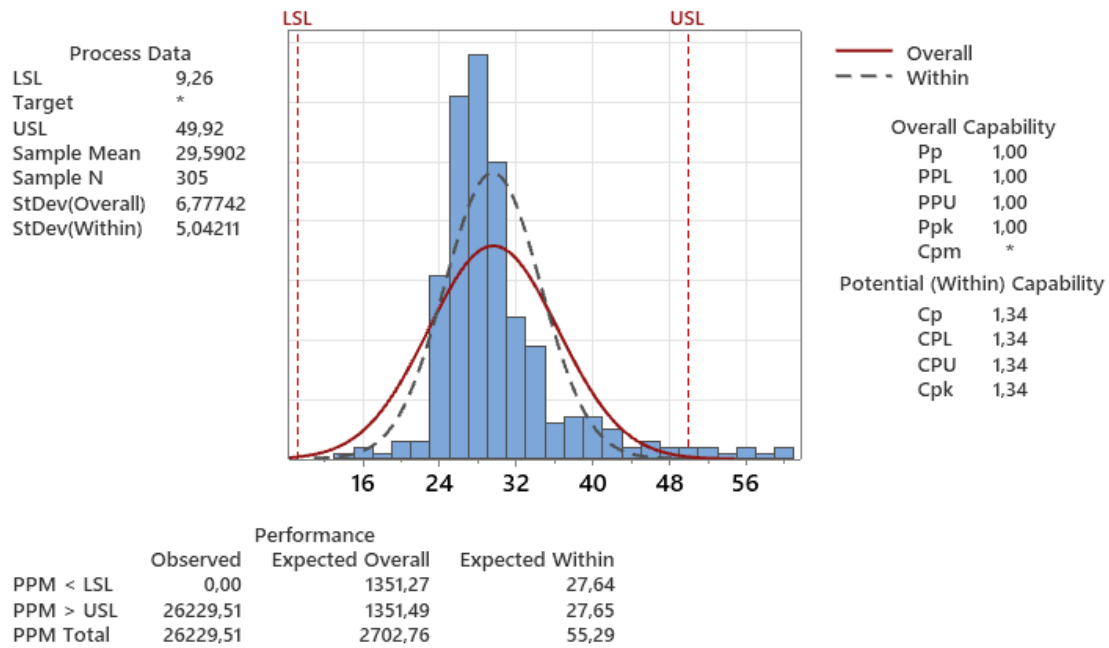
Şekil 6.8. Minitab 20 istatistiksel analiz programında capability analysis modülü

Sonuç olarak ise iki döküm arası süre (dk), şarj hızı (adet/saat), hava debisi (m^3/dk) ve oksijen debisi ($m^3/saat$) için oluşturulan modellerdeki parametrelerin tamamının olduğu bir grafiksel istatistiksel çalışma elde edilmiştir. “Response Optimizer” yöntemi kullanılan

çalışmada aşağıdaki sonuçta da görülebildiği üzere iki döküm arası süre (dk), şarj hızı (şarj sayısı/saat) hedef değerler ile kullanılması gereken parametreler otomatik olarak belirlenebilmektedir. Aynı zamanda parametrelerde yapılan değişiklikler ile elde edilecek sonuçtaki iki döküm arası süre (dk), şarj hızı(şarj sayısı/saat) öngörülebilmektedir.

İki döküm arası sürenin optimizasyonu için süreç yeterlilik analizi Şekil 6.8.'deki gibi Minitab istatistiksel analiz programında Process Capability modülü kullanılarak Şekil 6.9'daki grafik elde edilmiştir.

Process Capability Report for İki Döküm Arası Süre (dk)



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 6.9. Process Capability modülü kullanılarak iki döküm arası sürenin yeterlik sürecinin analiz edilmesi

Şekil 6.9.'daki grafik yorumları aşağıdadır;

- 305 adet veri üzerinden iki döküm arası sürenin dağılımının süreç yeterlilik analizi yapılmıştır.

- Süreç yeterlilik analizlerinde $C_{pk} > 1.33$ olduğu zaman süreç başarılı kabul edilmektedir. Şekil 6.9. de ise $C_{pk} = 1.34$ olduğu için iki döküm arası sürenin değerleri süreç yeterlilik açısından uygun olduğu görülmüştür.
- Sürecin yorumlanması diğer bir unsur ise iki döküm arası süredeki standart sapma değeri olup bu değer 6,77 dk olarak gerçekleşmiştir.

6.4. Metalurjik Kok Kalitesinin Hazne Seviyesine Etkisi

YF 'de kullanılan metalurjik kokun; yakıt, geçirgenlik, redükleme ve yük taşıma gibi görevleri vardır. Bunun yanında hazneye kadar bütün demir cevherleri sıvı ve gaz hale geçerken tek katı olarak kalabilen malzeme metalurjik kok'dur.

Hazne ve ölü adam bölgesinde metalurjik kokun geçirgen yapısı ve arasındaki boşluk, haznedeki sıvı malzeme seviyesini direk etkilemekte olup YF'ye üflenen sıcak hava miktarı da metalurjik kokun geçirgenlik parametresi ile ilgilidir.

Metalurjik kokun YF içindeki davranışını ölçmek için metalurjik kok numunelerine ASTM-D 5341/ D 5341M-14 standardına göre kül oranı, stabilite, sertlik CSR(reaksiyon sonrası metalurjik kok mukavemeti), CRI (metalurjik kok redüklenme indeksi) ve elek testleri yapılmaktadır. Bu testler metalurjik kokun haznedeki boyutu ve ölü adamdaki geçirgenlik parametresini etkiler.

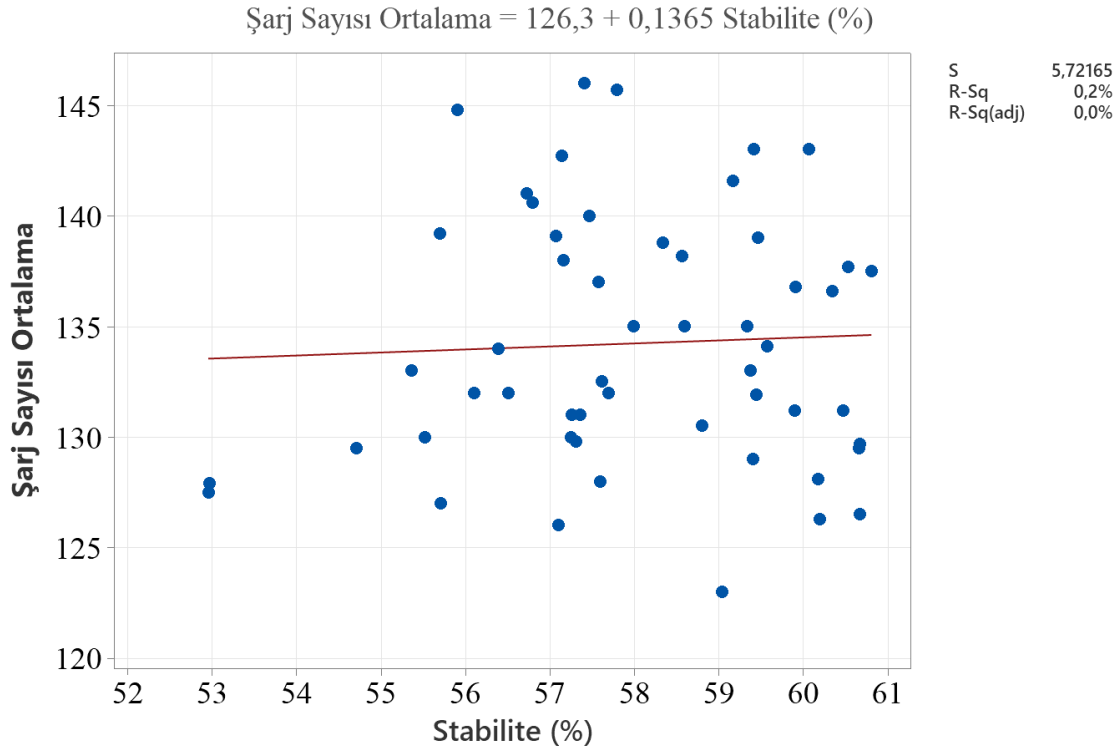
Çalışma yaptığımız entegre demir çelik fabrikasında metalurjik kok kalite parametresi olan stabilitesini günlük olarak ölçümü yapılmaktadır. Bu stabilite değeri (%) ve şarj sayısı (adet/Saat) arasında Minitab Analiz programında yapılan korelasyon ve çoklu regresyon analizleri Şekil 6.10.'daki gibi yapılmıştır.

Çizelge 6. 7. Metalurjik kok stabilite değerinin ortalama şarj sayısına etkisinin Minitab Analiz programında regresyon analizi

Regresyon Eşitliği					
Şarj Sayısı Ortalama	=	126,3 + 0,1365 Stabilite (%)			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq (adj)			
5,72165	%0,21	%0,00			
Katsayılar					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3,62	1,29	0,207	0,741
Error	52	1702,34	32,7373	---	---
Total	52	1705,96	---	---	---

Çizelge 6.7'deki tablo irdelendiğinde;

- Çizelge 6.7.'de görüldüğü gibi; P değeri (P-Value): 0,741 olup %5'in üstünde olduğu için yapılan analizin istatistiksel olarak anlamsız olduğunu, regresyon analizinde ise R-sq değeri %0,21 olup bu değer güven aralığı olan %64'ün altında olması değişkenler arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğunu açıklamaktadır.
- Yapılan analiz çalışması için 33 adet metalurjik kok numunesinin şarj sayısına etkisi analizi yapılmıştır. Ancak Çizelge 6.7.'de görüldüğü gibi, P değeri %5'den büyük olduğu için stabilite değerinin direk ortalama şarj sayısına etki etmediği anlaşılmaktadır. Çünkü şarj sayısına etki eden demirli malzeme, PCI enjeksiyon miktarı, vb. etmenlerde mevcuttur. Diğer etkenlerin miktar ve oranları sürekli değişken olduğu için etki değerleri direk hesaplanamamaktadır.



Şekil 6.10. Metalurjik kok stabilite değerinin şarj sayısına etkisinin Minitab Analiz programında analiz edilmesi

Şekil 6.10. 'daki grafik tablo irdelendiğinde;

- Stabilite değerinin YF'ye şarj edilen sayı ile arasında ilişki olup olmadığı analiz edilmeye çalışılmıştır. Minitab 20'de yapılan analiz sonucunda P değeri %5'den büyük olduğu için şarj sayısı ile metalurjik kok stabilite değeri arasında ilişki olmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Literatür çalışmalarında metalurjik kok stabilite değeri YF daki cevher ve metalurjik kok arasındaki hava geçirgenliğini artırarak şarj sayısının artmasına etki ettiği belirtilmiştir. Ancak elde edilen 33 adet kok numunesi 33 günü temsil etmekte olup bu süre içerisinde farklı firmalardan tedarik edilen koklaşabilir taş kömürün farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere dahi olması, YF prosesine hammadde özelliklerinin etki etmesi gibi şarj sayısına etki eden birçok parametre olduğundan analizde şarj sayısı ile stabilite değerinin ilişkisi tam anlaşılmamıştır.

7. SONUÇ

Tez için test çalışmalarını yaptığımız İSDEMİR A.Ş. 2.YF’de, iki döküm arası sürenin YF çalışma şartlarına göre optimum olarak belirlenmemesinden dolayı; döküm deliği çamurunun yeterince kürleşmeden döküm açılması ile emisyon oluşumu, iki döküm arası sürenin uzaması sonucu haznedeki sıvı malzeme seviyesinin yükselmesine bağlı tüyerlerin hasarlanması, döküm sayısının artmasına bağlı sarf malzeme maliyetlerinin artması gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Tez kapsamında yapılan test çalışmaları ve elde edilen verilerin Minitab 20 programı kullanarak yapılan modelleme çalışmaları ile YF proses ve hammadde şartlarına bağlı optimum iki döküm arası süre belirlenmiş ve bu sürenin gelişigüzel belirlenmesinden kaynaklı yukarıda bahsedilen problemlerin giderilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda, 2.YF’de Mayıs 2016 Nisan-2021 tarihleri arasında SHD’nin YF haznesinden alınacağı süreyi etkileyen veriler seçilerek Minitab 20’de regresyon ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Hava debisi, fark basınç, cüruf akış süresi, cüruf gelme süresi ve oksijen debisi gibi YF’de iki döküm arası sürenin belirlenmesinde etkili olan parametreler ölçümler yapılarak YF veri tabanından seçilmiştir. Bu parametrelerin ölçümleri PLC sistemine ekipman yönetimi için (seviye-1 sistemine) aktarılmış ve buradan PLC sisteminde gerek görülen veriler Uzman Sistemine (seviye-2) işlenmek amacıyla gönderilmiştir. Uzman Sistem için önemli görülen veriler ise Raporlama Sistemine (Seviye-3) gönderilmiştir. Test çalışmasında raporlama sisteminde YF iki döküm arasına etki eden test verileri seçilerek Minitab 20 programı ile analiz, regresyon ve modellemeler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucu;

- Minitab analizlerde analizin geçerli olması P değerine bağlıdır. P değeri %5’in altındaysa analiz kabul edilir, P değeri %5’in üstündeyse analiz kabul edilmez. Bunun dışındaki tüm değerler P değerinin değerlendirilmesinde yardımcı olan etmenlerdir. İki döküm arası sürenin optimizasyonunda elde ettiğimiz verilerin tüm analizlerinde P değeri için kritik olan %5 değerini dikkate alarak analiz sonuçları değerlendirilmiştir. R-sq değeri sonucu ise, iki bağımsız değişken arasındaki korelasyon katsayısı için ilişki derecesi olan 0,8 katsayısının karesi olan 0,64 (%64)’in üzerinde olması durumunda değişkenler arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

- İki döküm arası sürenin modellenmesi için şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi (m^3/dk), fark basınç (bar) ve O_2 debisi (m^3/dk) parametreleri kullanılmıştır (Şekil 6.3). Özellikle şarj hızının %100 gibi önemli bir etkiye sahip olduğu bunu %67,1 ile hava debisinin etkili olduğu görülmektedir. Oksijen debisinin ise (%18,8) daha az bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

- İki döküm arasında en etkili olarak şarj hızı (şarj sayısı/saat) olduğu çıkmıştır. Şarj hızını (şarj sayısı/saat) etkileyen, cüruf gelme süresi (dk), hava debisi (m^3/dk), fark basınç (bar) ve O_2 debisi (m^3/dk), cüruf akış süresi (dk) ve iki döküm arası süre (dk) parametreleri ile yapılan regresyon analizi sonucuna göre R-sq değeri %78,12 olup şarj hızı(şarj sayısı/saat) ile bu parametreler arasında güçlü ilişkili olduğunu açıklamaktadır. Ancak şarj hızı (şarj sayısı/saat) ile cüruf gelme süresi (dk), hava debisi (m^3/dk), fark basınç (bar) ve O_2 debisi (m^3/dk), cüruf akış süresi (dk) ve iki döküm arası süre (dk) arasındaki P- değerlerinin incelediğimizde; şarj hızı (şarj sayısı/saat) ile cüruf gelme süresi (dk) P- değerleri %5 den büyük olduğu için cüruf gelme süresi(dk) ve cüruf akış süresinin istatistiksel olarak şarj hızına (şarj sayısı/saat) etki etmediğini ortaya koymaktadır. Şarj hızı (şarj sayısı/saat) ile hava debisi (m^3/dk), fark basınç (bar) ve O_2 debisi (m^3/dk) P- değerleri %5'den küçük olduğu için istatistiksel olarak etki ettiği anlaşılmıştır.(Çizelge 6.5.)

- Literatür çalışmalarında kok kalite parametrelerinin döküm sürecine olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir [15]. Ancak Minitab 20'de kok değerleri günlük ortalama şarj sayısı ile yapılan analizler sonucu P değerinin 0,741 olup bu değer %5 den büyük olduğu için istatistiksel olarak anlamsız olarak olduğu, R-sq değeri ise 0,21 olup %64 den küçük olduğu için ortalama şarj sayısı ile kok parametreleri arasında hiç bağlantı olmadığı görülmüştür (Çizelge 6.7.).

Bu çalışma ile YF'de iki döküm arası sürede en uygun zamanın tespit edilmesinin sağlayacağı faydalar aşağıdaki özetlenmiştir:

- Çalışma yaptığımız YF'de dökümlerin geç açılmasına bağlı olarak tüyer yanması, tüylerden malzeme akması gibi proses güvenliği ve üretim sürekliliğine açısından sorun yaratan durumlar meydana gelmekte idi. Bu yüzden mevcut hazne koşullarında maksimum hazne sıvı seviyesi kullanılarak ve proses güvenliğini minimize edecek şekilde optimumum

iki döküm ara süre çalışması uygulama kısmında şekil 5.5.'de belirtilmiştir. Şekil 5.5.'de belirtildiği gibi 30 dakikanın üzerinden açılan dökümlerde SHD ve cüruf ile birlikte hazne seviyesi güvenli olarak belirttiğimiz 2,2 m üzerine çıktığında üretim problemlerine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak 25,24 dakika üzerindeki açılan dökümler riskli açılan döküm olarak adlandırılmıştır.

- Çizelge 7.1. de iki döküm arası süresinin optimizasyonu çalışması öncesi ve sonrası elde edilen veriler yer almaktadır.

Çizelge 7. 1. 2017-2021 yılları arasındaki dökümlerin açma süreleri ve optimum açma süre yönünden incelenmesi

Yıllar	Döküm Sayısı (Adet)	Döküm Arası Sürenin Standart Sapması (Dakika)	*Optimum Sürede Açılmayan Döküm Sayısı (Adet)	Optimum Sürede Açılmayan Döküm Sayısı Oranı (%)
2017	2320	7,80	1497	31,68
2018	4305	7,75	1158	26,89
2019	4142	8,13	1196	22,79
2020**	2995	6,80	424	14,15
2021	3976	4,96	539	9,53

* Şekil-5.5'de belirtildiği gibi döküm açma süresi 30 dakikayı geçtiğinde, SHD yüksekliği tüyer seviyesine (2,2 m.) ulaşarak, tüyerin yanmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda tüyer değişimi nedeni ile Y.Fırın plansız duruşa alınmaktadır, bunun yanında prosesin düzenli olarak çalışabilmesi için ilave yakıt kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

**2020 yılında son 4 ay 2.YF bakımında olduğu için veriler 8 aylıktır.

- Şekil 6.8'de iki döküm arası sürenin proses yeterlilik analizde, iki döküm arası süre proses açısından yeterlilik düzeyinde olduğu görülmüştür. Bu analizde standart sapma değeri 6,77 dakika olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılında, iki döküm arası süre standart sapması geçmiş

yıllara daha düşük seviyede gerçekleşerek 4,96 dakika olmuştur. Böylece iki döküm arası süresi optimizasyonu çalışması sonucu dökümlerin açma sürelerinin aralarındaki farkın azalarak daha stabil hale geldiğini göstermektedir.

- İki döküm arası sürenin optimizasyonu çalışması kapsamında, uygulama kısmında yer alan Çizelge 5.2’de yer alan YF hazne verilerine göre SHD ve cüruf için toplam faydalı hacim çıkartılmıştır. Çizelge 5.3’de YF normal şartlarda çalışırken, şarj hızı(şarj sayısı/saat), şarj sayısına göre kritik hazne yüksekliği olan 2,2 m’ye sıvı yüksekliğinin (SHD+cüruf) 30 dakikada ulaştığı görülmüştür. Çizelge 5.2. ve 5.3’de verilerden yola çıkılarak elde edilen formüller sonucunda elde edilen test çalışmaları sonucunda Şekil 5.5’deki gibi döküm kapandıktan 30 dakika sonra kritik seviye olan 2,2 m ye yaklaştığı tespit edilmiştir.
- İki döküm arası sürenin optimizasyonu için hangi parametrelerin nasıl etki ettiği ve istatikselsel olarak anlamlı olması için analizi kısmında analizler yapılmıştır.
- Yapılan analizler sonucu, YF normal şartlarda çalışırken iki döküm arası süreye etki eden parametrelerin analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucu, YF normal çalışma şartlarına göre optimum iki döküm arası sürenin 25,24 dk olduğu Şekil 6.6’daki gibi görülmüştür. Uygulama çalışmalarında iki döküm arası süresi 30 dk çıkmasına rağmen, analiz kısmında iki döküm arasında optimum sürenin 25,24 dk olmuştur. Çünkü uygulamada sadece tek değer üzerinden yapılan hesaplama üzerinden iki döküm arası süre hesaplanmıştır. Analiz kısmında ise 305 değer üzerinden farklı değerlerdeki şarj hızı (şarj sayısı/saat), hava debisi (m³/dk), O₂ debisi, fark basınç gibi parametrelerin analizi ile optimum iki döküm arası süre hesaplanmıştır.
- Test çalışmasında 305 adet veri üzerinde iki döküm arası sürenin süreç yeterlilik analizi yapılmış C_{pk}=1.34 elde edilerek proses yeterlilik analizinde, iki döküm arası sürenin proses ve işletme koşulları açısından yeterlilik düzeyinde olduğu görülmüştür (Şekil 6.9). Bu test kapsamında yapılan analizde standart sapma değerinin 6,77 dakika olarak bulunmuştur. Bu tez aşamasında yapılan uygulamalar ile YF’de iki döküm arası sürenin standart sapması 2021 yılında 4,96 dakika olarak geçmiş yıllara daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Böylece iki döküm arası süresi optimizasyonu çalışması sonucu dökümlerin açma sürelerinin aralarındaki farkın azalarak daha stabil hale geldiğini göstermektedir.

- YF 'de , son 5 yıla ait döküm verileri (döküm açma-kapatma, iki döküm arası süre, vb. bilgiler) YF Seviye-3 sistemine kaydedilmektedir. Bu verilere bilgi sistemleri aracılığıyla erişim sağlanabilmektedir. Çizelge 7.1. verileri İSDEMİR A.Ş. veri tabanı YF Seviye-3 sisteminden alınarak özet tablo şeklinde gösterilmiştir.
- 2019 yılına kadar riskli açılan döküm sayısı oranı ortalama %29,28 olarak gerçekleşmiş olup yaklaşık olarak açılan her 3 döküm den 1 adedi riskli olarak açılmıştır (Çizelge 7.1). 2020 yılından itibaren bu tez çalışması kapsamında iki döküm arası sürenin optimizasyonu için yapılan çalışmalar sonucunda riskli açılan döküm sayısı 2020 yılında %14,15, 2021 yılında ise %9,54 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 7.1). Bu sonuçlar tez çalışması kapsamında aşağıda belirtilen iyileştirmeler yapılarak sağlanmıştır:
 - ✓ Torpedo içindeki SHD miktarının ölçümü için radar seviye sistemi kurulumu yapılarak döküm bazlı SHD miktarı ölçümü gerçekleştirilmiştir.
 - ✓ Beşik oluk pozisyon izleme sistemi ile anlık SHD akış hızı daha etkin ölçülerek, SHD akış hızının değişimlerine anlık müdahale imkânı sağlanmıştır.
 - ✓ İki döküm arası sürenin optimizasyonu için, torpedo seviye cihazından alınan veriler, beşik oluk pozisyonundan dolum yapılan torpedo bilgisi, hazne boyut verileri, kok boşluğu değerleri, SHD ve cüruf yoğunluk verileri alınarak haznedeki anlık sıvı seviye izleme sistemi kurulmuştur.
 - ✓ Döküm kapandıktan sonra, hazne sıvı yüksekliği izleme sistemi yardımı ile sıvı seviyesi tüyer bölgesine ulaşmadan dökümlerin açılması sağlanmıştır.
 - ✓ Hazne sıvı seviye yüksekliği izleme sistemi yardımıyla elde edilen test verilerinin analizi Minitab 20 istatistiksel analiz programında regresyon ve modellemeler ile analiz edilmiş olup bu analizler; hava debisi miktarının hazne sıvı seviye yüksekliğine etkisi, oksijen miktarının hazne sıvı seviyesine etkisi, hava debisinin şarj hızına etkisi, hava debisinin fark basınç değerine etkisi, kok kalite parametrelerinin şarj hızına etkileri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 6.3, Şekil 6.7, Şekil 6.9, Çizelge 6.4, Çizelge 6.5).
 - ✓ Ancak, torpedo manevrası gecikmesi, matkap arızası, vb nedenlerden dolayı bazı dökümlerde gecikmeler yaşanmasına rağmen, tez çalışması parametrelerin en etkili şekilde uygulandığı 2021 yılında optimum sürede açılmayan döküm sayısı %9,53 gibi çok düşük oranlarda gerçekleşmiştir (Çizelge 7.1).

- ✓ 2022 yılında matkap sistemindeki arızaların çözümü ve torpedo izleme sisteminin daha efektif şekilde olması ile riskli açılan döküm sayısı daha düşük değere indirileceği hedeflenmiştir.
- ✓ Sonuç olarak bu tez kapsamında iki döküm arası sürenin optimizasyonunda şarj hızı, hava debisi, oksijen miktarı, fark basınç gibi parametreleri kullanılarak yapılan regresyon ve modelleme çalışmaları ile korelasyon kurulması sayesinde YF'de proses güvenliği ve üretim sürekliliği sağlanarak verimli YF işletmeciliğine olanak sağlanmıştır.
- Test çalışmalarını yaptığımız 2.YF'de sürekli tek döküm deliği ile çalışmakta olup, en önemli sorunlardan biri, döküm kapatma için kullanılan döküm deliği çamurunun yeterli şekilde kürleşmeden dökümün tekrardan açılmasıdır. Bu durumda döküm açma sırasında emisyon oluşması İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) açısından risk oluşturmaktadır. Şekil 5.3'de gösterildiği gibi hazne seviyesinin anlık izlenerek döküm arası sürenin maksimum düzeye çıkması ile çamurun kürleşmesi sağlanmıştır. Böylece, döküm açma sırasında kürleşmemeye bağlı emisyon riski azalmıştır.
- YF 'de döküm açma-kapatma işlemlerinde kullanılan sarf malzemeler; (döküm deliği çamuru, matkap ucu, matkap çubuğu, sıcaklık probu, numune kartuşu) tüketimleri döküm sayısı ile orantılı olup SHD üretim maliyetini etkilemektedir. Hazne seviyesine bağlı olarak dökümlerin ideal sürede açılması ile döküm süresi uzamış olup günlük döküm sayılarında azalma görülmüştür. Böylece, Çizelge 7.1.'de görüldüğü gibi optimum sürede açılmayan döküm sayılarının azalması ile sarf malzeme tüketim maliyetleri de azalmıştır.
- Yapılan bu tez çalışması ile Şekil-5.3'de görüldüğü gibi İSDEMİR A.Ş. 2.YF Seviye-2 Sistemi üzerinden haznedeki sıvı seviyesinin sürekli olarak izlenmesi sağlanmıştır. YF haznesindeki sıvı malzeme seviyesinin anlık olarak izlenmesi ile;
- ✓ Hazne modeli olmadan önce dökümler geç açılıyordu. Hazne modeli ile riskli açılan döküm sayısı oranı tez çalışması yapılmadan önce %27,12 iken tez çalışması kapsamında iyileştirme çalışmalarının başlaması ile 2020 yılında %14,15'e ve 2021 yılında ise %9,53'e düşmüştür. Bu YF'de optimum sürede açılmayan döküm sayısında azalmanın daha da artacağı öngörülmektedir. Böylece, olası tüyer yanması sonucu oluşan YF duruşlarının azalması sağlanarak üretim kayıplarının ve YF işletmesindeki problemlerin önüne geçilerek proses güvenliğine ve üretim sürekliliğine önemli fayda sağlamıştır.

- ✓ Bunun yanında tüyer yanmalarının önlenmesi sonucu; tüyer sarf malzeme maliyeti, tüyer değişimi, işçilik maliyeti, ekipman maliyeti ve tüyer değişimine bağlı YF duruşu sırasındaki yakıt tüketiminin %8 azalması sonucu yakıt maliyetlerinin de önüne geçilerek YF’de üretim ve maliyet bakımından verimlilik sağlanmıştır.
 - ✓ Dökümlerin zamanında açılması ile döküm sayıları %2 azalmıştır. Bu azalma sonucu ise döküm sırasında kullanılan sarf malzeme maliyetleri de azalarak SHD üretim maliyetine olumlu yönde katkı gerçekleştirmiştir.
 - ✓ Hazne sıvı seviye izleme sistemi ile döküm sırasında haznenin tam boşalması sağlanarak hazne refrakterlerinin daha az zarar görmesi sağlanmıştır.
 - ✓ Döküm sırasında cüruf gelme süresinin uzaması YF prosesinde sıkıntılara neden olabilmektedir. Hazne seviye izleme sistemi ile cüruf gelme süresine bağlı seviye yükselmesi izlenerek cüruf akışının hemen sağlanması için matkap vurma gibi ilave tedbirlerin daha hızlı alınması gerçekleştirilmiştir. Böylece cürufun geç gelmesine bağlı; hazne içinde cüruf seviyesinin artması, gaz dağılımının bozulması, cürufun brülörleri tıkanması, haznedeki SHD drenajını engelleme ve hazne içindeki metalurjik kokların üzerini kaplayarak sıcaklığın aniden düşmesi gibi hem proses hemde işletme sorunlarının önüne geçilmiştir. Şekil 5.6.’da görüldüğü gibi döküm sırasında SHD, cüruf ve toplam sıvı seviyesinin yükseklikleri zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Döküm başında sıvı seviyesi 2,2 m iken cüruf akışı başlayana kadar sıvı seviyesi 2,44 m’ye ulaşmıştır. Bu yüzden tüyer ile döküm arasındaki mesafe 2,8 m iken güvenli mesafe olan 2,2 m alınarak 60 cm güvenlik mesafesi dikkate alınmıştır.
- İki döküm arası sürenin etkin olarak hesaplanabilmesi için döküm sonunda SHD ve cüruf yok denecek kadar haznenin boş olması gerekmektedir. Bunun için ise YF prosesinin sürekli düzgün şekilde işleyebilmesi gerekmektedir. YF prosesinin düzgün olduğunun belirtisi SHD içindeki % Si oranının stabil olması ile anlaşılmaktadır. Mevcut şartlarda SHD içindeki % Si her dökümde alınan bir SHD numunesi ölçümü ile yapılmakta olup genel durumu yansıtması imkansızdır. Bunun için çalışma yaptığımız 2.YF de üretilen SHD’de deki anlık % Si tahmini çalışması ile YF prosesi hakkında daha önce bilgi sahibi olunacaktır. Böylece YF prosesi düzgün çalışması için yakıt ayarlaması gibi önlemlerin alınması ile iki döküm arası süre optimizasyon daha sağlıklı yapılacaktır.

- Günümüzde YF haznesinde, özellikle döküm deliği çevresindeki refrakterleri döküm sonunda ağırı üflemeye bağlı en çok ağınmaya maruz kalan yerlerdir. Bu olumsuz durumu önlemek için, döküm süresi tahmini ile YF'de üfleme olmadan döküm kapatılması sağlanabilir. Böylece döküm sonu YF'nin ağırı üflenmesi önlenerek, haznede oluğan zararların ve üfleme kaynaklı emisyonların önüne geçilmesi hedeflenmektedir.
- İki döküm arası sürenin optimizasyonunda, beğik oluk pozisyon ve torpedo seviye cihazlarından alınan veriler kullanılmığtır. Beğik oluk pozisyon ve torpedo seviye cihazlarından alınan değerler kullanılarak döküm sırasında torpedoların insansız otomatik dolması, torpedolardan SHD tağmasını önlemek için YF'nin otomatik olarak kapatılması gibi sistemler geliğtirilebilir. Böylece dökümhanede İSG açısından riskli olan yerlerde insansız alığma imkânı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Upadhyay, H. And Kundu, T. K. (2013). Drain rate and liquid level simulation in blast furnace hearth using plant data. International Scholarly Research Notices, 2013.
2. Hu, X., Sundqvist Ökvist, L., & Ölund, M. (2019). Materials Properties and Liquid Flow in the Hearth of the Experimental Blast Furnace. Metals, 9(5), 572.
3. İnternet: <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/>,
Son Erişim Tarihi: 03.04.2021
4. Demir Çelik Sektör Raporu (2020), T.C. Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı, Sektörel Raporlar - Sanayi Genel Müdürlüğü
5. Agrawal, A., Kor, S. C., Nandy, U., Choudhary, A. R., & Tripathi, V. R. (2016). Real-time blast furnace hearth liquid level monitoring system. Ironmaking & Steelmaking, 43(7), 550-558.
6. Roche, M. (2020). Modeling and analysis of blast furnace drainage.
7. He, K., Wang, L., & Li, X. (2020). Review of the Energy Consumption and Production Structure of China's Steel Industry: Current Situation and Future Development. Metals, 10(3), 302
8. İnternet: <http://matil.org/Uploads/Harita/Matil-Turkiye-Celik-Haritasi-2016.jpg>,
Son Erişim Tarihi:30.10.2021
9. İnternet: <http://celik.org.tr/> (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği),
Son Erişim Tarihi: 10.04.2021
10. İnternet:http://hkadtmk.org/Bildiriler/HKK2015,http://docs/sunumlar/sunumlar/A.YAV_UZ%20Y%C3%9CCEKUTLU.pdf, Son Erişim Tarihi: 10.04.2021
11. Liu, W., Shao, L., & Saxén, H. (2021). Experimental Study of Blast Furnace Hearth Drainage Based on Image Analysis. steel research international, 92(10), 2100142.
12. W. Liu, L. Shao, H. Saxén, Metals 2020, 10, 496.
13. Roche, M., Helle, M., Van der Stel, J., Louwerse, G., Storm, J., & Saxén, H. (2020). Drainage Model of Multi-taphole Blast Furnaces. Metallurgical and Materials Transactions B, 51(4), 1731-1749.K. Nishioka, T. Maeda, M. Shimizu, ISIJ Int. 2005, 45, 669.
14. K. Nishioka, T. Maeda, M. Shimizu, ISIJ Int. 2005, 45, 1496.
15. G. M. Park, D. J. Lee, J. H. Lee, H. S. Yoon, J. Comput. Fluids Eng. 2016, 21, 110.

16. M. Vångö, C. Feilmayr, S. Pirker, T. Lichtenegger, *Appl. Math. Model.* 2019, 73,
17. F. Bambauer, S. Wirtz, V. Scherer, H. Bartusch, *Powder Technol.* 2018, 334, 53.
18. Pinczewski, W.V.; Tanzil, W.B.U.; Hoschke, M.I.; Burgess, J.M. Simulation of the drainage of two liquids from a blast furnace hearth. *Tetsu-to-Hagane* 1982, 68, S111.
19. Tanzil, W.B.U.; Zulli, P.; Burgess, J.M.; Pinczewski, W.V. Experimental model study of the physical mechanisms governing blast furnace hearth drainage. *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.* 1984, 24, 197–205.
20. Tanzil, W.B.U. Blast Furnace Hearth Drainage. Ph.D. Thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia, 1985
21. Fukutake, T.; Okabe, K. Influences of slag tapping conditions on the amount of residual slag in the blast furnace hearth. *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.* 1976, 16, 317–323.
22. Iida, M.; Ogura, K.; Hakone, T. Analysis of drainage rate variation of molten iron and slag from blast furnace during tapping. *ISIJ Int.* 2008, 48, 412–419.
23. Nouchi, T.; Yasui, M.; Takeda, K. Effects of particle free space on hearth drainage efficiency. *ISIJ Int.* 2003, 43, 175–180.
24. Roche, M.; Helle, M.; van der Stel, J.; Louwerse, G.; Shao, L.; Saxén, H. Off-line model of blast furnace liquid levels. *ISIJ Int.* 2018, 58, 2236–2245.
25. Brännbacka, J.; Torrkulla, J.; Saxén, H. Simple simulation model of blast furnace hearth. *Ironmak. Steelmak.* 2005, 32, 479–486.
26. Roche, M.; Helle, M.; van der Stel, J.; Louwerse, G.; Shao, L.; Saxén, H. On-line estimation of liquid levels in the blast furnace hearth. *Steel Res. Int.* 2019, 90, 1800420.
27. Roche, M.; Helle, M.; van der Stel, J.; Louwerse, G.; Shao, L.; Saxén, H. On-line estimation of liquid levels in the blast furnace hearth. *Steel Res. Int.* 2019, 90, 1800420.
28. Nishioka, K.; Maeda, T.; Shimizu, M. Effect of various in-furnace conditions on blast furnace hearth drainage. *ISIJ Int.* 2005, 45, 1496–1505.
29. Zhou, Z.; Zhu, H.; Yu, A.; Zulli, P. Numerical investigation of the transient multiphase flow in an ironmaking blast furnace. *ISIJ Int.* 2010, 50, 515–523.
30. Bambauer, F.; Wirtz, S.; Scherer, V.; Bartusch, H. Transient DEM-CFD simulation of solid and fluid flow in a three dimensional blast furnace model. *Powder Technol.* 2018, 334, 53–64.

31. Inada T, Kasai A, Nakano K, et al. Dissection investigation of blast furnace hearth—Metalurjik kokura No. 2 blast furnace (2nd Campaign). *ISIJ Int.* 2009;49(4):470–478.
32. Kanbara K, Hagiwara T, Shigemi A, et al. Dissection of blast furnaces and their inside state. *Tetsu-to-Hagané.* 1976;62(5):535–546.
33. Jiao K, Zhang J, Liu Z, et al. Dissection investigation of Ti(C,N) behavior in blast furnace hearth during vanadium Titano-magnetite smelting. *ISIJ Int.* 2017;57(1):48–
34. Li K, Zhang J, Barati M, et al. Influence of alkaline (Na, K) vapors on carbon and mineral behavior in blast furnace cokes. *Fuel.* 2015;145:202–213.
35. Shimizu H, Sato KI, Kojima M, et al. Investigation of coke degradation behavior in blast furnace. *Tetsu-to-Hagané.* 1986;72(2):195–202.
36. Omori Y. (ed.). *Blast furnace phenomena and modelling.* London: Elsevier; 1987.
37. Pusz S, Krzesińska M, Majewska J, et al. Changes in a coke structure due to reaction with carbon dioxide. *Int J Coal Geol.* 2010;81(4):287–292.
38. Xiong Z, Syed-Hassan SSA, Hu X, et al. Pyrolysis of the aromatic-poor and aromatic-rich fractions of bio-oil: Characterization of coke structure and elucidation of coke formation mechanism. *Appl Energ.* 2019;239:981–990.
39. Donskoi E, Poliakov A, Mahoney MR, et al. Novel optical image analysis coke characterisation and its application to study of the relationships between coke Structure, coke strength and parent coal composition. *Fuel.* 2017;208:281–295.
40. Niwa Y, Sumigama T, Maki A, et al. Investigation of the behavior of hot metal, slag and coke in the vicinity of raceway and Deadman in a blast furnace. *Tetsu-to-Hagané.* 1990;76(3):337–344.
41. Kasai A, Iwakiri H, Kamijo T, et al. The inflow to a deadman of fine coke generated near the lower part of the shaft in a blast furnace. *Tetsu-to-Hagané.* 1997;83(9):551–556.
42. Jenkins D, Shaw D, Mahoney M. Fissure formation in coke. 3: coke size distribution and statistical analysis. *Fuel.* 2010;89(7):1675–1689.
43. Babich A, Senk D, Gudenau H. Effect of coke reactivity and nut coke on blast furnace operation. *Ironmak Steelmak.* 2009;36(3):222–229.
44. Roche, M., Helle, M., & Saxén, H. (2019). Principal component analysis of blast furnace drainage patterns. *Processes*, 7(8), 519.

45. Agrawal, A., Vishwakarma, R. K., Tripathi, V. R., Kothari, A. K., Prasad, B., Kumar, J., ... & Murthy, G. S. R. (2019). Improvement in casting practice by controlling the drainage rate and hearth liquid level to develop an efficient casthouse management practice in blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*, 46(4), 373-382.
46. Roche, M., Helle, M., van der Stel, J., Louwerse, G., Shao, L., & Saxén, H. (2019). On-Line Estimation of Liquid Levels in the Blast Furnace Hearth. *Steel research international*, 90(3), 1800420.
47. Shao, L. (2013). Model-based estimation of liquid flows in the blast furnace hearth and taphole.
48. Roche, M., Helle, M., van der Stel, J., Louwerse, G., Shao, L., & Saxén, H. (2018). Off-line model of blast furnace liquid levels. *ISIJ International*, ISIJINT-2018
49. Matsui, Y., Tadai, R., Ito, K., Matsuo, T., Nagai, N. & Imai, T. 2006, "Stabilization of Tapping Hole Length by Controlling Blast Furnace Raceway Depth", *Tetsu-to-Hagane*, vol. 92, no. 12, pp. 926-931.
50. Geerdes, M., Chaigneau, R., & Linguardi, O. (2020). *Modern Blast Furnace Ironmaking: An Introduction* (2020). Ios Press. Guo, B., Maldonado, D., Zulli, P.
51. İSDEMİR.A.Ş. Eğitim Notları
52. Roche, M.; Helle, M.; v. d. Stel, J.; Louwerse, G.; Storm, J.; Saxén, H. Drainage Model of Multi-taphole Blast Furnace. *Met. & Mater. Trans. B*, 2020, vol. 51, 1731–1749.
53. Kurpisz, K. 1988, "A Method for Determining Steady State Temperature Distribution within Blast Furnace Hearth Lining by Measuring Temperature at Selected Points", *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, vol. 28, no. 11, pp. 926-929
54. Babich, A. & Senk, D. 2019, 13 - Coke in the iron and steel industry, Woodhead Publishing.
55. Sun, H. 2005, "Analysis of Reaction Rate between Solid Carbon and Molten Iron by Mathematical Models", *ISIJ International*, vol. 45, no. 10, pp. 1482-1488.
56. Nightingale, R.J. 2000, The development and application of hearth voidage estimation and Deadman Cleanliness Index for the control of blast furnace hearth operation (doctoral thesis), University of Wollongong (Ausitralia).
57. Shao, L., Xiao, Q., Zhang, C., Zou, Z., & Saxén, H. (2020). Dead-Man Behavior in the Blast Furnace Hearth—A Brief Review. *Processes*, 8(11), 1335.
58. Gornostayev S, Härkki J. Mineral matter crystallization and crack formation in tuyere coke. *Fuel*. 2006;85(7–8):1047–1051.

59. Gornostayev S, Härkki J. Spinel crystals in tuyere coke. *Metall Mater Trans B*. 2005;36(2):303–305.
60. Vångö M, Feilmayr C, Pirker S, et al. Data-assisted CFD modeling of transient blast furnace tapping with a dynamic deadman. *Appl Math Model*. 2019;73:210–227.
61. Brännbacka J, Torrkulla J, Saxén H. Simple simulation model of blast furnace hearth. *Ironmak Steelmak*. 2005;32(6):479–486.
62. Sun, M. M., Zhang, J. L., Zhang, L., & Li, K. J. (2021). Investigation of the microstructure interaction mechanism of coke–slag–metal in deadman of blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*, 48(9), 1089-1093.
63. Pettersson, F., Saxén, H. & Hinnelä, J. 2005, "A Genetic Algorithm Evolving Charging Programs in the Ironmaking Blast Furnace", *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 20, no. 3, pp. 351-361.
64. Brännbacka, J. & Saxén, H. 2001, "Modeling the Liquid Levels in the Blast Furnace Hearth", *ISIJ International*, vol. 41, no. 10, pp. 1131-1138.
65. Cameron, I., Sukhram, M., Lefebvre, K. & Davenport, W. 2020b, Chapter 57 - Casting the Blast Furnace, Elsevier.
66. Torrkulla, J., Brännbacka, J., Saxén, H. & Waller, M. 2002, "Indicators of the Internal State of the Blast Furnace Hearth", *ISIJ International*, vol. 42, no. 5, pp. 504-511.
67. Dash, S.K., Ajmani, S.K., Kumar, A. & Sandhu, H.S. 2001, "Optimum taphole length and flow induced stresses", *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 28, no. 2, pp. 110-116.
68. Tsuchiya, N., Fukutake, T., Yamauchi, Y. & Matsumoto, T. 1998, "In-furnace Conditions as Prerequisites for Proper Use and Design of Mud to Control Blast Furnace Taphole Length", *ISIJ International*, vol. 38, no. 2, pp. 116-125. Ueda, S., Natsui,
69. Nishioka, K., Maeda, T. & Shimizu, M. 2005b, "A Three-dimensional Mathematical Modelling of Drainage Behavior in Blast Furnace Hearth", *ISIJ International*, vol. 45, no. 5, pp. 669-676.
70. Liu, W., Shao, L., Saxén, H. 2020, "Experimental Model Study of Liquid–Liquid and Liquid–Gas Interfaces during Blast Furnace Hearth Drainage." *Metals*, vol. 10, no. 4, p. 496.
71. Fu, D., Tang, G., Zhao, Y., D’Alessio, J., & Zhou, C. Q. (2016). Modeling of iron ore reactions in blast furnace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 77-86

72. <https://slideplayer.com/slide/4611227/>
73. Semenov, Y. S., Shumelchik, E. I., Vishnyakov, V. I., Nasledov, A. V., Semion, I. Y., & Zubenko, A. V. (2013). Model system for selecting and correcting charging programs for blast furnaces equipped with a bell-less charging apparatus. *Metallurgist*, 56(9), 652-657.
74. FURNACE, B. (1999). HOT BLAST STOVE PROCESS MODEL AND MODEL BASED CONTROLLER. *Iron and steel engineer*.
75. Lajtonyi, A. (2010). A gas cleaning system for blast furnaces. *Steel Times International*, 34(3), 39.
76. David, S. F., David, F. F., & Machado, M. L. P. (2016). Artificial neural network model for predict of silicon content in hot metal blast furnace. In *Materials Science Forum* (Vol. 869, pp. 572-577). Trans Tech Publications Ltd.
77. Agrawal, A., Kor, S. C., Nandy, U., Choudhary, A. R., & Tripathi, V. R. (2016). Real-time blast furnace hearth liquid level monitoring system. *Ironmaking & Steelmaking*, 43(7), 550-558.
78. Institute of Mining and Metallurgy, Furnace Tapping Conference, Muldersdrift, South Africa, 2014.
79. Roche, M., Helle, M., & Saxén, H. (2019). Principal component analysis of blast furnace drainage patterns. *Processes*, 7(8), 519.
80. Havelange, O., Danloy, G., & Venturini, M. J. (2004). Determination of the coke bed voidage in the blast furnace hearth
81. İnternet: http://www.wadeco.co.jp/en/products/microwave/appli/appli1_2.html,
Son Erişim Tarihi:30.10.2021
82. Mukherjee, T., & Chatterjee, A. (1996). Production of low phosphorus steels from high phosphorus Indian hot metal: Experience at Tata Steel. *Bulletin of Materials Science*, 19(6), 893-903.
83. İnternet: <https://sigmacenter.com.tr/minitab-istatistiksel-analizler-egitimi/>,
Son Erişim Tarihi:21.02.2022
84. İnternet: <https://gembaakademi.com/blog-minitab-nedir/>, Son Erişim Tarihi:25.02.2022
85. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2010). *Applied statistics and probability for engineers*. John Wiley & Sons.

DİZİN

A

akış hızı · xiii, 37, 50
 Alkali · 34
 Analiz · vi, xiii, xiv, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80,
 81, 83, 86

B

Beşik oluk · 46, 89
 Boudouard reaksiyonu · 31

C

CO gazı · 35, 70
 Cüruf · xiii, xiv, 36, 37, 38, 48, 50, 51, 53, 55, 56, 58,
 60, 65, 66, 67, 75, 76, 77
 Cüruf akış süresi · xiii, xiv, 76, 77

Ç

Çelik · vi, viii, 6, 7, 9, 13, 29, 92

D

Değişken metalurjik kok boşluğu · xiii, 62
 Demir cevheri · 7
 Döküm açma · 14, 27, 47, 72
 Döküm deliği · 27, 29, 50, 53, 55
 Drenaj · 28, 29, 37, 48
 Drenaj edilen sıvı malzeme miktarı · 29
 DRI · xiv, 7, 8

E

EAO · xvi, 7

F

Fark basınç · 44
 Fil ayağı · 24
 Fosfor · xv

H

Hava debisi · xiii, xiv, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 81, 86
 Hazne · xii, xiv, 14, 16, 17, 22, 23, 35, 36, 39, 43, 44,
 47, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
 68, 78, 80, 83, 87, 88
 Hazne hacmi · 54
 Hazne seviye izleme · 88

İ

İki döküm arası süre · xii, xiii, 5, 45, 47, 70, 88, 89
 İSG · xvi, 87, 89

K

Metalurjik kok · xiii, xiv, 17, 23, 39, 43, 44, 52, 53, 61,
 65, 66, 67, 78, 79, 80
 Metalurjik kok boşluğu · 23, 39, 53
 Metalurjik kok kalitesi · 17
 Kükürt · xv

M

Matkap · 43
 Matkap ucu · 43
 Minitab · vi, xiii, xiv, 11, 12, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75,
 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 85, 86
 Model · xii, 39, 41, 43, 71, 73, 76, 79, 92, 93, 94

O

Oksijen debisi · xiv, 83

Ö

Ölü adam · 24

P

PCI · vi, xvi, 13, 17, 23, 25, 79, 84

R

Raceway · 93

Regresyon analizi · 69

S

Sabit metalurjik kok boşluğu · 52

Seviye-1 · 46, 47, 55

Seviye-2 · 47, 48, 51, 88

SHD · vi, xii, xvi, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 73, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 87, 88, 89

SHD akış hızı · 42, 50

Sıvı seviyesi · 42

Silisyum · xv

Sinter · 33

spesifik oksijen tüketimi · 36

Ş

Şarj hızı · 54, 70

T

Test · 81, 83

Torpedo · xii, xiii, xiv, 37, 38, 40, 42, 46, 47, 48, 49, 50, 84

Torpedo izleme sistemi · 47

Torpedo seviye cihazı · 42

Tüyer · 23, 52, 54, 56, 61

Ü

Üretim · 36, 58, 65, 66, 67

Y

Yoğunluk · xv

YF · viii, xii, xvi, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 41, 45, 46, 52, 53, 56, 58, 63, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 83, 87



TEKNOVERSİTE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

