



**KOK SÖNDÜRME ARABASI FANLI TOZ  
BASTIRMA SİSTEMİ UYGULAMASI**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**İbrahim KARAARSLAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**KOK SÖNDÜRME ARABASI FANLI TOZ BASTIRMA SİSTEMİ  
UYGULAMASI**

**İbrahim KARAARSLAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2023**

İbrahim KARAARSLAN tarafından hazırlanan “KOK SÖNDÜRME ARABASI FANLI TOZ BASTIRMA SİSTEMİ UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 12/06/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Nafiz YAŞAR (DPÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

İbrahim KARAARSLAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KOK SÖNDÜRME ARABASI FANLI TOZ BASTIRMA SİSTEMİ UYGULAMASI**

**İbrahim KARAARSLAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**Haziran 2023, 84 sayfa**

Hava kirliliğinin en önemli sebebi kontrolsüz olarak atmosfere salınan tozlar ve gazlardır. Endüstriyel tesislerde de, üretime bağlı olarak imalat esnasında veya işletme sırasında meydana gelen toz partikülleri hem çevreyi hem de insan sağlığını tehdit etmektedir. Özellikle çalışma alanına yayılan ve gözle görülemeyen bu tozlar insan sağlığında önemli hasarlara yol açar. İnsan ve çevrenin sağlığı için ortama yayılan tozun toplanmasında eğer toplanamıyorsa bulunduğu ortamda bastırılmasının önemi çok büyüktür.

Bu tez çalışmasında; Kardemir A.Ş.' de kok fabrikalarında kok bataryalarında koklaşan kömürün itilmesi esnasında söndürme vagonetine düşerken havaya çıkan tozun fanlı sistem pulverize toz bastırma sistemi ile bastırılması anlatılmıştır.

Kok fabrikalarında başlıca toz ve emisyon kaynakları fırına kömür şarjı, fırından kok deşarjı esnasında olur. Yeni nesil kok fırınlarında bu durum kok bataryası inşaat aşamasında iken toz toplama üniteleri de kurularak giderilmeye çalışılmıştır. Ancak eski tip kok fırınlarının geometrisi bir toz toplama ünitesi kurulmasına müsaade etmemekte, oldukça ağır ve yaptırımli çevre mevzuatları ile fabrikaları baş başa bırakmaktadır. Bu nedenle bu tez’ de Kardemir A.Ş. de eski tip kok bataryalarında itme esnasında oluşan toz emisyonlarının giderilmesi için 2 adet söndürme vagoneti üzerine fanlı tip pulverize toz bastırma sistemi geliştirilmiştir.

Tesisin bu kısmında kullanılan toz bastırma ünitesinin çalışması ile havaya emisyon ave toz çıkmasını aynı zamanda da sağlıksız çalışma ortamını ortadan kaldırmış olduk.

**Anahtar Sözcükler :** Toz, toz bastırma sistemleri, fan, kok fabrikaları.

**Bilim Kodu** : 91419

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **COKE QUENCHING VAGON FAN DUST SUPPRESSION SYSTEM INSTALLATION**

**İbrahim KARAARSLAN**

**Karabuk University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Energy System Engineer**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**June 2023, 84 pages**

The most important cause of air pollution is dust and gases released into the atmosphere uncontrollably. In industrial facilities, dust particles that occur during production or during operation, depending on production, threaten both the environment and human health. These dusts, which are invisible and spread especially in the working area, cause significant damage to human health. For the health of people and the environment, it is very important to suppress the dust spread in the environment if it cannot be collected.

In this study, Kardemir A.Ş. The working principle of the online dust collection unit used in the casting part of the Blast Furnace-1 facility and the malfunctions that may occur during operation are mentioned. In case of malfunction or maintenance in the dust collection unit, the unit must stop and this causes the production to continue in an

unhealthy environment. The thing that needs to be done in order not to continue working in an unhealthy environment is to stop the facility in a planned manner and fix the malfunction. In this case, it causes loss of production.

In this thesis study; During the pushing of the coking coal in the coke batteries in the Coke Factories in Kardemir, the dust that falls into the air while falling into the extinguishing car is explained with the fan system pulverized dust suppression system.

The main sources of dust and emissions in coke plants are coal charge into the furnace and coke discharge from the furnace. In the new generation coke ovens, this situation was tried to be eliminated by installing dust collection units while the coke battery was under construction. However, the geometry of old-style coke ovens does not allow the establishment of a dust collection unit, leaving the factories alone with very heavy and sanctioned environmental regulations. Therefore, in this thesis, Kardemir A.Ş. A fan type pulverized dust suppression system was developed on 2 quenching wagons in order to eliminate dust emissions that occur during pushing in old-style coke batteries.

With the operation of the dust suppression unit used in this part of the facility, we have eliminated emissions and dust to the air, as well as an unhealthy working environment.

**Key Word** : Dust, dust suppression systems, Fan, coke plants.

**Science Code** : 91419



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana desteğini esirgemeyen, tez konusu ile ilgili araőtırılmasında ve oluşumunda bilgi ve tecrübelerinden sürekli yararlandığım, yönlendirmeleri ile tez çalışmasını bilimsel temeller çerçevesinde őekillendiren Sayın Hocam Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ'e teőekkürlerimi borç bilirim.

Çalışma hayatımda bana büyük katkıları bulunan Müdürüm Sn. Yılmaz ÜNAL Bey'e ve hayatımın her aşamasında desteğini hissettiğim hem eőim, hem iş arkadaőım Zeren KARAARSLAN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
KURAMSAL TEMELLER .....	4
2.1. ENTEGRE DEMİR VE ÇELİK TESİSLERİ .....	4
2.1.1. Demir ve Çelik Üretimi .....	5
2.1.2. Kok Fabrikaları .....	7
2.1.3. Sinter Fabrikaları .....	7
2.1.4. Yüksek Fırınlr .....	8
2.1.4.1. Üst Kısım .....	9
2.1.4.2. Gövde.....	10
2.1.4.3. Karın (Bosh) Bölgesi .....	10
2.1.4.4. Hazne .....	10
2.1.4.5. Şarj Tesisleri .....	11
2.1.4.6. Gaz Temizleme Tesisleri .....	11
2.1.4.7. Pik Makinaları.....	11
2.1.4.8. Döküm Holü.....	12
2.1.4.9. Cüruf Granüle Havuzu .....	12
2.1.4.10. Soğutma Sistemi ve Refrakterler .....	12

## **Sayfa**

2.1.4.11. Kömür Enjeksiyon Sistemi .....	12
2.1.5. Çelik Üretim Tesisleri .....	12
2.1.5.1. Konverterler .....	12
2.1.5.2. Mikronize Kireç Tesisi .....	13
2.1.5.3. Kükürt Giderme Tesisi.....	14
2.1.5.4. Sürekli Döküm Tesisi .....	14
2.1.5.5. Pota Fırınları .....	14
2.1.5.6. Vakum Altında Gaz Giderme .....	15
2.1.6. Haddehaneler .....	15
2.1.7. Enerji Tesisleri.....	16
2.1.8. Hava Ayrıştırma Tesisleri.....	17
2.2. KOK FABRİKALARI .....	18
2.2.1. Kömür Hazırlama Tesisi.....	19
2.2.2. Dairesel Stok Sahası .....	20
2.2.3. Kok Fırınları (Bataryalar).....	21
2.2.4. Kırma Eleme Tesisi .....	23
2.2.5. Yan Ürünler .....	23
2.2.5.1. Kok Gazı Tesisleri .....	25
2.2.5.2. Dekanter .....	25
2.2.5.3. Ön Soğutucu.....	25
2.2.5.4. Elektrofiltre .....	25
2.2.5.5. Egzoster.....	25
2.2.5.6. Son Soğutucu .....	25
2.2.5.7. Benzol Yıkama Kulesi .....	26
2.2.5.8. Amonyum Sülfat Tesisi .....	26
2.2.5.9. Benzol Fabrikaları.....	26
2.2.5.10. Katran Fabrikaları .....	27
2.2.5.11. Pres Naftalin Fabrikası.....	27
2.2.5.12. Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi .....	28
2.2.5.13. İleri Soğutma Tesisi .....	28
2.3. KOK SÖNDÜRME TEKNİKLERİ .....	28
2.3.1. Kuru Söndürme .....	29
2.3.2. Yaş Söndürme .....	30

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.3. CSQ [22].....	32
2.3.4. Söndürme Lokomotifi.....	33
2.3.5. Söndürme Vagonu .....	34
2.4. TOZ KAVRAMI .....	35
2.4.1. Toz Konsantrasyonu .....	35
2.4.1.1. Solunabilir (Respirable) Toz Ölçümleri.....	35
2.4.1.2. Toplam Toz (İnhalable) Ölçümleri .....	35
2.4.2. Toz Ölçme Metodolojisi ve Standartları.....	35
2.4.3. Toz Ölçümünde Sınır Değer .....	36
2.4.4. Toz Ölçüm Noktalarını Belirlerken Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar .....	36
2.4.4.1. Ortam Toz Ölçümleri.....	36
2.4.4.2. Ortam Toz Ölçümleri Yapılırken Olması Gereken Hususlar .....	36
2.4.5. Tozla İlgili Yönetmelik ve İşyerinin Uyması Gereken Zorunluluklar ...	37
2.4.5.1. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığında.....	37
2.4.6. Kimyasal Köken Olarak Organik ve İnorganik Tozlar.....	38
2.4.6.1. Organik Tozlar .....	38
2.4.6.2. İnorganik Tozlar.....	38
2.4.7. Biyolojik Etkileri Bakımından Başlıca Toz Sınıfları .....	39
2.4.7.1. Fibrojenik Tozlar .....	39
2.4.7.2. Toksik Tozlar .....	39
2.4.7.3. Kanserojen Tozlar .....	40
2.4.7.4. Radyoaktif Tozlar .....	40
2.4.7.5. Alerjik Tozlar .....	40
2.4.7.6. İnert Tozlar.....	40
2.4.8. Partikül Boyutlarına Göre Tozlar [28].....	41
2.4.8.1. Çok ince tozlar (0,1-50 µm) (Solunabilir Tozlar).....	41
2.4.8.2. İnce Tozlar (50-100 µm) (Toplam Solunabilir Toz).....	41
2.5. TOZ BASTIRMA SİSTEMLERİ .....	42
2.5.1. Toz Bastırma Çeşitleri .....	44
2.5.1.1. Sabit Dökülüşlerde Tozumaya Önlemek Amacı ile Kurulan Sistemler.....	44
2.5.1.2. Fanlı Tip Toz Bastırma Sistemleri.....	48
2.5.2. Fanlı Toz Bastırma Kullanım Alanları .....	50

	<u>Sayfa</u>
2.5.3. Avantajları .....	50
2.5.4. Toz Bastırma Tekniğinin Belirlenmesinde Esas Alınacak Faktörler .....	51
BÖLÜM 3 .....	52
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	52
BÖLÜM 4 .....	57
YÖNTEM.....	57
4.1. KOK SÖNDÜRME VAGONETİ FANLI TOZ BASTIRMA ÜNİTESİ .....	57
4.2. İTME ESNASINDA ÇIKAN TOZUN ÖZELLİKLERİ.....	58
4.3. TASARIM VE PROJELENDİRME ÇALIŞMALARI.....	58
4.4. SİSTEMİN EKİPMANLARI .....	59
4.4.1. Su Tankı.....	59
2.2.5.1. Kok Gazı Tesisleri .....	60
2.2.5.2. Dekanter .....	60
2.2.5.3. Ön Soğutucu.....	60
2.2.5.4. Elektrofiltre .....	60
2.2.5.5. Egzoster.....	60
2.2.5.6. Son Soğutucu .....	60
2.2.5.7. Benzol Yıkama Kulesi .....	61
2.2.5.8. Amonyum Sülfat Tesisi .....	61
2.2.5.9. Benzol Fabrikaları.....	61
4.4.2. Aksiyel Fan.....	62
4.4.3. Nozul.....	63
4.4.4. Ring (Halka) .....	66
4.4.5. Gövde.....	68
4.4.6. Pompa .....	68
4.4.7. Elektrik Motoru .....	70
4.5. SİSTEM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	70
4.6. TEST VE TOZ ÖLÇÜM METODU .....	73
4.6.1. Sistemin Çalışma Prensibi .....	73
4.6.2. Toz Ölçüm Metodu.....	73
4.6.3. Test Ölçüm Cihazı .....	74

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	76
İŞLEM ÇIKTILARI.....	76
5.1. TOZ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI.....	76
5.2. ENERJİ SARFIYATI VE MALİYETİ .....	76
5.3. YATIRIM MALİYETİ.....	77
5.4. GERÇEKLEŞME SÜRESİ .....	77
BÖLÜM 6 .....	78
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR .....	80
ÖZGEÇMİŞ .....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Sinter tesisi üretim şeması. ....	8
Şekil 2.2. Yüksek fırın kesiti şematik gösterimi. ....	9
Şekil 2.3. Bazık oksijen fırını (BOF) (Konverter) kesiti şematik gösterimi. ....	13
Şekil 2.4. Slab üretimi için sürekli döküm tesisi şematik gösterimi. ....	14
Şekil 2.5. Basit haddeleme şematik gösterimi. ....	15
Şekil 2.6. Haddeleme çeşitleri. ....	16
Şekil 2.7. Havadan oksijen ve azot üretimi şematik gösterimi ....	17
Şekil 2.8. Klasik Kok Bataryası Genel Görünümü ....	19
Şekil 2.9. Kömür Hazırlama Tesisi. ....	20
Şekil 2.10. Dairesel stok Sahası genel teknik resimi ....	21
Şekil 2.11. Kok bataryası Akım Şeması. ....	21
Şekil 2.12. KARDEMİR A.Ş Kok fabrikası bataryalarına ait bir görsel. ....	22
Şekil 2.13. Kok deşarj anına ait bir görsel. ....	22
Şekil 2.14. Kok kırma eleme tesisine ait bir görsel. ....	23
Şekil 2.15. Kok Fabrikaları Yan Ürün Tesisleri. ....	24
Şekil 2.16. Benzol tankları. ....	27
Şekil 2.17. Kok Kuru Söndürme Proses Şeması ....	29
Şekil 2.18. Kok yaş söndürme 3D projesi. ....	31
Şekil 2.19. CSQ sistemde kok yaş söndürme. ....	32
Şekil 2.20. Söndürme lokomotif. ....	33
Şekil 2.21. Söndürme vagonunun söndürme kulesine girdiği ana ait bir görsel. ....	34
Şekil 2.22. Toz yönetimi seçim süreci diyagramı. ....	42
Şekil 2.23. Sabit toz bastırma sistemi görüntüsü. ....	45
Şekil 2.24. Halka ring uygulaması şematik gösterimi. ....	46
Şekil 2.25. Kardemir’de Halka ring uygulaması ile toz bastırma. ....	47
Şekil 2.26. Fanlı toz bastırma ünitesi. ....	48
Şekil 2.27. Mobil fanlı toz bastırma sistemi şematik gösterimi. ....	49
Şekil 2.28. Kardemir’de sabit tip fanlı toz bastırma uygulaması. ....	50
Şekil 4.1. Kardemir kok bataryalarında kok itme esnasında havaya çıkan toz. ....	57
Şekil 4.2. Kok bataryaları toz toplama sistemi şematik gösterimi. ....	58

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 4.3. Su tankı teknik resmi. ....	62
Şekil 4.4. Aksiyel fan şematik görüntüsü.....	63
Şekil 4.5. Söndürme vagonuna toz bastırma sisteminin konumlandırılması .....	65
Şekil 4.6. Nozul teknik resmi.....	66
Şekil 4.7. Nozulları bağlanmış iç içe 2 ring şematik gösterimi. ....	67
Şekil 4.8. Fan gövdesi teknik resmi. ....	68
Şekil 4.9. Sistemde kullanılan dikey pompa özellikleri.....	69
Şekil 4.10. Elektrik Motoru teknik resmi.....	70
Şekil 4.11. Lokomotif tarafı fanlı toz bastırma sistemi genel görüntüsü. ....	71
Şekil 4.12. Uç taraf fanlı toz bastırma sistemi genel görüntüsü. ....	72
Şekil 4.13. Dust-rak II Aerosol Monitör. ....	74



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. 2021 yılına ait dünyadaki çelik üretimi ve ülkelere göre dağılımı .....	6
Çizelge 2.2. Kok fabrikaları yan ürünler kapasiteleri .....	24
Çizelge 2.3. Kok kalitesi özellikleri .....	28
Çizelge 4.1. Kok tozu özellikleri.....	58
Çizelge 4.2. Nozul seçim tablosu. ....	66
Çizelge 4.3. Sistem teknik özellikleri. ....	73
Çizelge 5.1. Toz ölçüm sonuçları.....	76

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

%	: yüzde
/	: bölme
°C	: santigrat derece
Ø	: çap
°	: derece
CO	: karbon mono oksit
Mt.	: milyon ton
m <sup>3</sup>	: metre küp
mm	: milimetre
kcal/Nm <sup>3</sup>	: kilo kalori/normal metreküp
t/h	: ton/saat
µ	: mikron
vb.	: ve benzeri
µg	: mikrogram
mg	: miligram
cm	: santimetre
µm	: mikrometre, mikron
µg/m <sup>3</sup>	: mikron/metreküp
s	: saniye
m <sup>3</sup> / h	: metre küp / saat
m / s	: metre / saniye

## **KISALTMALAR**

ATM	: Atmosfer
BOF	: Bazik Oksijen Fırını
ÇSGB	: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DCS	: Distributed Control System (Dağıtılmış Kontrol Sistemi)
HKİ	: Hava Kalite İndeksi
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KG	: Kok Gazı
MMT	: Milyon metrik ton
PC	: Pulverize Kömür
PM	: Parikül Madde
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YF	: Yüksek Fırın
SHD	: Sıvı Ham Demir

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Temiz hava, içeriğinde azot %78 ,oksijen %21 ve su buharı,toz ve gazların %1 oranında bulunduğu havaya denir. İnsanoğlunun faaliyetleri ve bazı doğal yada doğal olmayan süreçler ile niteliğinin değişmesi, doğal olarak bileşiminde bulunan ana maddelerin miktarının değişmesi olayına da hava kirliliği denir. Tanımı yapılan temiz hava içerisindeki kirletici maddeler belirli bir sınır değer üzerinde bulunuyor ise hava kirliliği söz konusudur. Dünyada sanayinin hızlı gelişmesi sonucunda hava kirliliğinde ciddi bir artma olmuş, bu çevre ve canlıların sağlığı açısından önem kazanmıştır.Kontrolsüz bir şekilde atmosfere salınan toz ve emisyon çevrenin kirlenmesinin en bariz sebebidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), hava kirliliğini "İnsanlar, hayvanlar, bitkiler yada madde üzerine zarar verebilen veya canlıların konforunu ve maddeyi aşırı şekilde etkileyen toz, kum, kül, kurum, is, duman, gaz, sis, pus, buhar, veya koku gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak atmosferdeki varlığıdır." olarak tanımlamıştır [1].

Hava kalitesini etkileyen en önemli etmenlerden bir tanesi de Partiküler madde (PM)'dir. Partikül maddede kimyasal reaktivite ve difüzyon özellikleri farklılık gösterir [2]. PM miktarı, 1 m<sup>3</sup> havada bulunan partiküllerin sayısıdır. Temiz oda ve çalışma ortamlarında partikül miktarı gram iken bu birim üretim yapan tesislerde µg veya mg olarak ifade edilmektedir [3].

Çapa göre kaba ve ince tanecikler olarak iki sınıfta tanımlanmışlardır. 2,5 µm. çapından küçük olanlar ince tanciklerdir ve mikroskop ile görülebilirler. İnce tanecikli partiküllerin oluşumuna sebep olan faktörler, orman ve tarımsal yangınlar, motorlu araçların egzoz salınımı, endüstriyel işlemler, enerji santralleri, vb. sıralanmaktadır. Kaba tanecikli partiküller ise 2,5 ile10 µm arasındaki çaplara sahip olanlar olarak sınıflandırılırlar. Partikül madde miktarı insan sağlığına ço zarar vermektedir.İnsan

sağlığı üzerindeki etklileri parikül ebatlarına göre farklılık göstermektedir. İnsan sağlığı açısından ince partiküllü maddeler kaba partiküllü maddelere göre daha tehlikelidir. 10 µm' den büyük partiküller burunda tutulabilirken, 10 µm' den küçük partiküller akciğerlerde birikmekte, 1-2 µm çapındaki partiküller alveoller, 0.1 µm çapında olanlar ise alveollerden intrakapiller aralığa difüze olabilmektedir [4].

HKİ, hava kalitesinin günlük olarak rapor edildiği bir göstergedir. Bulduğumuz bölgede havanın ne kadar temiz ya da ne kadar kirli olduğu ile ilgili ve ayrıca ne tür sağlık problemlerinin oluşabileceği veya mevcut sağlık problemlerinin nasıl etkileneceği konusunda bilgiler verir. Hava kalite indeksi, kirli havaya maruz kalınmasından birkaç saat sonra veya birkaç gün içerisinde ortaya çıkacak sağlık etkilerini gösterir. Taneciksel kirlilik ise havada askıda bulunan katı tanecikler ve sıvı damlacıkların karışımıdır. Ayrıca PM tanecik madde olarakta tanımlanır.

Çizelge 1.1. Taneciksel madde kirliliğine bağlı hava kalitesi indeksi [5].

HKİ	Seviye	İkazlar
0 ~ 50	İyi	Yok
51 ~ 100	Orta	Hassas olan kişiler nadiren de olsa, uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmayı dikkate almalıdır.
101 ~ 150	Hassas canlılar için sağlıklı	Solunum yolu hastalığı ve/veya kalp rahatsızlığı olan kişiler, yaşlı ve çocuklar uzun süreli ve yoğun efordan kaçınmalıdır.
151 ~ 200	Sağlıksız	Solunum yolu hastalığı ve/veya kalp rahatsızlığı olan kişiler, yaşlı ve çocuklar uzun süreli ve yoğun efordan kaçınmalı, bunun dışında kalan herkes, uzun süreli ve yoğun efor sarfını azaltmalıdır.
201~ 300	Aşırı sağlıklı	Solunum yolu hastalığı ve/veya kalp rahatsızlığı olan kişiler, yaşlı ve çocuklar dış ortamda yapılan fiziksel aktivitelerden kaçınmalı, bunun dışında kalan herkes, uzun süreli ve yoğun efor sarfından kaçınmalıdır.
301~ 500	Tehlikeli	Solunum yolu hastalığı ve/veya kalp rahatsızlığı olan kişiler, yaşlı ve çocuklar evlerinde kalmalı ve aktivite seviyelerini en düşükde tutmalıdır. Bunun dışında kalan herkes, dış ortamda yapılan tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdır.

Hava kalite indeksinin hesaplanması, havadaki kirleticilerin derişikliklerini kayıt altına alınan ölçüm cihazları ile oluşan bir ağ yardımı ile ölçülür. Bu ölçülen değerler nihai değerler olmayıp, daha gelişmiş formüller kullanılarak hava kalitesi indeksine çevirmektedir. Bölgede bulunan ayrı ayrı her kirletici için ayrı ayrı hava kalitesi indeksi değeri hesaplanmaktadır.

Endüstriyel tesislerde; üretim, transport, paketlenme vb. süreçlerde ortaya çıkan tozlar çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çıkan tozlar ya toz toplama sistemleri ile toplanır ya da toplanamayan yerlerde ise toz bastırma sistemleri ile olduğu yerde bastırılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında, çalışmamızın amacı Kardemir A.Ş. 'de kok fabrikalarında fırın itilmesi esnasında ortaya çıkan tozların, söndürme vagonuna toz bastırma sistemi kurularak ortadan kaldırılmasıdır.

## BÖLÜM 2

### KURAMSAL TEMELLER

#### 2.1. ENTEGRE DEMİR VE ÇELİK TESİSLERİ

Demir ve çelik tesisleri; Demir cevherinin yüksek fırınlarda yüksek ısılarda işlenmesi veya hurda çelik parçalarının elektrik ark ocaklarında eritilmesiyle oluşacak levha, blum veya kütükten sonra piyasada istenilen kimyasal ve fiziksel özelliklerde mamul ve yarı mamul üreten büyük ölçekli fabrikalardır [6].

Türkiye'deki sanayileşmenin ilk adımı olarak 1935 yılında Mustafa Kemal Atatürk tarafından Karabük Demir Çelik Fabrikalarının temelleri atılmaya başlamıştır. Türkiye'nin ilk ağır sanayi tesisi olduğu için çok önemli olan bu tesis herhangi bir savaşta "1 top atımı kadar uzakta tabiri" ile deniz kenarı şehirler tercih edilmeyerek Zonguldak'ta bulunan kömür madenlerine yakınlığı ve demiryolu güzergahında bulunduğu için o zamanlar çeltik tarlası durumundaki 13 haneli Karabük köyü yakınına kurulmuştur. 3 Nisan 1937'de kurulmaya başlayan tesis 1939'da ilk Türk demirini dökmüştür. O yıllarda 150.000 ton çelik üretimi yapan tesisin hemen ardından 1960 yılında Ereğli Demir Çelik Fabrikaları ve 1975 yılında İskenderun Demir Çelik Fabrikaları kurulmuştur. Daha birçok tesisi kuran bu fabrika daha sonrasında "fabrikalar yapan fabrika" unvanını almıştır.

Demir Çelik Sektörü, dünyada çelik tüketicisinin her geçen gün artması ile birlikte çelik üretimi çeşitliliğinin genişlemesi ve yurtdışına satışı da dikkate alındığında ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Entegre demir ve çelik tesislerinde hammadde olarak kok ve demir cevheri kullanılmaktadır. Kok fabrikalarında 1 ton kömürden 800 kg kok elde edilirken, yüksek fırınlarda 1,5 ton cevher ve 500 kg koktan 1 ton sıvı ham çelik üretilebilmektedir.

### 2.1.1. Demir ve Çelik Üretimi

Demir çelik üretimi, hammaddeden yarı mamul ve mamul üretimine kadar bir takım operasyonlar yürüten tesisler ile olmaktadır. Entegre demir ve çelik tesisleride demir cevherinin hammadde olarak kullanıldığı, öncelikle pik ve sıvı çeliğin, ardından nihai mamullerin üretildiği tesislere verilen isimdir. Prosesi farklı olan demir çelik fabrikalarında cevherden başka hurda çelikte de kullanılmaktadır. Ülkemiz dünyanın en büyük hurda tüketicisi konumundadır. Entegre demir çelik tesisleri sinter fabrikası, kok fabrikası, yüksek fırınlar, çelikhane, haddehane, enerji tesisleri, hava ayırıştırma tesisleri gibi tesislerden oluşmaktadır. Entegre demir ve çelik tesislerini diğer tesislerden ayıran en önemli fark yüksek fırınlardır. Bu tesisler, doğadan toz veya parça halde alınan demir cevherinin, fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilerek, kok fabrikalarında elde edilen metalürjik kok ile reaksiyona girmesi sonucu demir sıvı ham demirin üretildiği tesislerdir. Bu sıvı ham demir yüksek fırınlardan pota veya torpidolarla çelikhaneye gönderilerek çelik üretimi gerçekleştirilir. Çelikhane istenilen kaliteye göre ferroalyajlar katılarak üretilen haddelenmiş ürüne göre kütük, blum, profil taslağı, maden direği veya levha dökülmektedir. Buradan nihai ürün için haddehanelere gönderilir. Ükelere göre dünya çelik üretimi Çizelge 2.1'de verilmektedir.



Çizelge 2.1. 2021 yılına ait dünyadaki çelik üretimi ve ülkelere göre dağılımı [7].

<b>Dünya Ham Çelik Üretimi (MMT)</b>				
<b>Sıra</b>	<b>Ülke</b>	<b>2021</b>	<b>2020</b>	<b>% Değişim</b>
1	ÇİN	1032,8	1064,7	-3,0
2	HİNDİSTAN	118,0	100,0	17,8
3	JAPONYA	96,0	83,1	15,8
4	ABD	86,2	72,4	18,3
5	RUSYA	76,0	71,5	6,1
6	GÜNEY KORE	70,0	67,0	5,2
7	<b>TÜRKİYE</b>	<b>40,3</b>	<b>35,8</b>	<b>12,7</b>
8	ALMANYA	40,6	35,6	12,3
9	BREZİLYA	36,1	31,5	14,7
10	İRAN	28,5	29,4	-1,8
11	İTALYA	24,4	20,4	19,7
12	VİETNAM	23,6	19,9	18,4
13	TAYVAN	23,3	21,0	10,9
14	UKRAYNA	21,4	20,6	3,6
15	MEKSİKA	18,4	16,8	9,5
16	İSPANYA	14,0	11,0	27,7
17	FRANSA	13,9	11,6	20,3
18	KANADA	12,8	11,0	16,2
19	ENDONEZYA	12,5	12,9	-2,9
20	MISIR	10,3	8,2	25,1
21	SUUDİ ARABİSTAN	8,7	7,8	12,3
22	POLONYA	8,4	7,9	6,5
23	AVUSTURYA	7,9	6,8	17,1
24	İNGİLTERE	7,4	7,1	3,9
25	BELÇİKA	7,0	6,1	13,6
26	HOLLANDA	6,6	6,1	9,4
27	MALEZYA	6,5	6,6	-1,8
28	AVUSTRALYA	5,8	5,5	6,0
29	TAYLAND	5,6	4,5	25,8
30	BANGLADEŞ	5,5	5,5	0,0
31	PAKİSTAN	5,3	3,8	39,9
32	GÜNEY AFRİKA	5,0	3,9	29,5
33	ARJANTİN	4,9	3,7	33,5
34	SLOVAKYA	4,9	3,4	41,2
35	ÇEKYA	4,8	4,5	7,9
36	İSVEÇ	4,7	4,4	6,1
37	KAZAKİSTAN	4,4	3,9	12,5
38	FİNLANDİYA	4,3	3,5	24,1
39	CEZAYİR	4,0	4,0	0,0
40	ROMANYA	3,4	2,8	21,8
41	DİĞER	36,2	34,0	6,4
<b>GENEL TOPLAM</b>		<b>1905,5</b>	<b>1880,4</b>	<b>3,7</b>

Bir entegre demir-elik tesisi aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır [8].

### **2.1.2. Kok Fabrikaları**

nc bölümde daha detaylı olarak açıklandığı üzere yüksek fırınların metalürjik kok ihtiyacını karşılamak üzere kurulan tesislerdir.

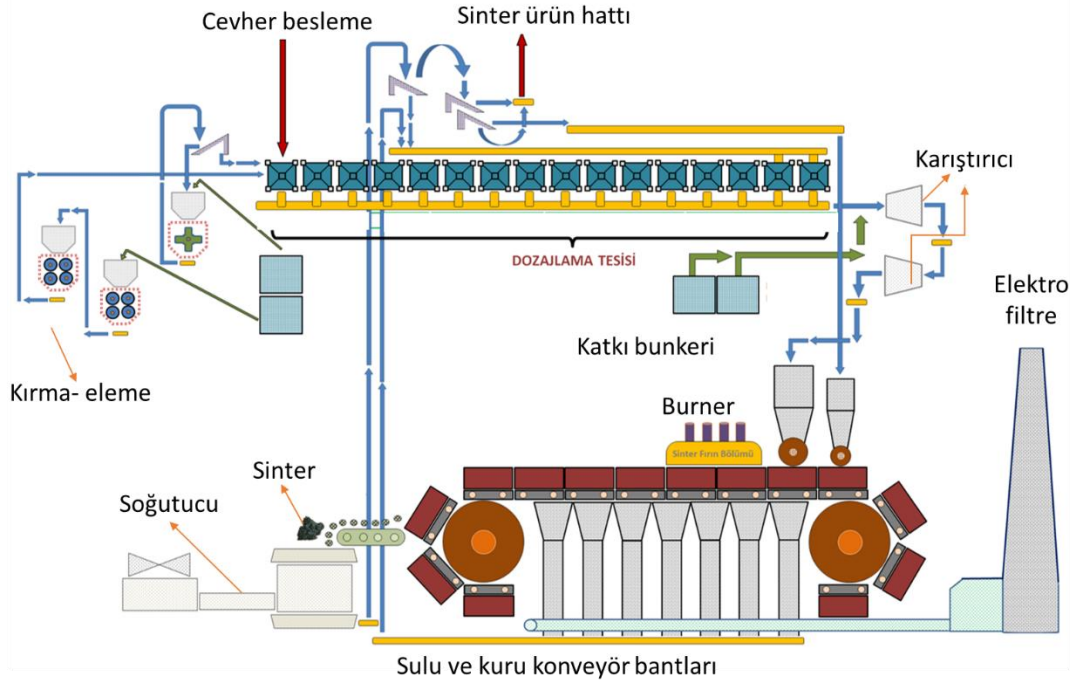
### **2.1.3. Sinter Fabrikaları**

Demir cevherlerinin aglomerasyonunda en çok kullanılan yöntemdir. Aglomerasyon; çok ince toz zerreciklerinin bir araya gelerek daha büyük parçalar oluŐturmasına verilen addır.

Yüksek Fırına Şarj edilecek cevher standardı 10–50 mm'dir. Bu standart dışında olan 0–10 mm'lik toz cevherlerin irileŐtirilerek standarda uygun hle getirilmesi ve direkt olarak kullanılmayan kükürtlü cevherlerin kükürtten arındırılması amacıyla sinter (piŐirme) işlemi yapılır. Şekil 2.1 'de sinter fabrikası retim Şeması verilmiştir.

Bir hammadde olan cevher sinterlenirken ki amaçlar;

- Boyutları kk yani toz halindeki cevheri yüksek fırına Şarj edilebilir boyutlara getirmek,
- Cevherde bulunan kükürt miktarını düŐürmek,
- Yüksek Fırınlarda kullanılabilir, indirgenme kabiliyeti ve mukavemeti yüksek, ufalanmaya karşı dayanıklı Şarj malzemesi elde etmek ve bu sayede verimi arttırıp işletme duruŐlarını en aza indirmektir.



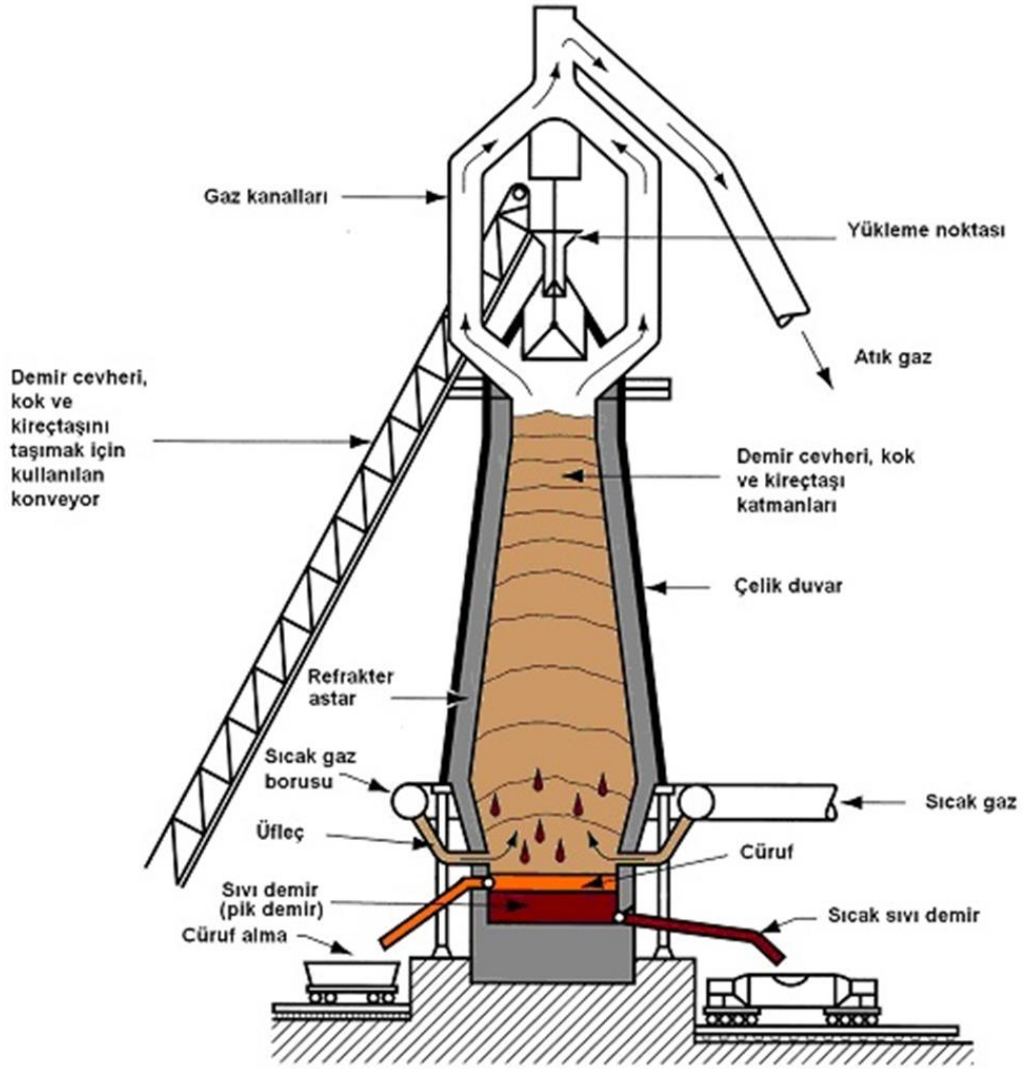
Şekil 2.1. Sinter tesisi üretim şeması.

#### 2.1.4. Yüksek Fırımlar

Bir takım endüstriyel işlemlerden geçmiş hammaddelerin (sinter, cevher, pelet) metalurjik kokun yanması sonucu oluşan karbon monoksiti indirgeyip ortaya çıkan ısı ile eriterek sıvı ham demir (SHD) üreten tesislerdir. Şekil 2.2’de yüksek fırın şematik kesiti verilmiştir.

Bir Yüksek Fırın şu kısımlardan oluşmaktadır:

- Üst Kısım
- Gövde
- Bel
- Karın
- Hazne



Şekil 2.2. Yüksek fırın kesiti şematik gösterimi.

#### 2.1.4.1. Üst Kısım

Fırının üst kısmında bunker, çan ve çan kapak sistemi veya mufsuз yani çansız tepe sistemi vardır. Ayrıca yüksek fırın gazları da buradan atılmaktadır. Bu kısımdaki çan kapakları ile gaz sızdırmadan yüksek fırına şarj edilir. Bu sistem sayesinde hammadde üst bölgeden içeriye gönderilir. Isınma sonucu malzemelerin ve gazın hacmi arttıkça, rahat bir hareket için gövdenin çapı aşağı doğru genişler.

#### **2.1.4.2. Gövde**

Fırının aşağıya doğru geniŐleyen kısmına denir. Bu kısımda kok ve cevher karıŐımı aşağı doğru hareket eder.

Bel: Gövdenin bittiği yerde baŐlar ve çapı sabit olan bel bölgesi fırının en geniş bölgesidir. Cüruf ile metalin ergimesi ve sonuç olarak hacimlerinin azalması bu bölgede baŐlar.

#### **2.1.4.3. Karın (Bosh) Bölgesi**

Koniktir. Üst kısım bel ile alt kısım ise hazne ile birleŐtirilmiŐtir. Ocağın alt kısmında tekrar daralmaya baŐlar. Kısmi ergitmeyi sağlamak için bu bölümdeki fırın hacmi küçüktür. Erime işlemi ve son cüruf oluŐum süreci karın bölgesinde tamamlanır. ErimiŐ metal ve cüruf, karın altında bulunan ve sabit bir çapa sahip hazne bölgesinde birikir. Fırın Şekil ve bölümlerinin boyutları; alıŐma Şekli hava sıcaklığına ve kullanılacak malzemenin cinsine göre deđiŐir. Malzemenin serbestçe hareket edebilmesi ve yükselen gazın fırın çapı boyunca malzeme ile çok iyi ve düzenli bir Şekilde temas edebilmesi için bu boyutların dikkatle belirlenmesi gerekir.

#### **2.1.4.4. Hazne**

Fırının alt kısmındaki silindirik kısımdır. İçinde cüruf ve sıvı demir birikir. Haznenin st kısmına 36-44 adet bakırdan yapılmış üfleme boruları yerleştirilmiştir. Su ile soğutulan bu borular, tyerler yardımıyla fışına hava üflemek için kullanılır. Biraz daha aşağıda yine su soğutmalı bakır borulardan yapılmış cüruf tahliye delikleri var. Haznenin alt kısmında ham demirin boŐaltılması için kullanılan bir delik bulunmaktadır. Bu delik her deŐarjdan sonra refrakter malzeme ile tıkanır.

Bir yüksek fırının çalıŐabilmesi için en az yüksek fırın kadar önemli olan bir de yardımcı tesisleri vardır. Bunlar;

#### **2.1.4.5. Şarj Tesisleri**

Yüksek Fırına beslenen tüm hammaddelerin silolarda stoklandığı ara tesistir. Bunkerlere alınan tüm hammadde elenerek ve tartılarak fırına şarj edilmektedir.

Şarj tesisine hammadde;

- Sinter Tesisinden,
- Primer Sahadan (Pelet ve Parça Cevher) ve
- Kok Fabrikasından gelmektedir.
- 

#### **2.1.4.6. Gaz Temizleme Tesisleri**

Yüksek Fırına üflenen hava fırın içinde çeşitli reaksiyonlara girdikten sonra gazlaşıp bazı yabancı partiküller ile fırını terk etmektedir. Bu nedenle Yüksek Fırın Gazı kullanımdan önce 2 kademede temizlenmeye tabi tutulmaktadır.

Sobalar: Yüksek Fırın Sobaları, fırın içerisinde kokun yanmasını sağlayan sıcak havanın elde edilmesinde kullanılan ve yakıt olarak Yüksek Fırın Gazı kullanan bir tür ısı eşanjörleridir. Sobalar, çelik zırh içerisinde, tuğladan örülmüş bir ızgaradan oluşmuştur. Soba duvarı ilk olarak Yüksek Fırından çıkan gazlarla yaklaşık bir saat kadar ısıtılır. Tuğlaların ısınma işlemi sona erdikten sonra sobaya hava üflenir. Tuğlaların sıcaklığı sayesinde 100 °C'deki soğuk hava yaklaşık 1.100 °C'a kadar ısınır.

#### **2.1.4.7. Pik Makinaları**

Çelikhane ihtiyacından fazla sıvı ham demir üretimi olması, sıvı ham demir kalitesi ve satış talebine göre, sıcak metalin 25-50 kg'lık külçeler haline getirildiği ve piyasa ihtiyacına sunulduğu tesislerdir.

#### **2.1.4.8. Döküm Holü**

Yüksek Fırında üretimi yapılan sıvı ham demirin (SHD) ve cürufun bir kanal vasıtası ile pota ya da torpidoya alındıkları yere verilen addır. Pota ya da torpidoya alınan sıvı ham demir buradan çelikhaneye gönderilir.

#### **2.1.4.9. Cüruf Granüle Havuzu**

Genellikle döküm holünün hemen yanında bulunan granüle cüruf havuzları, sıcak akar haldeki cürufun kanallar vasıtasıyla ulaştırıldığı ve su ile granüle edildiği tesistir. Üretilen granüle cüruf çimento hammaddesi olarak çimento fabrikalarına satılmaktadır.

#### **2.1.4.10. Soğutma Sistemi ve Refrakterler**

Yüksek fırındaki tepkimelerden sonra oluşan ısı tüyerin önünde (yanma bölgesinde) 2200 °C civarında ve fırının üstünde (hammadenin fırına ilk girdiği yer) yaklaşık 150 °C'dir. Sobalarında sıcaklık 1250 °C civarındadır. Bu yüksek sıcaklıklar nedeni ile soba ve fırınlarda ısıya maruz kalan malzemelerin soğutulması gereklidir.

#### **2.1.4.11. Kömür Enjeksiyon Sistemi**

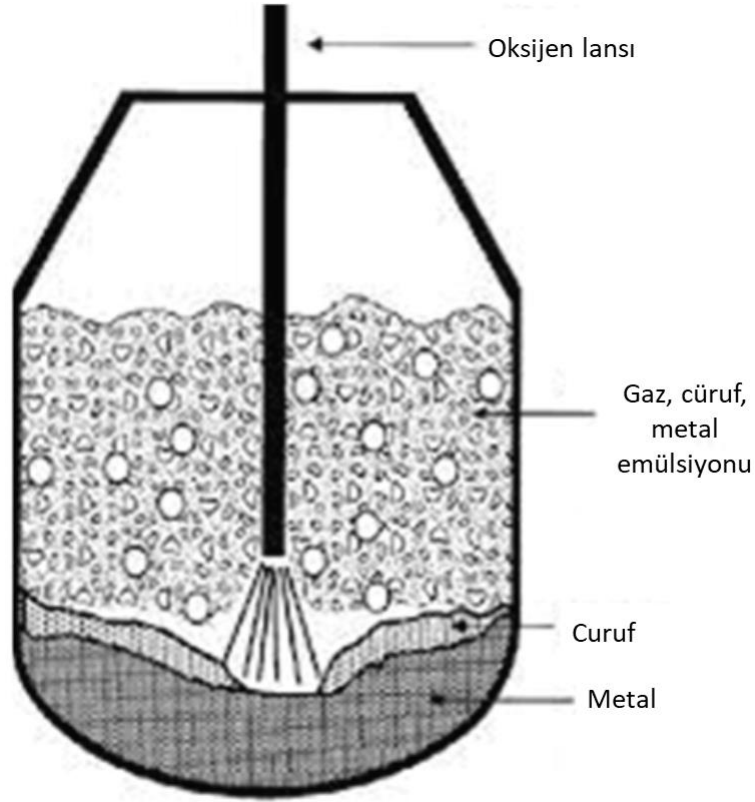
Satın alınan koklaşma özelliği olmayan kömürler (Pulverize kömür), bu tesiste öğütülüp, kurutularak fırınlarda kullanılacak hale getirilir. Ardından fırınların yanma bölgesine ilave yakıt olarak enjeksiyonu yapılmak üzere gönderilir.

### **2.1.5. Çelik Üretim Tesisleri**

#### **2.1.5.1. Konverterler**

Bazık Oksijen Fırını (konvertör) işlemi, ihtiyaç duyduğu enerjiyi, işlem sırasında meydana gelen ekzotermik reaksiyonlar sonucunda üretebilir. BOF'lar bu özellikleri ile Elektrik Ark Ocaklarından (EAO) ayrılmaktadır. BOF için temel hammaddeler,

yüksek fırından çıkan %70-80 sıvı ham demir ve geri kalan miktarda çelik hurdadır. Bu ham maddeler konvertöre şarj edilir. Ardından, dönüştürücüye yüksek basınçta %99,5'ten fazla saf oksijen üflenir. Yüksek basınçta üflenene oksijen, sıvı metaldeki karbon ve silikayı okside ederek yüksek sıcaklıkların açığa çıkmasına neden olur. Ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar yüklü hürdanın erimesine neden olur. Şekil 2.3'de dönüştürücü kesit resmi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.3. Bazık oksijen fırını (BOF) (Konverter) kesiti şematik gösterimi.

#### 2.1.5.2. Mikronize Kireç Tesisi

Mikronize Kireç Tesisi, kalsinasyon sonucu çıkan Metalurjik kirecin yanında oluşan elek altı 0-5 mm ebadındaki toz kirecin döner değirmende öğütülerek mikron kireç seviyesine getirildiği tesistir. Mikronize kireç, Kükürt Giderme Tesisine tanker vasıtasıyla gönderilir ve siloda depolanır. Granüle magnezyum ile mikronize kireç sıvı madende kükürt tasfiyesi için kullanılır.

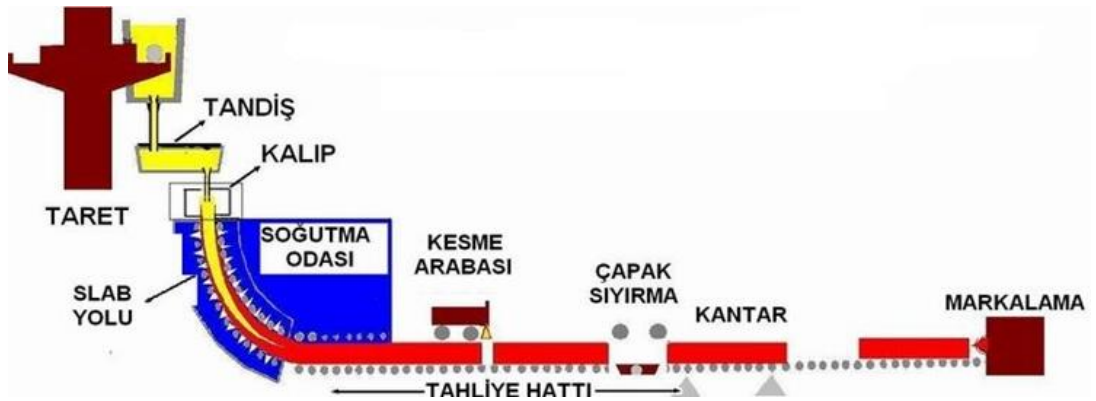


### 2.1.5.3. Kükürt Giderme Tesisi

Kükürt, çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkileyen ve darbe mukavemetini düşüren bir elementtir. Çeliğin sünekliğini ve tokluğunu ciddi bir şekilde azaltması yanında, mangan ile dengelenmediği durumlarda FeS bileşiğinin oluşmasına yol açtığı için, yüksek sıcaklıkta çeliğin kırılma eğilimine yol açmaktadır. Malzemenin sertleşebilirliğini ve kaynaklanabilirliğini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle çelik içinde istenmez ve miktarı sınırlıdır. Normalde izin verilen miktar en fazla %0,025-0,050 arasındadır.

### 2.1.5.4. Sürekli Döküm Tesisi

Çelik, yassı ürün(sac) veya çubuk ve kangaş olarak kullanılmak üzere levha veya kütük olarak şekillendirilir. Şekil 2.4 de slab üretimi için kurulmuş olan bir sürekli döküm tesisinin şematik gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.4. Slab üretimi için sürekli döküm tesisi şematik gösterimi.

### 2.1.5.5. Pota Fırınları

Konverterlerden çıkarılarak tekrar potalara alınan sıvı çeliğin istenilen kalite ve sıcaklığa getirilmesini sağlayan tesislerdir. Çelik üretimi ile döküm arasındaki kritik bir tesistir ve ayrı bir istasyonda uygulanan son çelik yapım işlemlerini kapsar.

Pota metalürjisi terimi, çelik sürekli döküme beslenmeden önce başka bir istasyonda gerçekleştirilen çelik üretim işlemlerini kapsar. Normal alaşımlama veya döküm

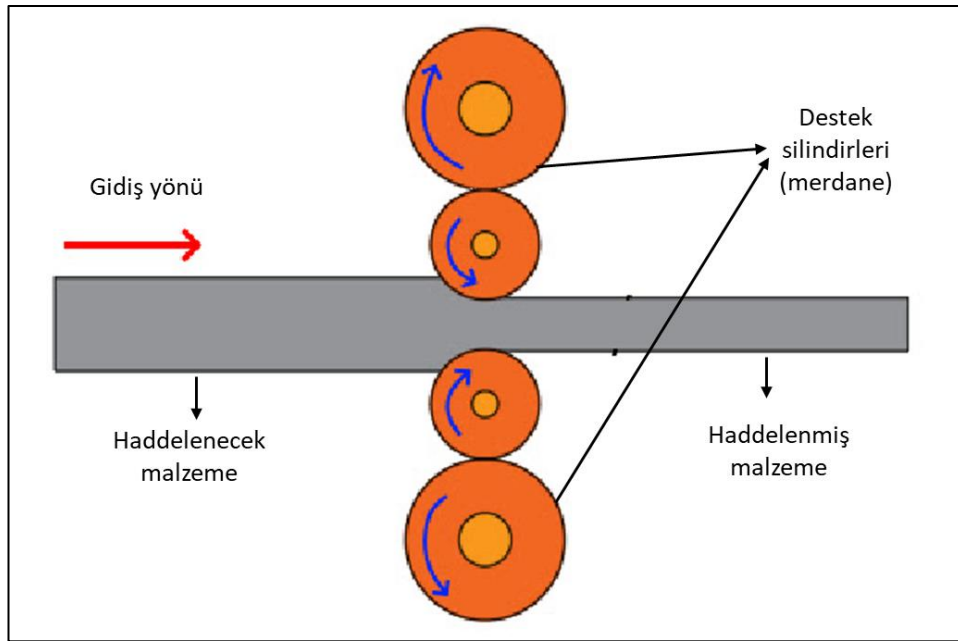
sırasında potada yapılan alaşımlama işlemleri pota metalürjisi kapsamında değerlendirilmez. Çelikte istenilen kimyasal bileşimin sağlanması ve müşteri taleplerinin karşılanabilmesi için çelikte bulunan bazı elementlerin uzaklaştırılması ve bir kısmının ortama katılması gerekir. Çelikte bulunan zararlı safsızlıklar fosfor, kükürt, hidrojen, oksijen ve nitrojendir.

#### 2.1.5.6. Vakum Altında Gaz Giderme

Vakumlu Gaz Giderme Tesisi, sıvı çelikte çözülmüş gazların (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) konsantrasyonunu azaltmak için kullanılır. Aynı zamanda sıvı çelik bileşimini ve sıcaklığını katı hale getirir, sıvı çelikteki oksit kalıntılarını ayırır ve nihai kükürt giderme için gerekli teknik koşulları yaratır.

#### 2.1.6. Haddehaneler

Malzemelerin kendi eksenine etrafında dönen iki veya daha fazla silindirik malzeme arasından geçirilerek şekillendirme işlemine haddeleme denir. Şekil 2.5 de basit bir şekilde haddeleme şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Basit haddeleme şematik gösterimi.

- Merdaneler aynı hızla ve birbirlerine zıt yönde dönerler.
- Malzemenin merdaneler arasından her geçişine “paso” denir.

Haddeleme, plastik şekillendirme teknikleri içerisinde en çok kullanılan (%95) yöntemdir. Çünkü;

- Üretim hızlıdır.
- Sürekliliği vardır.
- İşlem ve ürün kontrolü kolaydır.
- 

Haddehanelerde inşaat demiri, ray, profil, maden direği, kangal demir, sac üretilmektedir



Şekil 2.6. Haddeleme çeşitleri.

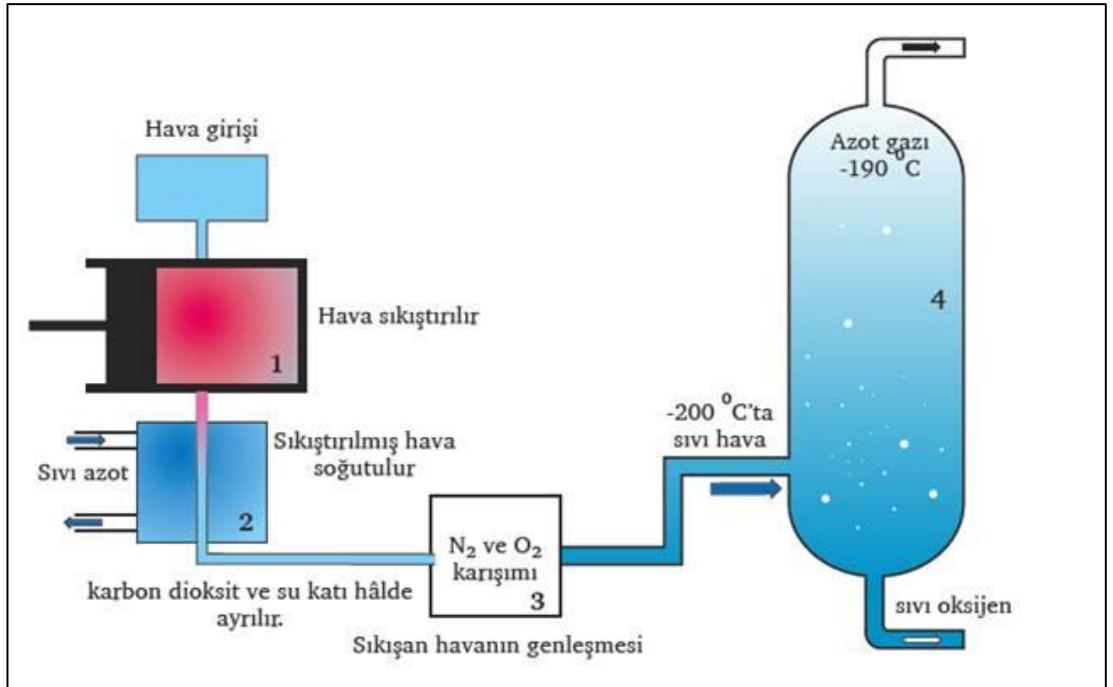
### 2.1.7. Enerji Tesisleri

Enerji Tesisleri bünyesinde; elektrik, buhar ve yüksek fırınların ihtiyacı olan yakma havası karşılanmakta ayrıca atık buhardan elektrik enerjisi de üretilmektedir. Ayrıca tesislerin su ihtiyacı için soğutma kuleleri işletilmektedir. Tesislerin ihtiyacı olan gazların dağıtımı yapılmaktadır.

## 2.1.8. Hava Ayırıştırma Tesisleri

Kriyojenik veya Hava Ayırıştırma Tesisi olarak adlandırılan sistemlerin temel prensibi havadaki %78,09 nitrojen, %20,95 oksijen ve %0,93 argon gazlarının kaynama noktalarına kadar soğutularak sıvı fazda ayrıştırılarak yüksek ısıda sunulması esasına dayanır. Yaklaşık 500 m<sup>3</sup>/h gibi küçük bir kapasiteden, 84.000 m<sup>3</sup>/h gibi yüksek kapasiteli tesislere kadar geniş bir yelpaze mevcuttur. Aynı tesiste oksijen, nitrojen ve argon gazı alınabileceği gibi sadece oksijen ve sadece nitrojen üretimi de yapılabilmektedir. Tesis, sıvı veya gaz fazında istenilen basınçta nitrojen ve oksijen sunmaktadır. Sıvı oksijen LOX, gaz oksijen GOX, sıvı nitrojen LIN ve gaz nitrojen GAN olarak adlandırılır.

Çelikhane, haddehane vb. tesislerin azot, oksijen ve argon ihtiyaçları karşılanmaktadır. Ayrıca, bu tesislerden kalan miktarlar piyasaya satılmaktadır.



Şekil 2.7. Havadan oksijen ve azot üretimi şematik gösterimi [9].

## 2.2. KOK FABRİKALARI

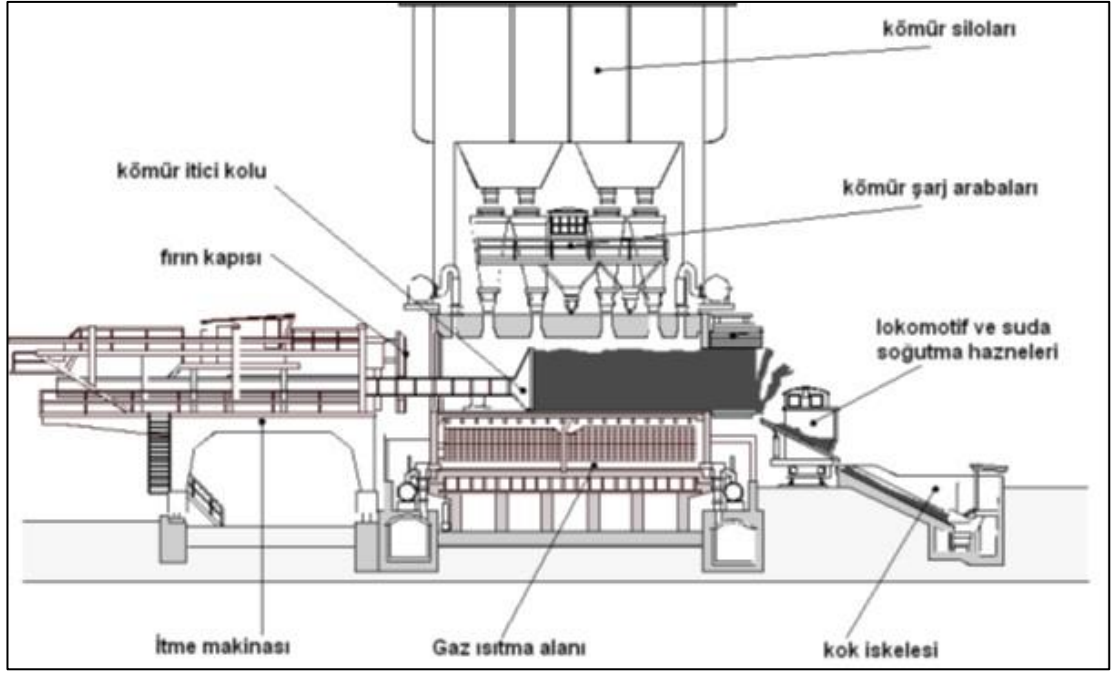
Kok kömürü çelik üretiminin en önemli girdilerinden biridir. Kok Fabrikaları, entegre demir çelik tesislerinde yüksek fırınların metalurjik kok ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulur. Koklaşabilir kömürün kapalı havasız ortamlarda ısıtılarak içinde bulunan uçucu madde, katran, benzol, gibi bileşenlerinden ayrılması işlemine koklaşırma denir. Kızgın kok, kok fırınından itilerek söndürme arabalarına alınır ve sonrasında farklı söndürme sitemlerine giderek kok söndürülür ve rampalara dökülür. Buradan da konveyörler vasıtası ile kırma-eleme tesislerine boyutlandırmaya gitmektedir

Kok fabrikalarında, metalurjik kokun yanında proses gereği ceviz kok, döküm kok, kok tozu ve yan ürünler olarak ham katran, kok gazı, benzol, amonyum sülfat ve naftalinde üretilir.

Metalurjik kokun yüksek fırınlar için 5 ana temel fonksiyonu vardır.

- Isı kaynağı olarak kullanılır
- Demir oksitlerin indirgenmesi için CO sağlar
- Metal ve metalurjik oksitleri, Mn,Si,P indirger
- Demiri karbürize ederek erime noktasını düşürür
- Kuru ve ıslak alanlarda geçirgenlik sağlar

Kok fabrikaları; Proses akım şemasına göre kömür hazırlama tesisi, batarya, kırma eleme tesisi ve yan ürün tesislerinden oluşmaktadır. Şekil 2.8'de klasik kok batarya genel görünümü bulunmaktadır. Şarj arabaları ile taşınan kömür fırın kamaralarına şarj edilir. Karalara gaz verilir burada amaç kömürü belli bir sıcaklığa getirip koklaşmayı başlatmaktır. Koklaşma oksijensiz ortamda gerçekleşir [10]



Şekil 2.8. Klasik Kok Bataryası Genel Görünümü [11].

### 2.2.1. Kömür Hazırlama Tesisi

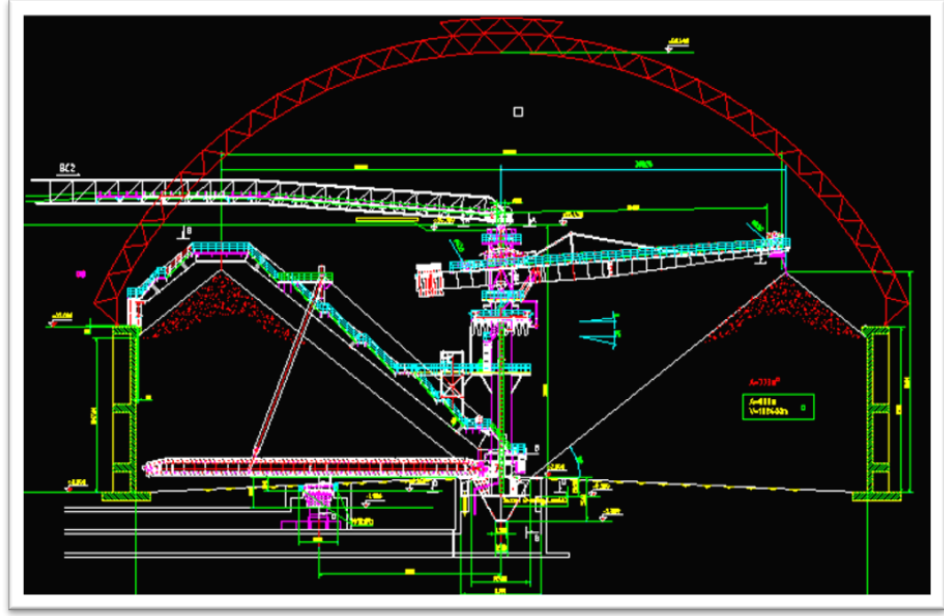
Taşkömürünün boşaltma, elleçleme, stoklama, harmanlama, kırma ve kömür şarj silolarına taşıma işlemlerinin yapıldığı tesistir. Kardemir A.Ş kok fabrikaları bünyesinde bulunan kömür hazırlama tesisinin TOBB (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği) tarafından onaylanmış kapasitesi 1.560.000 ton/Yılı'dır. Koklaşabilir kömürler kalitelerine göre ayrı yerlerde depolanıp kaliteli kok elde edebilmek için oranlanarak harmanlanmakta ardından kırıcı ve karıştırıcıdan geçirilerek konveyör bantlarla kömür şarj bunkerlerine gönderilmektedir. Tesiste çevre açısından çok önemli olan toz bastırma sistemi bulunmaktadır. Şekil 2.9'da KARDEMİR A.Ş Kok fabrikaları kömür hazırlama tesisine ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 2.9. Kömür Hazırlama Tesisi.

### 2.2.2. Dairesel Stok Sahası

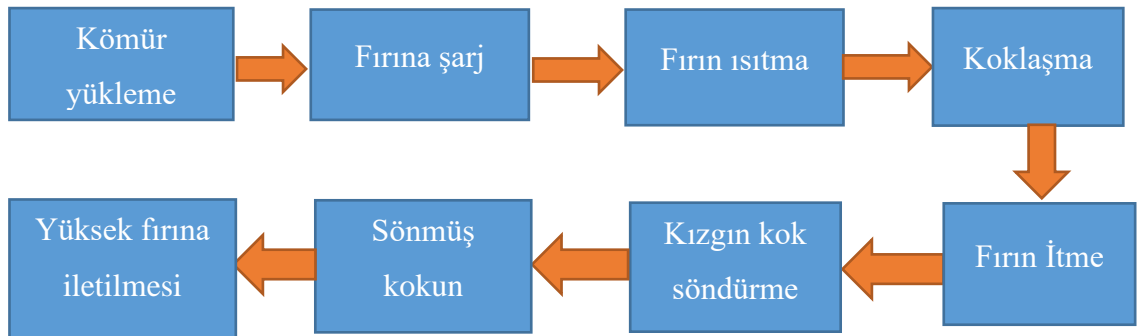
Dairesel stok sahaları kömür stoklama kapasitesini arttırmak amacı ile uygulanmaktadır. Kardemir A.Ş.de Şekil 2.10 'da yine kömür hazırlama tesislerinde bulunan ve kömür stoklama kapasitesini yükseltmek amacı ile 2016'da yatırımı yapılan dairesel stok sahası projesi bulunmaktadır.



Şekil 2.10. Dairesel stok Sahası genel teknik resimi [12].

### 2.2.3. Kok Fırınları (Bataryalar)

Kok bataryalarının ortalama ömürleri 40-50 yıl civarındadır. Kömür Hazırlama Tesislerinden kömür şarj silolarına konveyörler ile getirilen koklaşabilir taş kömürü, şarj arabaları ile her bir fırına belirli bir düzende ve ayrı ayrı şarj edilir. 19–22 saatlik oksijensiz ortamdaki kömür koklaştıktan sonra söndürme kulelerinde kızgın kok üzerine su püskürtülerek soğutulmakta ve kok rampasına boşaltılmaktadır. Kok fırınları yüksek fırın gazı-kok gazı birleşiminden veya kok gazı ile ısıtılır.170 fırın ve 6 Bataryadan oluşan Kardemir A.Ş. kok fabrikası TOBB tarafından onaylanmış kapasitesi 1.170.000 ton/yıl kok + kok tozudur.



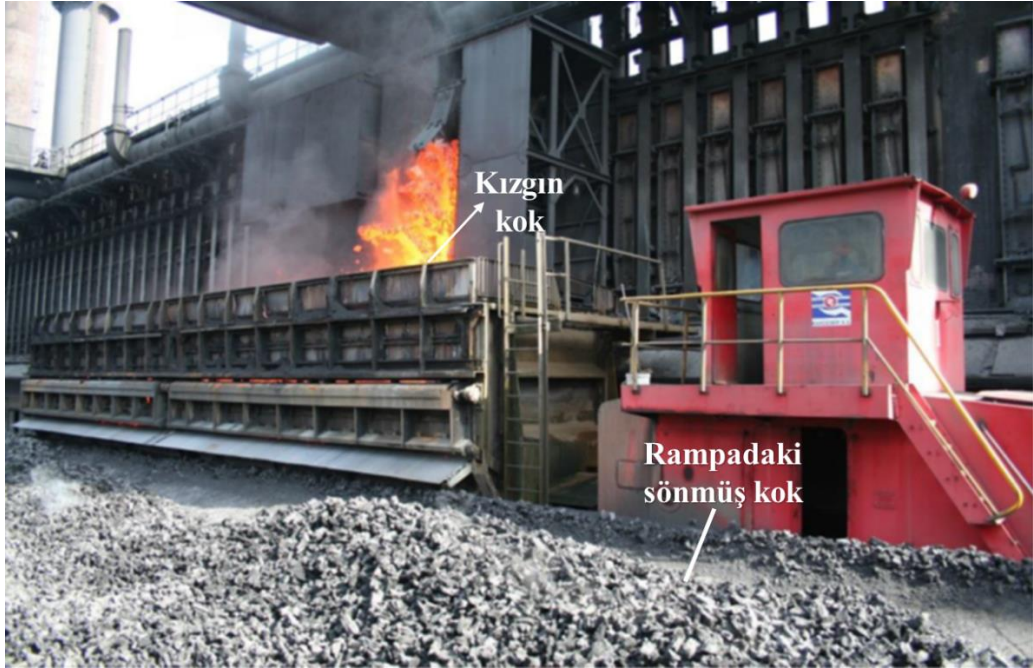
Şekil 2.11. Kok bataryası Akım Şeması.



Şekil 2.11 de Kok bataryasına ait basit akım şeması verilmiştir. Kömür yükleme ile fırın itme arasındaki zaman yaklaşık 18-20 saat arasındadır. Fırın itildikten sonra kızgın kok kuru yada yaş söndürme ile söndürülmektedir. Kendine göre bu iki sisteminde avantaj ve dezavantajları vardır. Şekil 2.12 de Kardemir kok bataryalarına ait bir görsel sunulmuştur. Şekil 2.13 da ise kok deşarjı (itme) görülmektedir. İtme bir itici araba vasıtası ile söndürme vagonetine yapılmaktadır.



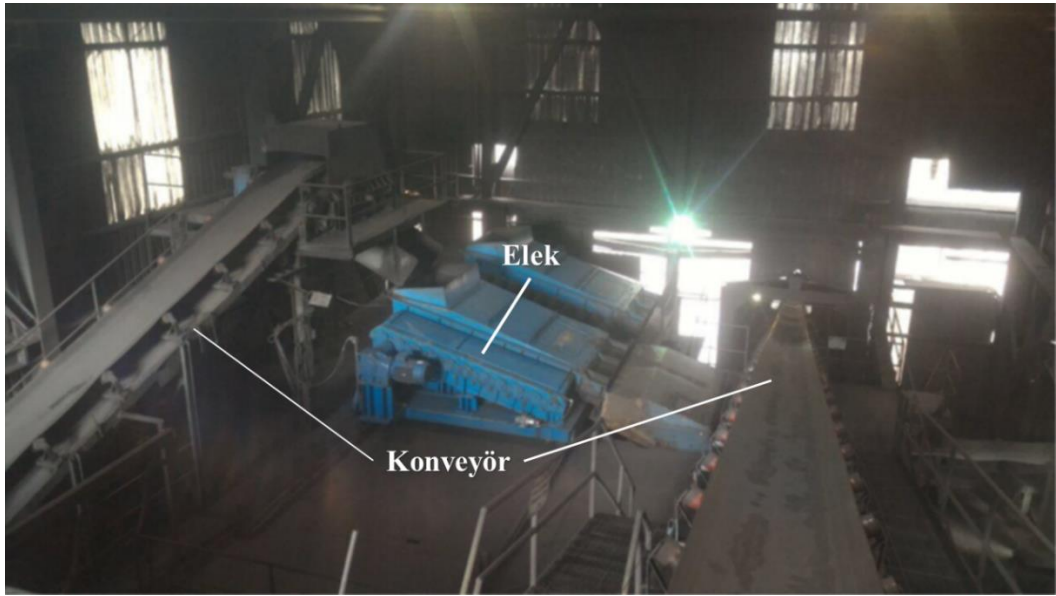
Şekil 2.12. KARDEMİR A.Ş. Kok fabrikası bataryalarına ait bir görsel.



Şekil 2.13. Kok deşarj anına ait bir görsel.

#### 2.2.4. Kırma Eleme Tesisi

Üretimi yapılan ve rampaya dökülen kokun kırma-elemeden geçirilerek istenilen ebatlara boyutlandırılıp yüksek fırınlara gönderildiği tesislerdir. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikalarında; 200 ton/h kapasitesi bulunan 2 tesis vardır. Tesiste ayrıca ticari olarak satılabilecek döküm kok, ceviz kok ve kok tozu hazırlanmaktadır. Kırma eleme tesisleri kırıcı, elek, bunkerler, konveyörler'den oluşan sistemlerdir. Ayrıca tozumayı önlemek için buralarda da toz bastırma sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.14. Kok kırma eleme tesisine ait bir görsel.

#### 2.2.5. Yan Ürünler

Yan Ürün Tesislerinde; gaz yıkama tesisleri, amonyum sülfat (gübre)makinası, benzol tesisleri, katran kolonu, pres naftalin fabrikası, ileri soğutma ve biyolojik atık su arıtma tesisi vardır.

Bataryadan koklaştırma yöntemiyle çıkan gazlar ve ana yan ürünler yan ürün tesislerine taşınır ve türevlerine ayrılırlar. Tesisde koklaştırma sırasında oluşan ham kok gazı toz ve çamurdan arındırılarak tekrar boru hattına verilecek kaliteye ulaştırılmakta ve pres naftalin, ham benzol, yol katranı, ham katran ve amonyum sülfat gibi satılabilir yan ürünler ayrıştırılmaktadır.



Şekil 2.15. Kok Fabrikaları Yan Ürün Tesisleri.

Çizelge 2.2. Kok fabrikaları yan ürünler kapasiteleri [13].

1 Ton Kömürden Kok Gazı Üretimi	[m <sup>3</sup> /1 ton kömür ]	340
Kok Gazı Üretimi (x 1000)	[m <sup>3</sup> /yıl ]	530.000
1 Ton Kömürden Amonyum Sülfat Üretimi	[kg/ 1 ton kömür]	6
Amonyum Sülfat Üretimi	ton/yıl	9.000
1 Ton Kömürden Ham Katran Üretimi	kg/ 1 ton kömür	340
Ham Katran Üretimi	ton/yıl	50.000
1 Ton Ham Katrandan Yol Katranı Üretimi	kg/ 1 ton ham katran	860
Yol Katranı Üretimi (Ham Katranın %86'sı)	ton/yıl	43.000
1 Ton Kömürden Ham Benzol Üretimi	kg/ 1 ton kömür	6
Ham Benzol Üretimi	ton/yıl	9.000
1 Ton Ham Katrandan Pres Naftalin Üretimi	kg/ 1 ton ham katran	20
Pres Naftalin Üretimi (Ham Katranın %2'si)	ton/yıl	1.000

#### **2.2.5.1. Kok Gazı Tesisleri**

Gaz hattında 9 ön soğutucu, 5 elektro filtre, 6 egzoster, 3 satüratör, 4 son soğutma kulesi ve 6 benzol kulesi bulunmaktadır. Tesislerde kok gazının; katran, amonyak, naftalin ve benzolü giderilmesi ve temiz olarak şebekeye verilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.

#### **2.2.5.2. Dekanter**

Kömürün nemi nedeni ile amonyak suyunun yoğunluk farkı ile katrandan ayrıldığı ekipmana denir. Amonyak suyunun bir kısmı, ham gazın soğutulması için bataryalarda kullanılır. Dekantör altından alınan malzeme işlenmek üzere katran fabrikalarına gönderilir.

#### **2.2.5.3. Ön Soğutucu**

Bataryalardan gelen kok gazının su sistemi ile su giriş sıcaklığının 5 °C üzerine kadar soğutulduğu ekipmanlardır. Soğutma sırasında yoğuşma ile ayrılan katran ve amonyak suyu dekantere gönderilir.

#### **2.2.5.4. Elektrofiltre**

Kok gazını barındırdığı, sis halindeki katrandan temizlenmesini sağlar.

#### **2.2.5.5. Egzoster**

Kok gazını bataryadan emerek şebekeye basan ekipmandır.

#### **2.2.5.6. Son Soğutucu**

Gaza su verilerek soğutulmasını ve gazda mevcut halde olan naftalinin temizlenmesini sağlayan ekipmanlardır.



#### **2.2.5.7. Benzol Yıkama Kulesi**

Kok gazının muhteva ettiği ham benzol yıkama yağı ile tutundurularak gazdan ayrıldığı tesislerdir.

Kok Fabrikalarında üretilen ham kok gazı temizlendikten sonra kok ve diğer proseslerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Koklaştırma sırasında açığa çıkan kok gazı; Amonyak, katran, naftalin ve benzol ayrıştırıldıktan sonra kok bataryalarında ve entegre tesislerin diğer ünitelerinde kullanılmak üzere ısıtma gazı olarak şebekeye verilir. Kok gazının temizlenmesi sırasında açığa çıkan yan ürünler ve tesisler aşağıda verilmiştir. Asıl amaç gazı yakıt olarak kullanılabilmesi için temizlemek olsa da, birçok yan ürün istenmeden elde edilmekte ve ticari olarak satılmaktadır.

#### **2.2.5.8. Amonyum Sülfat Tesisi**

Kok gazı içerisindeki amonyağın uzaklaştırıldığı tesistir. Kok gazı içerisindeki amonyak %3-4 oranında sülfürik asit çözeltisi içeren doyuruculardan(satüratör) geçirilerek amonyum sülfat formunda tutulur. Çözeltideki amonyum sülfat kristalleri, hava ejektörleri ile doyunlaştırıcılardan santrifüjlere alınır. Santrifüjlerde solüsyondan ayrıştırılan kristaller kurutma tesisine gönderilerek kok gazı yakılarak kurutulur ve 50 kilogramlık polietilen torbalarda amonyum sülfat olarak satılır. Kardemir A.Ş. yılda 6.000 ton amonyum sülfat satmaktadır.

#### **2.2.5.9. Benzol Fabrikaları**

Kok gazı içindeki benzolün tutulduğu ve işlendiği tesislerdir. KARDEMİR’de Her biri 4.500 ton/yıl kapasitesinde iki Benzol Fabrikası mevcuttur. Şekil 7. De benzol depolama tanklarından görüntü sunulmuştur. Benzol satışı ülkemizde yerel piyasaya satılmamakla birlikte ihrac edilmektedir.



Şekil 2.16. Benzol tankları.

#### **2.2.5.10. Katran Fabrikaları**

Tesiste dekanterden ayrılan ham katranın susuzlaştırılarak atmosferik destilasyonla yıkama yağı, yol katranı, karbol yağı, naftalin yağı, ve hafif yağ olarak fraksiyonlarına ayrıldığı tesislerdir. Tesiste ihtiyaca göre susuz katran, kreozot, katran boyası da üretilebilmektedir. 1962 yılında 30.000 ton/yıl kapasiteye sahip Katran Fabrikası 1 ve 2017 yılında 30.000 ton/yıl kapasiteye sahip Katran Fabrikası 2 kurulmuştur.

#### **2.2.5.11. Pres Naftalin Fabrikası**

Katran destilasyonundan ayrılan naftalin yağı soğutucularda kristallendirilir. Kristallendirilmiş yağ santrifüjlerde süzülerek ham naftalin elde edilir. Ham naftalininin preslenerek %4 yağ içeren kalıplanmış pres naftalin elde edilmektedir. Tesisten ayrılan süzölmüş naftalin yağı ise benzol fabrikalarında yıkama yağı olarak kullanılmaktadır.

### 2.2.5.12. Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi

Kok fırınlarından ve yan ürün tesislerinden gelen amonyak oranı yükselen suyun arıtılmasını ve alıcı ortama verilecek kaliteye getirilmesini sağlayan tesistir.

### 2.2.5.13. İleri Soğutma Tesisi

Kok Gazı Ön soğutucular için yaz döneminde 11 °C de soğutma suyu sağlayan tesistir. Tesiste 2.910 kW kapasiteli üç adet Chiller Soğutucusu bulunmaktadır.

## 2.3. KOK SÖNDÜRME TEKNİKLERİ

Metalurjik kokun fiziksel özellikleri içerisinde kararlılığı yani stabilitesi, mukavemeti, sıcak mukavemet(CSR – Coke Strength After Reaction) ve reaktivite endeksi (CRI – Coke Reactivity Index) değerleri önemli parametrelerdir. Kok reaktivitesi, kok içindeki karbonun, hava, karbondioksit, oksijen ve buhar gibi oksitleyici gazlarla reaksiyona girme hızı olarak hesaplanır [14].

Kok, söndürme arabasına alındıktan sonra söndürülür. Bunun için 2 yöntem uygulanmaktadır. Bunlar kuru söndürme ve yaş söndürmedir. Her iki söndürme sisteminden de kokdan beklenen kalite özelliklerine ulaşılması beklenir.

Çizelge 2.3. Kok kalitesi özellikleri [15].

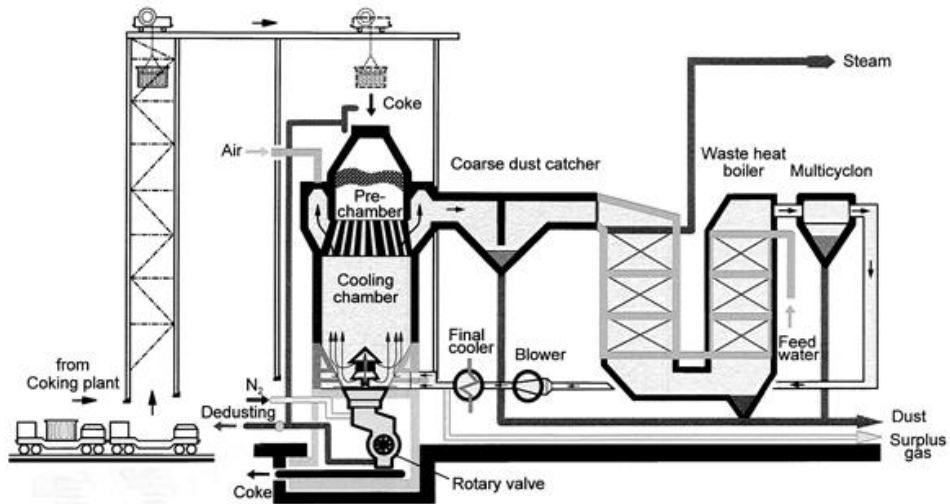
<b>Kimyasal (ağırlıkça %)</b>	<b>Değer</b>
<b>Nem (Ağırlıkça %)</b>	6 max.
<b>Kül</b>	9 max.
<b>Sülfür</b>	0,8 max.
<b>Uçucu Madde</b>	1,5 max.
<b>Alkali (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)</b>	0,4 max.
<b>Fosfor</b>	0,33 max.
<b>Fiziksel (ağırlıkça %)</b>	
<b>Ortalama kok boyutu (mm)</b>	45-60
<b>+4 (ağırlıkça, %)</b>	4 max.
<b>-1 (ağırlıkça, %)</b>	11 max.
<b>Stabilite</b>	58 min.

### 2.3.1. Kuru Söndürme

Kok bir odaya alınır ve azot ile söndürülür. Bu tip söndürme tesisleri aynı zamanda bir atık ısı geri kazanım tesisleridir. Ayrıca söndürülen kok sıfır nem özelliği taşıdığı için bu durum yüksek fırınlar tarafından tercih sebebi olmaktadır. Bu tesisler yaş söndürmeye nazaran daha ekonomik olmasına rağmen yatırım maliyeti yaş söndürmeye göre daha yüksektir [16].

Akkor halindeki kokun ısısını söndürme gazına geçmekte ve bu gaz daha sonra kapalı sistemde suya ısısını vererek buhar üretimini gerçekleştirmektedir. Bu su buharı ile elektrik üretimi yapılarak enerji geri kazanımı yapılabilmektedir [17]. Ayrıca söndürülen kokun nemi sıfır olmakta ve yüksek fırınlar tarafından da yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir.

Hem yüksek fırınlar için sıfır nem kok sağlanması hem de 22 MW elektrik üretimi için Kardemir A.Ş.'de de kuru söndürme tesisi gündeme gelmiş, ihalesi yapılmış ancak gelen tekliflerde genel yerleşiminin kok fabrikaları sahasının alan olarak yetersiz olması nedeni ile vazgeçilmiştir.



Şekil 2.17. Kok Kuru Söndürme Proses Şeması [18].



### 2.3.2. Yaş Söndürme

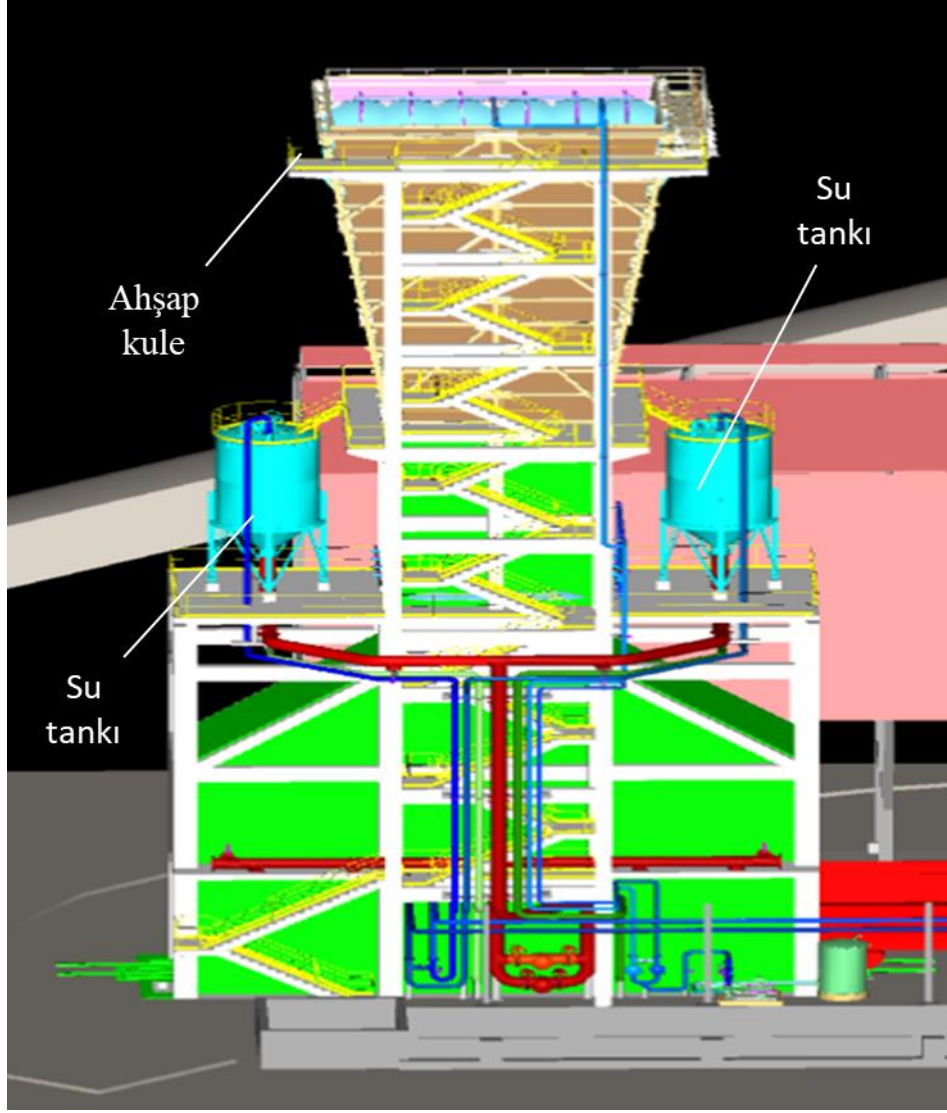
Yaş söndürme sistemlerinde ise söndürme üretimden çıkan ve söndürme arabasına alınan kızgın kok bir söndürme kulesi içine girmekte ve üzerine su püskürtülmesi sureti ile söndürülmektedir. Bunun sonucunda kok nemlenir ve yüksek fırınlara gönderilir. Bu durum yüksek fırınların yakıt artışına neden olur. Yatırım maliyeti kuru söndürmeye göre daha düşüktür [19].

Dünyada yaş söndürme ile daha verimli söndürme yapabilmek için ar-ge çalışmalarına devam edilmektedir.

Yaş söndürme sistemlerinde genellikle batarya sonlarında söndürme kuleleri bulunmaktadır. Şekil 2.18 'de Kardemir'de kurulan bir yaş söndürme kulesi projesi bulunmaktadır. Yaş söndürme kuleleri genelde betondan yapılmakta, baca kısmı ise buhar çıkışından etkilenmemesi ve korozyona uğramaması için emprenyeli ahşaptan yapılmaktadır. Yaş söndürme kulelerinde su, bir pompa vasıtası ile üst kotlardaki tanklara basılır. Söndürme arabası ve vagoneti kuleye girdiğinde tanklarda bulunan su kendi cazibesi ile kok üzerine nozullar yardımı ile boşaltılır. Söndürme işlemi genellikle 1,5 ile 2 dakika arasında sürmektedir. Aşağıya dökülen ve süzülen su ise bir kanal vasıtası ile havuza alınır ve burada süzüldükten sonra tekrar sisteme geri kazandırılır. Her söndürmede yaklaşık 30 ton su kızgın kokun üzerine püskürtülmektedir.

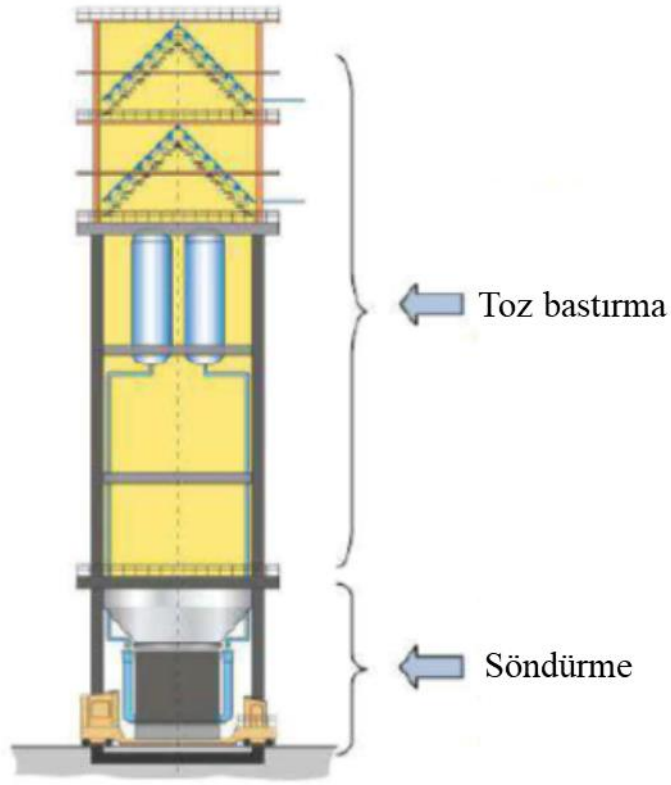
Yeni tip yaş söndürme kulelerinde, söndürme esnasında oluşan emisyonların giderilmesi için kule üstüne pulvarize su püskürtme ile bu emisyonların havaya karışması önlenmektedir. Bir nevi toz bastırma yapılmaktadır.

Eğer yeni bir fırın yapılacak ise öncelikle mutlaka kuru söndürme tesisi ile düşünülmelidir. Ancak maliyet fazlalığı, çok alan kapsaması nedeni ile genellikle tesisler yaş söndürme kulelerine yönelmektedir.



Şekil 2.18. Kok yaş söndürme 3D projesi [20].

Dünyada yaş söndürme sistemlerinde, daha verimli söndürme yapılabilmesi için ar-ge çalışmaları devam etmektedir. Bu sistemlerden biriside CSQ(Coke Stabilizing Quench) sistemleridir. Bu sistemde ayrıntılı olarak anlattığımız sistemden farklı söndürme arabaları kullanılır. Bu söndürme arabaları kendinden tahrikli olup, lokomotif ihtiyacı bulunmamaktadır.



Şekil 2.19. CSQ sistemde kok yaşı söndürme [21].

### 2.3.3. CSQ [22]

- Söndürme esnasında suyun büyük kısmı tabandan verilir.
- Söndürme kulesi 70 metre uzunluğunda olmaktadır. Toz bastırma 2 bölümden oluşmakta ve toz emisyonları istenilen seviyelerdedir.
- Toz bastırmada kalan kok tozları tutularak sintere gönderilebilir.
- 1 Söndürme için 100 ton su 70-75 sn. süre ile kullanılır.
- Tesis sürekli çalışmaktadır.

CSQ söndürme sistemleri sulu söndürme sistemlerine nazaran daha çevreci ve verimlidir. CSQ söndürme ile yaş söndürme arasındaki gözle görülür tek farkın söndürme arabası olduğu görülmektedir. Her iki sistemde de kuleler hemen hemen aynıdır. Söndürme arabaları ise, mevcut arabalar lokomotif ile çekilen vagonlardan oluşurken CSQ sistemlerinde lokomotif yoktur, yerine söndürme vagonları motorludur.

#### 2.3.4. Söndürme Lokomotifi

Kok fabrikalarında söndürme lokomotifleri genellikle alışanın aksine dizel yakıtlı olmayıp, baradan elektrik beslemelidir. Söndürme vagonetini itme vasıtası ile bataryanın kok tarafına getirip kızgın koku yaş söndürme kulesine götürür.



Şekil 2.20. Söndürme lokomotifi.



### 2.3.5. Söndürme Vagonu

Kok fırınında koklaşmış olan koku, itme arabası ile itilerek üzerine alınan ve söndürme kulesine götüren, sönen koku rampaya taşıyarak döken bir çeşit içi eğimli vagonudur. Şekil 2.21’de bir söndürme vagonunun, söndürme kulesine girerken görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.21. Söndürme vagonunun söndürme kulesine girdiği ana ait bir görsel.

## **2.4. TOZ KAVRAMI**

Toz belli sürede havada asılı kalabilme özelliği olan çeşitli büyüklüklerdeki katı tanelerdir. Tozlar değişik çeşitlilikte organik ve inorganik maddelerden aşınma, parçalanma, öğütme, yanma sonucu oluşan ve büyüklükleri 1µm ile 100 µm arasında değişen maddedir [23].

Gözle görülebilen en küçük toz partikülleri yaklaşık 50 µm'dir. Bu nedendir ki havada asılı halde bulunan zararlı toz görsel olarak farkedilmesi zordur [24].

### **2.4.1. Toz Konsantrasyonu**

#### **2.4.1.1. Solunabilir (Respirable) Toz Ölçümleri**

Tane büyüklüğü 5 µ ve altında olan tozlardır. Bu tür tozlar, siklon toz ölçüm kafası ile ölçülebilir.

#### **2.4.1.2. Toplam Toz (Inhalable) Ölçümleri**

Tanecik boyutu 10µ ve bunun altında olan tozlardır. Bu tür tozlar, toplam toz (inhalable-IOM) başlığı ile ölçülebilmektedir [25]

Her iki toz ölçüm yöntemi de bir pompa ve uygun bir toz ölçüm başlığı ile yapılır. Ölçümler, maruz kalmayı temsil etmek üzere TS 689'da belirtilen numune sayısı ve numune alma sürelerine göre yapılır. TS 689'a göre en çok kullanılan numune sayısı ve numune alma süresi minimum 2 saat ve 1 numunedir. Ölçüm yapılacak personel birden fazla görev yapıyorsa her görev için toz ölçümü yapılmalıdır.

### **2.4.2. Toz Ölçme Metodolojisi ve Standartları**

- Ortam Havasında Toplam Toz Ölçümü: Işık Saçılması Metodu; (optik yansıma) **CEN/TR 16013-3** (aerosol monitör kullanarak partikül madde konsantrasyonunun direkt olarak okunması)

- Dozimetrik Toz Ölçümü: Gravimetrik Metot; **TS 2361:1976**
- Ortamda Toz Örnekleme Ölçümleri: EPA Metot 17:2000; TS EN 13649:2003
- Çöken Toz Ölçümleri: **TS 2341:1976**
- Toz Ölçümü-Optik Yansıtma Metodu: **TS 2361; MDHS 96**
- PM 10 Ölçümü- Gravimetrik Metot: **TS EN 12341**
- Çöken Toz Ölçümleri: **TS 2342**

### **2.4.3. Toz Ölçümünde Sınır Değer**

Ortamdaki tozlar için kişisel solunabilir toz maruziyeti sınır değeri; Tozla Mücadele Yönetmeliği EK-1 de **5 mg / m<sup>3</sup>** olarak belirlenmiştir.

### **2.4.4. Toz Ölçüm Noktalarını Belirlerken Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar:**

#### **2.4.4.1. Ortam Toz Ölçümleri**

Toz ölçümleri ile ilgili en fazla yapılan yanlış uygulama, ortam toz ölçümlerinin yapılmasıdır. İSGÜM'ün 12.01.2016 tarihli duyurusu ile ortam tozu olarak yapılan toz ölçümlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması yasaktır. Bu nedenle ortam toz ölçümleri yönetmelikteki sınır değerler ile karşılaştırılmaz. Bu tür ortam tozu ölçümlerinin değerlendirilmesi bir iş sağlığı ve güvenliği uzmanı tarafından yapılmalıdır.

#### **2.4.4.2. Ortam Toz Ölçümleri Yapılırken Olması Gereken Hususlar**

Tesiste ilk defa toz ölçümü yapılıyorsa toz olma ihtimali olan noktalar seçilmelidir. Tozun olmadığı ortamlarda tek seferlik ölçüm yapılarak toz bulunmadığı tespit edilebilir.

Yapılacak ortam tozu ölçümleri sınır değer ile karşılaştırılmayacağı için toz ölçüm sonuçları iş sağlığı ve güvenliği uzmanı tarafından değerlendirilmelidir. Örneğin ortamdaki toplam toz ölçüm değeri 7 mg/m<sup>3</sup> ise kişisel toplam toz ölçüm değeri bu değer altında olur ve/veya bu değer maksimum olur.

Üretim prosesinde toz olan firmalar, toz haritalaması için ortam toz ölçümleri yaptırabilir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, işyerlerinde toz nedeniyle doğabilecek risklerin önlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği açısından tozla mücadele amacıyla 05.11.2013 tarihli Resmi Gazete 'de toz kontrolü yönetmeliğini yayınlamıştır.

Bu yönetmeliğe göre:

#### **2.4.5. Tozla İlgili Yönetmelik ve İşyerinin Uyması Gereken Zorunluluklar**

##### **2.4.5.1. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığında**

Tozla Mücadele Yönetmeliği işverenin yükümlülükleri Madde 5 [26] aşağıda verilmiştir

- İşveren, tozun oluştuğu işyerlerinde işçilerin toza maruz kalmaması için gerekli tüm koruyucu ve önleyici tedbirleri almak ve işçileri tozdan kaynaklanan tehlikelerden korumakla yükümlüdür.
- İşveren, ayrıca tozdan kaynaklanan maruziyetin önlenmesinde;
  - a) İkame yöntemi uygulanarak, toz oluşumuna neden olabilecek tehlikeli maddeler yerine çalışanların sağlığı ve güvenliği açısından tehlikesiz veya daha az tehlikeli maddelerin kullanılması,
  - b) Riski kaynağında önlemek için; uygun iş organizasyonu ve toplu koruma yöntemlerinin uygulanması,
  - c) toz kaçışını önlemek için uygun mühendislik çözümlerinin kullanılması,
  - ç) İşyerlerinin çalışma şekline ve çalışanların çalışmalarına göre ihtiyaç duyulan yeterli taze havanın bulunması,
  - d) Alınan önlemlerin yeterli olmadığı durumlarda tozun niteliğine uygun kişisel koruyucu donanım sağlanması ve kullanılması,
  - e) Alınan tedbirlerin etkinliğinin ve sürekliliğinin sağlanması için yeterli kontrol, teftiş ve gözetimin yapıldığını,
  - f) İşyerlerinde oluşan atıkların Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili mevzuatına uygun olarak bertaraf edilmesini sağlar.



### 2.4.5.2. Risk değerlendirmesi

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığından: Tozla M¼cadele Y¼netmelięi işverenin y¼k¼ml¼l¼kleri Madde 6 [26] aşağıda verilmiştir.

- İşveren, 6331 sayılı İş Sağlığı ve G¼venlięi Kanunu ve 29/12/2012 tarihli ve 28512 sayılı Resm¼ Gazete' de yayımlanan İş Sağlığı ve G¼venlięi Risk Değerlendirme Y¼netmelięi h¼k¼mlerine uymakla y¼k¼ml¼d¼r. İşyerinde çalışanlarının sağlığını ve g¼venlięini tehlikeye atacak risk değerlendirmesinden sorumludur.
- Proses gereği tozlu işlerde yapılacak risk değerlendirmesinde aşağıda belirtilen hususlar özellikle dikkate alınır.
  - a) Oluşan tozun t¼r¼,
  - b) Oluşan tozun sağlık ve g¼venlik y¼n¼nden tehlike ve zararları,
  - c) Maruz kalmanın d¼zeyi, s¼resi ve sıklığı,
  - ç) Bu Y¼netmelięin Ek-1'inde yer alan mesleki maruziyet sınır değerleri,
  - d) Toz ölç¼m sonuçları,
  - e) Önleyici tedbirleri,
  - f) Eğer varsa daha önce yapılmış olan sağlık g¼zetimlerinin sonuçları.

### 2.4.6. Kimyasal K¼ken Olarak Organik ve İnorganik Tozlar

#### 2.4.6.1. Organik Tozlar

Akciğerde depolanmayan ancak bir alerjenik mekanizma ile solunum yollarında spazma neden olurlar. Bunlara örnek olarak; Bitkisel tozları (pamuk tozu, tahta tozu, un vs.) verebiliriz.

#### 2.4.6.2. İnorganik Tozlar

Akciğerde depolanma eğilimindedirler. Kronik akciğer hastalıklarına sebep olurlar. Metal tozları, metalik olmayan tozlar, kimyasal bileşiklerin tozları, doğal bileşiklerin

tozlarını örnek verebiliriz. Toz bastırma yapacağımız sistemin tozları da inorganik tozlar sınıfına girmektedir.

#### **2.4.7. Biyolojik Etkileri Bakımından Başlıca Toz Sınıfları [27]**

##### **2.4.7.1. Fibrojenik Tozlar**

Bazı maddelerin fibrojenik (lif) kapasiteli toz partikülleri solunduğunda ve akciğerlerde biriktiğinde akciğerlerde fibrotik değişiklikler meydana gelir. Bu fibröz doku zamanla akciğerin normal aktif dokularının yerini alır. Akciğerleri yavaş yavaş tahrip ederek işçinin çalışmasını zorlaştırır ve ömrünü kısaltır. Bu tür tozların en belirgin örnekleri asbest, silika, talk ve alüminyumdur. Bu tozlar sırasıyla silikoz, asbestoz, talkoz ve alüminoz adı verilen pnömokonyoza (akciğerlerde toz birikmesi sonucu oluşan hastalıklar) neden olur. Bu tozların ortamdaki konsantrasyonu, maruz kalma süresi, vücut direnci gibi faktörler çalışanın hastalanmasında etkilidir. Bu nedenle özellikle yer altı kömür madenlerinde çalışanlar belirli aralıklarla dinlenmeye alınır.

##### **2.4.7.2. Toksik Tozlar**

Vücuda alındığında çeşitli organlarda (sinir sistemi, karaciğer, böbrekler, mide ve bağırsaklar, solunum organları, kan yapıcı organlar gibi) kronik veya akut zehirlenme etkisine neden olan tozlar bu sınıfa girer. Tozu oluşturan bileşenlerden biri veya birkaçı zehirli madde ise, maddenin cinsine, toz içindeki yüzdesine, havadaki tozun yoğunluğuna ve solunan madde miktarına bağlı olarak zehirlenmeye neden olabilir. toz. Kurşun, kadmiyum ve manganez gibi ağır metal tozları bu grubun en belirgin örnekleridir. Kadmiyumun böbrekler üzerinde ve manganezin merkezi sinir sistemi üzerinde toksik etkisi vardır. Kurşun tozları ise kan sistemi, sinir sistemi, boşaltım sistemi ve sindirim sistemi gibi birçok sistem üzerinde toksik etki gösterebilmektedir.

### **2.4.7.3. Kanserojen Tozlar**

Çeşitli iç ve dış etkenlere bağlı olarak insanlarda kansere neden olabilen tozlardır. Beslenme, yaşam koşulları, çevre kirliliği ve mesleki etkiler gibi faktörlerin kanser oluşumunda rol oynadığı düşünülmektedir. Günümüzde kanserojen olduğu bilinen tozlar şunları içerir: asbest, arsenik ve bileşikleri, berilyum, kromatlar, nikel ve bileşikleridir.

### **2.4.7.4. Radyoaktif Tozlar**

Havadaki toz halindeki radyoaktif maddelerin yaydığı iyonize ışınlar insan organizmasının hücre ve dokularına zarar verir, tümör oluşumuna ve genetik bozukluklara neden olur. Bunlar çok değil ama en önemlileri; uranyum, toryum, seryum ve zirkonyum bileşikleri, trityum ve radyum tozlarıdır.

### **2.4.7.5. Alerjik Tozlar**

Hassas kişilerde ateş, astım, dermatit gibi çeşitli alerjik reaksiyonlara neden olabilen tozlardır. Çeşitli bakteri, maya, küf ve polenlerin de böyle bir etkisi olabilir. Ahır, ambar gibi nemli ve sıcak yerlerde uzun süre bekletilmiş hayvan yemi, saman, ot, tahıl, küspe gibi küflü tozların solunması ile alerjik solunum sistemi hastalıkları meydana gelebilir. Pamuk, keten ve kenevir işçilerinde, dokuma fabrikası işçilerinde görülen bisinosis, fırıncılarda una bağlı astım alerjik reaksiyonlardır. Ahşap tozu da bu gruba dahildir.

### **2.4.7.6. İnert Tozlar**

Bu tür tozlar vücutta birikebilen ancak fibrojenik ve toksik etkileri olmayan tozlardır. Solunan ve çökelen partiküller ya solunum süreci ve solunum sisteminin kendi kendini temizlemesi ile vücuttan uzaklaştırılır ya da en kötü durumda büyük patolojik etkiler olmaksızın akciğerde kalıcı bir birikim oluştururlar. Kalker, mermer, alçı tozu ve tütün tozu bu gruba sayılabilecek örneklerdir.

#### **2.4.8. Partikül Boyutlarına Göre Tozlar [28]**

Partikül büyüklüğü ve büyüklük dağılımının tayini önemlidir. Çünkü;

- Etkin maddelerin fiziksel, kimyasal ve farmakolojik özelliklerinde etkindir.
- Klinikte oral, rektal, parenteral veya topikal yolla uygulanan etkin maddelerin dozaj şekline göre açığa çıkış hızı üzerinde etkilidir.
- Süspansiyonların, emülsiyonların ve tabletlerin fiziksel stabilite ve gösterdikleri farmakolojik yanıt yönünden başarılı formülasyonlarının oluşturulmasında partikül büyüklüğü büyük bir etkinliğe sahiptir.

Tozlar partikül büyüklüğü bakımından 3'e ayrılırlar. Bunlar; [29]

##### **2.4.8.1. Çok ince tozlar (0,1-50 µm) (Solunabilir Tozlar)**

Bunlar, %50'sinin aerodinamik çapı 0,1-50 µm'den küçük olan ve maruz kaldıklarında alveollere ulaşabilen tozlardır. Alveollere ulaşan 0,2 – 5 µm büyüklüğündeki tozların birikmesi sonucu pnömokonyoz oluşur. Bu nedenle, akciğer tozu yükünün belirlenmesi esas olarak mineral içeriğinin belirlenmesidir. Kural olarak, solunabilir tozlar kristal SiO<sub>2</sub> bakımından ne kadar zenginse, hastalık riskinin o kadar yüksek olduğu kabul edilir.

##### **2.4.8.2. İnce Tozlar (50-100 µm) (Toplam Solunabilir Toz)**

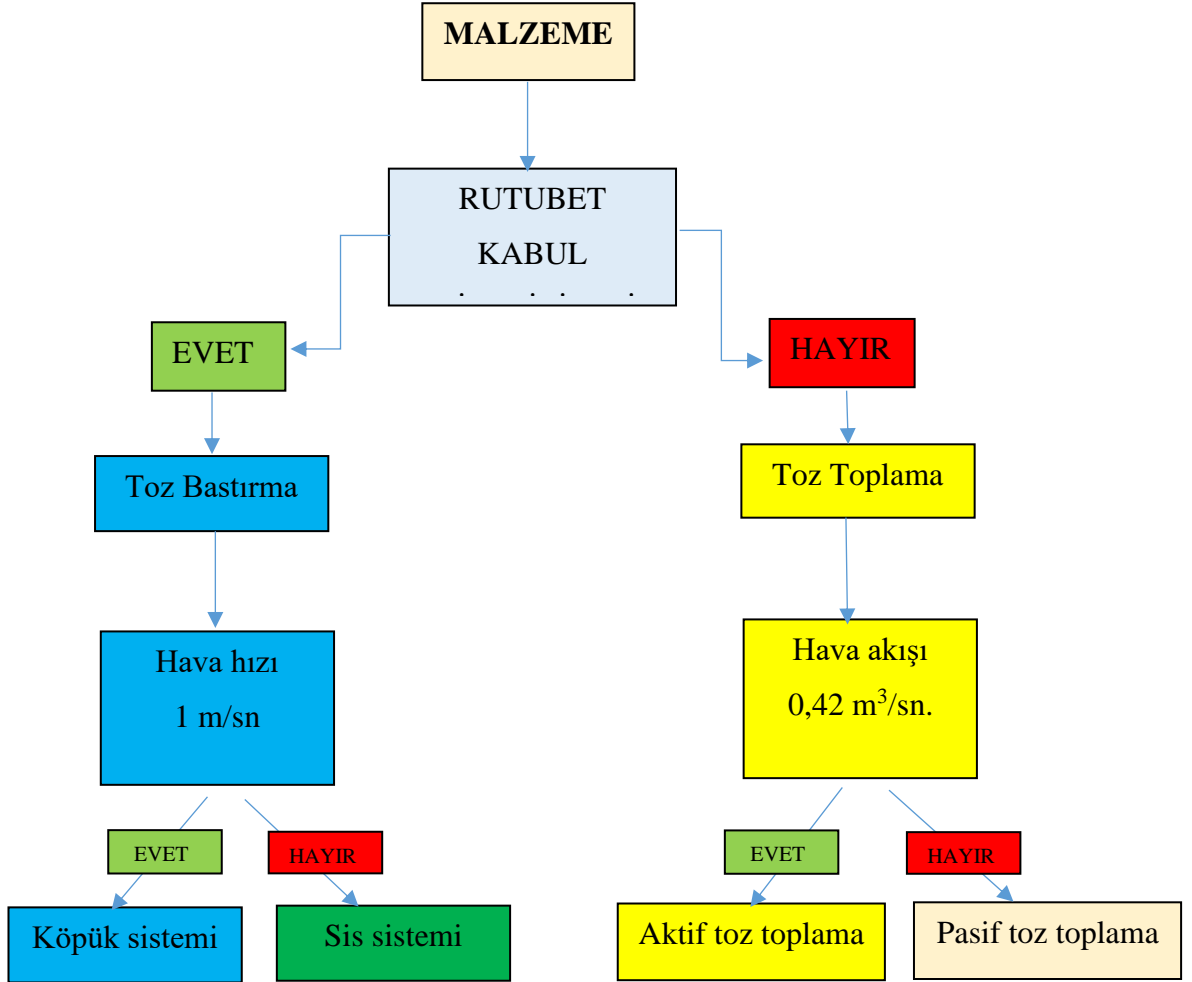
Ağız ve burun yoluyla alınan, trokal ve alveollere ulaşan tozlar da dahil olmak üzere %50'sinin aerodinamik çapı 50 ile 100 µm arasında olan ve maruz kaldığında tüm solunum sistemini etkileyen tozlardır.

##### **2.4.8.3. Kaba Tozlar (100-1000 µm)**

Havadaki tüm partikülleri barındıran tozlardır.

## 2.4.9. Toz Yönetimi

Bir işletmenin gereksinimlerine uygun en iyi toz yönetimi teknolojisi seçimi için basit olarak Şekil 2.22'den yararlanabiliriz [30]



Şekil 2.22. Toz yönetimi seçim süreci diyagramı.

## 2.5. TOZ BASTIRMA SİSTEMLERİ

Yaptığı üretimlerin sonunda toz oluşturan fabrikaların, üretim sonunda ortaya çıkan tozu bastırması için kullanılan sistemlerin adı Toz bastırma, ya da toz indirgeme sistemleridir. Ülkemizde TS 13883 standardında üretim metodu belirlenmiştir.

Toz bastırma ve indirgeme sistemleri, havadaki tozu %90'a kadar azaltabilir. Bu, çalışanların tehlikeli maddeleri solumasını önlerken aynı zamanda ekipmanlarda

tıkanmaları veya birikmeleri de önler. Ek olarak, bu tür bir sistem, aksi takdirde işlem sürelerinde gecikmelere neden olabilecek tıkanmayı veya diğer engelleri azalttığı için üretim hızlarının artmasına yardımcı olur. Bu sadece arıza süresini en aza indirmeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda verimli üretim döngülerine güvenen işletmeler için önemli maliyet tasarrufları sağlar.

Bu standarda göre toz bastırma sınıfları; [31]

- **Sınıf-1:** Yüksek basınçlı pompa ile pulverize su sisi oluşturan toz bastırma sistemleri
- **Sınıf-2:** Hava ile basınçlandırılarak oluşturulan su sisi oluşturan toz bastırma sistemleri
- **Sınıf-3:** Yüksek basınçlı pompa ile oluşturulan pulverize su sisini fan ile püskürten toz bastırma sistemleri.

Kardemir Kok fabrikası söndürme vagoneti üzerine uygulanacak sistem Sınıf-3'e girmektedir.

Toz bastırma sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından da desteklenmekte ve teşvik edilmektedir.

Ayrıca; Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nda 13.10.2021 tarihinde yayınlamış olduğu "Binaların Yıkılması Hakkındaki Yönetmelik" kapsamı yapan tüm şirketlerin toz bastırma sistemlerini kullanması zorunlu hale getirilmiştir.

Buna göre imal edilecek olan sisteminde TS 13883 standardına uygun olarak imal edilmesi önem arz etmektedir.

Toz bastırma sistemlerinin kullanıldığı sektörler:

- Çimento fabrikaları
- Demir-Çelik fabrikaları
- Termik santraller

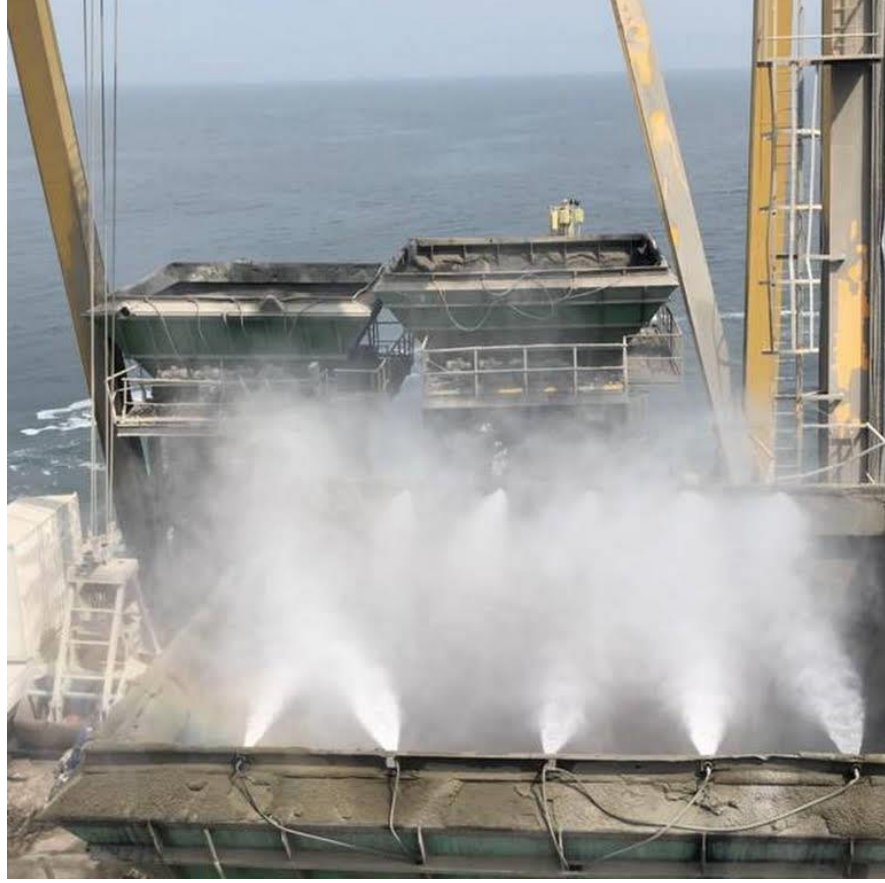
- Maden ocakları
- Kırma ve eleme tesisleri
- Kömür üretim tesisleri
- Yoğun toz konsantrasyonu olan açık ve kapalı alanlar
- Tünel açma çalışma alanları

### **2.5.1. Toz Bastırma Çeşitleri**

Kurulum ve kullanım amaçlarına göre 2'ye ayrılmaktadır. Bunlar;

#### **2.5.1.1. Sabit Dökülüşlerde Tozumaya Önlemek Amacı ile Kurulan Sistemler**

Bu tür sistemlerde, Su ile hava basınçlandırılarak dökülüş noktalarındaki nozullar yardımı ile yapılmaktadır. Kaç adet dökülüş noktası var ise sistem kurulabilir. Su sis haline getirilerek tozan bölgede güvenle toz bastırılmaktadır. Şekilde 2.23' de görülen resimde bir limanda sabit dökülüş noktasında çalışan toz bastırma sistemi görülmektedir. Sistemde havayı basınçlandırmak için kompresör, suyu basmak için pompa, suyu filtre etmek için filtre sistemi, borulama, su tankı, nozullar bulunur. Bu sistem konveyör dökülüşlerinde, kırma-eleme tesislerinde, kırıcılarda, stok sahalarında transfer noktalarında, limanlarda kullanılabilir.



Şekil 2.23. Sabit toz bastırma sistemi görüntüsü.

Sabit, dökülüşlerde tozumaya önlemek amacı ile kurulan sistemlere bir örnekte halka ring uygulamasıdır. Sistem yüksek basınç su pompası ile uygulanmakta olup sistemde kullanılan nozzle çeşidi gereği hava desteğine gerek duymamaktadır.

Hava desteği olmadığından mikronize seviyesi daha düşüktür. Bunun için hassas nem oranına sahip ürün ve aktarma noktalarında tercih edilmez. Kullanım alanları;

- Stok üstü ana döküş bantları,
- Stacker / reclaimers döküş noktaları,
- Silo altı kamyon aktarımı, bunker üstleri,
- Liman aktarma bunkerleridir.

Şekil 2.24’de halka ring uygulaması ve Şekil 6.3. de ise Kardemir A.Ş Hammadde stok sahasında stoklayıcı ünitesine kurulan bir halka ring uygulaması görülmektedir.



Konveyörler vasıtası ile stok sahasına gelmekte olan hammadde (genellikle demir cevheri) stok sahasına dökülürken, döküş şutuna kurulan bir ringin içerisinde geçmekte, ringden su püskürtülerek de döküş esnasındaki tozlar minimuma indirilmektedir.



Şekil 2.24. Halka ring uygulaması şematik gösterimi.

Şekil 2.25’de görüleceği üzere konveyörden gelen demir cevheri, stok sahasına dökülürken toz bastırma sistemi çalışan ringin içerisinde geçmekte ve tozuma minimuma indirilmektedir.



Şekil 2.25. Kardemir’de Halka ring uygulaması ile toz bastırma.

### 2.5.1.2. Fanlı Tip Toz Bastırma Sistemleri

Demir-çelik fabrikalarında, çimento fabrikalarında, maden ocaklarında, bina yıkımlarında, açık-kapalı stok sahalarında da kullanılmaktadır. Bir pompa, su tankı, filtre sistemi, fan ve nozullardan oluşmaktadır.

Tozun cinsine, tane boyutuna, yoğunluğuna göre mesafe ayarlı, aşağı yukarı hareket edebilen ya da kendi etrafında dönebilen sistemlerdir. Şekil 2.26'de fanlı tip toz bastırma ünitesi resmi görülmektedir.

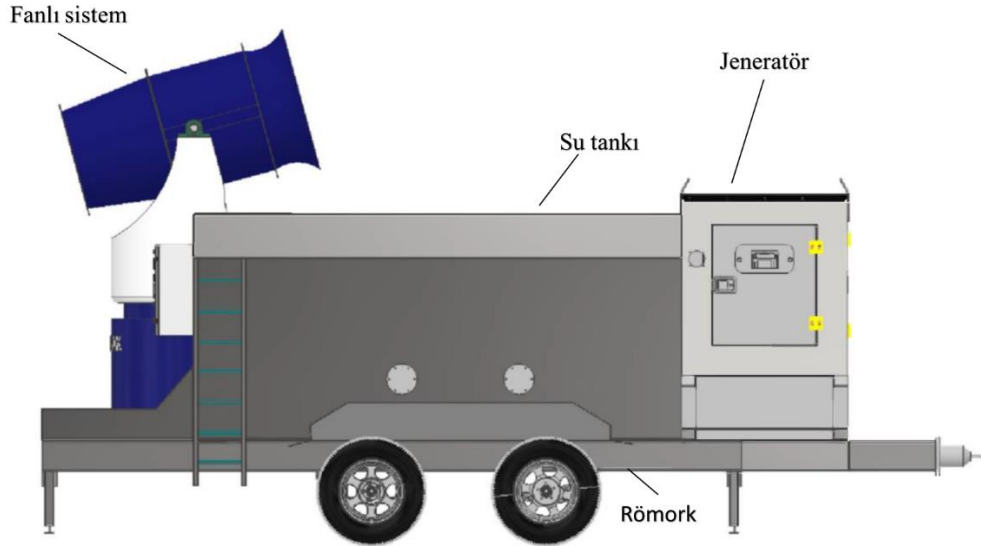


Şekil 2.26. Fanlı toz bastırma ünitesi.

Fanlı tip pulverize toz bastırma sistemleri ikiye ayrılır. Bunlar;

#### 2.5.1.2.1. Mobil Tip Fanlı Toz Bastırma Sistemleri

Açık stok sahalarında, bina yıkımlarında, maden ocaklarında, anlık toz oluşturan dökülüş noktalarında kullanılır. Bir römork üzerinde tank, pompa, fan, jeneratör olup komplike sistemlerdir. Mobil olduğu için bir çekici vasıtası ile özellikle açık alanlarda tozun kaynağına kadar götürülüp, anında toz bastırma yapılabilir. Şekil 2.27’ da Mobil tip fanlı toz bastırma ünitesi görülmektedir. Özellikle inşaat yıkımlarında zorunlu hale Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından zorunlu hale getirilmişlerdir.



Şekil 2.27. Mobil fanlı toz bastırma sistemi şematik gösterimi.

#### 2.5.1.2.2. Sabit Tip Fanlı Toz Bastırma Sistemleri

Kapalı atık sahalarında, sabit dökülüş noktalarında kullanılmaktadır. Sabit durumdaki bir tanka su hattı çekilir, pompa tanktan emdiği suyu pulvarize etmesi amacı ile fana aktarır ve toz bastırma gerçekleşir. Şekil 2.28’de Kardemir A.Ş.’de hammadde stok sahasında vagon boşaltırken tozumayı önlemek amacı ile çalışan sabit tip fanlı toz bastırma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.28. Kardemir’de sabit tip fanlı toz bastırma uygulaması.

### 2.5.2. Fanlı Toz Bastırma Kullanım Alanları [32]

- Liman yükleme ve boşaltma alanları
- Kırma, eleme tesisleri
- Yerleşim yeri içerisinde yapılan yıkım ve hafriyat alanları
- Beton santralleri
- Maden ocakları (Kömür, Demir, Bakır, Gümüş, Altın)
- Geri dönüşüm tesisleri
- Boya imalat ve üretim tesisleri
- Ağaç ve orman ürünleri işletmeleri
- Stok Sahaları
- Yangın söndürme ve müdahale
- Ortam iklimlendirme ve nemlendirme
- Demir-çelik fabrikaları

### 2.5.3. Avantajları

Pulverize Su ile Toz Bastırma Sistemleri; Su tüketimi açısından sprinkler sistemlerine göre çok daha etkili ve çok daha ekonomiktir. Toz azaltıcı makineler ayrıca havadaki tozu azaltmak, sıcak havalarda çalışma alanlarını soğutmak, ortamdaki kötü kokuları

gidermek gibi çok amaçlı olarak da kullanılabilir. Pulverize Sulu Toz Bastırma Sistemleri, etkili performansına rağmen çok az bakım gerektirir: örneğin; fan yataklarının her 10.000 saatte bir yağlanması gerekir, motorun yağlanmasına gerek yoktur ve bu makinelerin ses seviyeleri çok düşüktür.

#### 2.5.4. Toz Bastırma Tekniğinin Belirlenmesinde Esas Alınacak Faktörler

Isıl güçleri 1 MW' dan büyük ve ısınma amaçlı kullanılan yakma tesisleri emisyon iznine tabi değildir. Ancak bu yönetmelikte yer alan ve izin verilen emisyon değerlerini sağlamalıdır [33].

Bir tesiste proses gereği oluşan toz miktarını üç özellik belirler.

- Oluşan tozun miktarı,
- Tozun tane boyutu,
- Malzeme kohezyonu faktörlerine bölünen hava hızıyla orantılıdır.

**Malzeme Kohezyonu:** Aynı maddenin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. Örnek olarak bir bardak suyu en tepesine kadar doldurduğumuzda ve en sonunda yavaş yavaş birkaç damla daha eklediğimiz sırada su taşmadan önce, kubbe benzeri bir şekil oluşacaktır. Bu kubbe benzeri şekil, su moleküllerinin birbirine karşı yapışma eğiliminden kaynaklanır. Kohezyon maddenin türüne, sıcaklığına ve başka madde ile karıştırılmasına bağlıdır [34].

Tamamda bu noktada malzeme kohezyonunu ve parçacık boyutunu artırmak için toz bastırma tekniği uygulanır. Toz indirgeme sistemleri, parçaları su damlacıkları ile birleştirerek toz ağırlığını ve kohezyonunu artırır. Bu, parçanın havada kalmasını önler ve yere düşmesini sağlar.

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, demir çelik fabrikalarında toz, toz bastırma sistemleri konusunda yapılan literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

Kömür ve kok üretim endüstrisi, emisyon düzenlemelerini ve hedeflerini karşılamının yanı sıra sürdürülebilir operasyonları sağlamak için tozun kontrolünde önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu sebeple literatürde konu özelinde yapılmış çeşitli disiplinlere ait uygulamalardan bahsetmek mümkündür.

Roberts ve arkadaşlarının 2019'da yaptığı çalışmada, kömürün elleçlenmesi, ROM silosu yüklemesi, aktarma noktaları ve stok sahalarına boşaltma yaygın ve önemli toz kaynakları için CFD ve CFD-DEM simülasyon modellemesinin kullanmış ve bu emisyonların kaynağının ve dinamiklerinin anlaşılması için anahtar bir teknoloji tanımlamışlardır. Bu teknolojilerin uygulanmasının, toz emisyonlarında elde edilebilecek azalmayı gösteren verilerle birlikte çeşitli Avustralya madenlerindeki endüstriyel sorunlara uygulandığı gösterilmiştir [35].

2018 yılında yürütülen bir çalışmada, yer altı kömür madeni endüstrisinin tozun kontrolünde karşılaştığı bazı sorunları ve bu sorunları ele almak için bazı yöntemleri incelemiştir. Toz bastırma sistemlerini daha iyi tasarlamak için hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (CFD) kullanımına yönelik bir yaklaşım özetlenmiştir. Son zamanlarda geliştirilen yüksek enerjili mikro buğu nozülleri, geliştirilmiş yakalama etkinliği için olanak sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanarak sistemde kullanılmıştır. Toz bastırma sisteminin kurulumundan önce ve sonra izleme yapılmış ve montajın ardından toplanan veriler, solunabilir toz partiküllerinin konsantrasyonunda yaklaşık %75'lik bir düşüş gösterdiği saptanmıştır [36].



Wang ve arkadaşlarının 2018 yılında Çin'in Erdos kentindeki bir kömür madeninde yaptıkları çalışmada kullanılan kömür tozunu bastırmak için suyun kabiliyetini etkin bir şekilde geliştirmek amacıyla, yüzey aktif maddeler arasındaki sinerji nedeniyle yüzey aktif madde bileşimi önerilmiştir. Saha testleri, ağırlıkça %0,025 FMES ve ağırlıkça %0,025 CDEA içeren çözeltinin toz bastırma verimliliğinin %N87 olduğunu, su spreyinden oldukça yüksek olduğunu ve bu nedenle 2104 tamamen mekanize kömür yüzündeki toz konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltmada etkili olduğunu kanıtladığı ifade edilmiştir [37].

2021 yılında Liao ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada bir püskürtme sisteminin toz bastırma verimliliği, laboratuvar ölçekli bir test donanımı aracılığıyla değerlendirilebilmesi ve/veya matematiksel bir model aracılığıyla tahmin edilebilmesi ile mühendislik tasarım süreci büyük ölçüde iyileştirilebileceği savı incelenmiştir. Püskürtme tipi toz bastırma sistemlerini kapsayan mekanizmalar gözden geçirilmiştir. Toz bastırma verimliliğini değerlendirmek veya modellemek için deneysel yöntemler ve matematiksel modeller üzerinde yürütülen önceki araştırmalar da tartışılmıştır. Sonuç olarak, dökme malzeme taşıma uygulamalarında spreylerin ve tozun tüm kritik özelliklerini taklit edebilen sprey sistemlerinin toz yakalama verimliliğini değerlendirmek için yeni bir test teçhizatı geliştirmek gerekliliği, yakalama etkinliğinin mevcut matematiksel modelleri, mühendislere püskürtme sistemlerinin etkinliğini tahmin etmede güvenilir bir yöntem sağlamak için yeni püskürtme sistemleri için hem laboratuvar hem de saha deneyleriyle kontrol edilmeli/doğrulamanın önemi açıklanmıştır [38].

Bir diğer çalışmada Parçacık çapının kömür tozlarının ıslanabilirliği üzerindeki etkisini ve püskürtme yoluyla toz bastırma etkinliğini analiz etmek için 3 farklı kömür numunesi ve 6 farklı parçacık çapına sahip 18 farklı numune seçilmiştir. Kömür tozu püskürterek mikro özellikleri, ıslanabilirliği ve toz bastırma performansını değerlendirmek için bir dizi deney tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Mikro özellikler üzerindeki deneysel sonuçlara göre, hidrofilik oksijen içeren fonksiyonel grupların miktarı, parçacık çapının azalmasıyla birlikte kademeli olarak düşmüştür. Parçacık çapı azaldıkça, kömür tozunun özgül yüzey alanı kademeli olarak artarken, iç gözeneklerin ortalama çapı azalmıştır. Kömür tozunun ıslanabilirliği ile ilgili deneysel



sonuçlara göre, aynı özellikteki tozun ıslanabilirliği tane çapının azalmasıyla birlikte düşmüştür. Son olarak, püskürtme yoluyla toz bastırma verimliliğine ilişkin deneysel sonuçlara dayalı olarak, püskürtme yoluyla toz bastırma verimliliği hem kömür tozlarının ıslanabilirliği hem de  $\Delta D50$  değeri (damlacık çapı ile toz arasındaki farkın mutlak değeri) tarafından belirlendi. parçacık çapı). Kömür tozunun partikül çapı arttıkça püskürtme yoluyla toz bastırma etkinliği önce artmış, sonra azalmıştır [39].

Sanayi devrimi ile üretim artmış ve sonucunda insanlar daha refah yaşamaya başlamıştır. Sanayi geliştikçe de çevre sorunları oluşmaya başlamıştır. 1970'li yılların başında iklim değişiklikleri önemli olmaya başlamış ve şirketler de bu durumu daha çok önemsemeye başlamışlardır. Üretim sektörü geliştikçe son zamanlarda çevreye olan duyarlılık da önem kazanmıştır. Bu durum uluslararası anlaşmaların ve yaptırımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Şöyle ki; Fosil yakıtların 1960'lı yılların başında kullanım oranı %94 iken, günümüzde ise bu oran %75'lere gelmiştir. Ancak azalmaya nazaran rağmen karbondioksit emisyonları 1960 yaklaşık 3,5 kat artmıştır. Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte Avrupa Birliği'nin bu süreçte başka hedefleri de vardır. Bunlar arasında çevreye zarar vermeyecek teknolojilerle üretim yapmak, bu anlamda da sanayide ki tüm sektörlerde çevre yatırımlarını desteklemek, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi sağlamak yer almaktadır [40].

Kok bataryalarının büyük bir çevre kirliliği ve emisyonu sebep veren tesisler olduğu unutulmamalıdır. Ancak, aşağıdaki üç emisyon kaynağı türünü karıştırmamak gerekir Bunlar;

- Bataryanın ısıtılmasından kaynaklanan baca gazları ve borular ile taşınan ve çeşitli tozdan arındırma tesisleri baca ile ayrılan yönlendirilmiş emisyon kaynakları.
- Düzenli çalışma sırasında ortaya çıkan yaygın kirleticiler örneğin; kömür ve kok kullanımı, kömür ve kok kömürü taşımacılığı, kömür harmanlama tesisleri, fırın bacaları ve kok söndürme sistemleri. Bu emisyonların çoğu toz bastırma sistemi ile giderilebilirler.
- Bataryadaki kaçaklardan meydana gelen emisyonlar, örneğin. Kılavuz,şarj ve

itici arabasından, fırın kapılarından, tali mahsul tesislerindeki sızıntıları en aza indirmek için, ilk önce iyi bakım yapılmalıdır [41].

Kokun deşarj yapılmasından hemen önce, fırın kapıları açılır. Kok, fırından bir kılavuz arabası ile söndürme vagonuna dökülür. Yeni sistem fırınlarda toz toplama sistemi olduğundan söndürme vagonunda davlumbaz vardır. İtme sırasında oluşan emisyonlar torbalı sistem bir toz toplama sisteminin uygulandığı durumlarda, filtreden önce yangını önlemek amacı ile kıvılcımların söndürülmesi gerekir. Toz toplama sistemi kurulan bir kok bataryasında emisyon değeri 1 mg / Nm<sup>3</sup>'ün altında olduğu gözlenmiştir [42].

Xie ve diğer arkadaşı, çalışmalarında bir filtreleme siklonu ve ortak siklonu olan bir toz bastırma sistemi sunmuştur. Büyüklüğü 2,5 µm'den büyük olan daha büyük parçacıkların çoğu, bir toz toplama sisteminde toplanır. Daha sonra, boyutu 2,5-5 µm olmayan ince parçacıklar, filtre kartuşu tarafından filtre edilir. Kartuş filtreleme siklonunun basınç düşüşü, toplam ayırma verimliliği, derecelendirme verimliliği ve temizleme aralığı dahil olmak üzere performans parametreleri deneylerle incelenmişlerdir. Sonuçları, geleneksel siklon ayırıcı ve kartuş filtresine göre özel avantajlara sahip olduğunu, partiküllerin ayrılmasının ve yakalanmasının etkisini etkili bir şekilde arttırdığını göstermiştir [43].

Toz bastırma sistemlerinin bir avantajı da tozu tekrar malzemenin üstüne düşürüldüğü için, bir toz toplama sisteminde olduğu gibi, yeniden işleme tabi tutulmasının gerekmemesidir. Bastırılan toz, ana malzemeye düşer ve daha sonra malzemeyi proseste yolculuğuna devam eder. Malzemenin nemli olmasına tahammül yoksa bir toz bastırma sistemi önerilemez [44].

Swanson ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada, Tüm madencilik operasyonlarının, çalışanlarının ve çevredeki ortamların sağlık ve güvenliğine bağlı olması gerektiğini, yetersiz iş güvenliği ve yetersiz sağlık koruması kazalara ve hastalıklara yol açmakla kalmayacağını, aynı zamanda ölçülmesi zor olan önemli bir ekonomik etkiye de sahip olacağını göstermişlerdir. (Ehnes 2011). İşverenin kendisini güvenlik ve esenliğine adanmış bir iş gücüne sahip olmak her maden

yöneticisinin çıkarınadır. Bunu yapmak için, işçileri solunabilir zararlı tozdan korumak için toz kontrol önlemlerinin alınması gerekir. Sürekli maruz kalma ile, toz alveollere geçer, kalır ve akciğer dokusunu etkiler ve solunum yolu hastalığı ile akciğerlerin çalışmasını sınırlar. Madendeki solunabilir tozun kontrolü kritik öneme sahiptir. Su püskürtme sistemlerinin kullanımı da dahil olmak üzere çok sayıda toz kontrolü yöntemi uygulanabilir. Bu sistemler, toz emisyonunun yanı sıra havaya karışan tozun baskılanmasını da önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Püskürtme başlığının amacına bağlı olarak, püskürtme özellikleri uygulama ve çevresel kısıtlamalara uygun olmalıdır. Temel araştırma, hangi püskürtme kriterlerinin merkezi öneme sahip olduğunu ve bunların çeşitli durumlarda nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir [45].

Literatür çalışması değerlendirildiğinde; Konu son zamanlarda özellikle havaya gaz, toz ve emisyon salınımlarında yüksek maliyetli toz toplamalar yerine nem kabul dileyen yerlerde daha düşük maliyetli toz bastırma sistemlerinin tercih edilebileceği, önümüzdeki yıllarda ise birçok alanda sıklıkla kullanımının artacağı görülmektedir. Literatürde bu konu ile ilgili özellikle açığın kapatılması ve bilgi edinilmesi amacı ile, bu sistemlerin özellikle de kok fabrikalarında uygulanabilirliğini de gösterebilmek amacı ile bu çalışma yapılacaktır.

## BÖLÜM 4

### YÖNTEM

#### 4.1. KOK SÖNDÜRME VAGONETİ FANLI TOZ BASTIRMA ÜNİTESİ

Kok bataryalarında, kok itmesi esnasında söndürme vagonetine düşerken Şekil 4.1’deki gibi oluşan ve havaya karışan tozun giderilmesi amacı ile itme esnasında devreye giren ve tozun bastırılarak vagonet üzerine geri düşmesini sağlayan sistemdir.



Şekil 4.1. Kardemir kok bataryalarında kok itme esnasında havaya çıkan toz.

## 4.2. İTME ESNASINDA ÇIKAN TOZUN ÖZELLİKLERİ

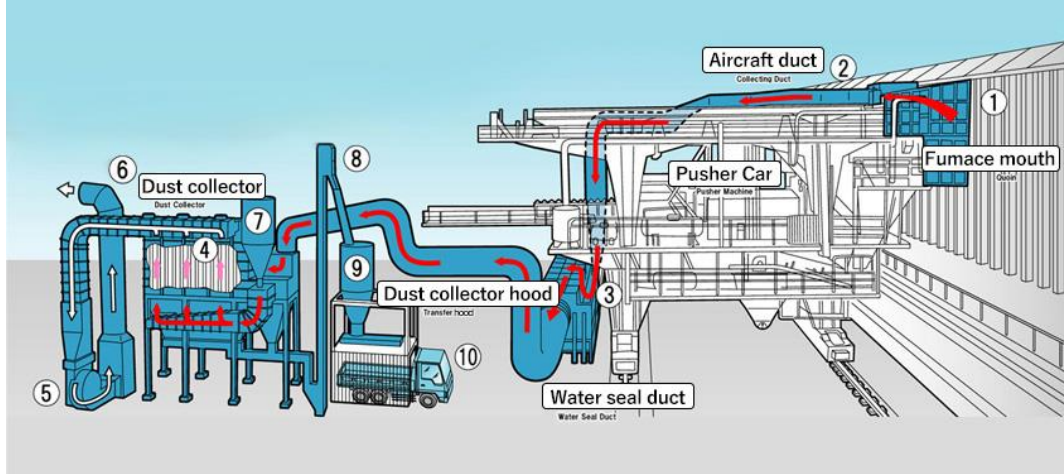
İtme esnasında çıkan toz kok tozu olup, özellikleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kok tozu özellikleri.

	<b>Kül</b> (%)	<b>Uçucu madde</b> (%)	<b>Serbest</b> <b>Karbon</b> (%)	<b>Kükürt</b> (%)
<b>Ortalama (%ağ.)</b>	15,17	1,22	83,62	0,50

## 4.3. TASARIM VE PROJELENDİRME ÇALIŞMALARI

İtme esnasında oluşan tozun giderilmesi için dünyada diğer kok bataryalarında uygulanan sistem toz toplama sistemidir.



Şekil 4.2. Kok bataryaları toz toplama sistemi şematik gösterimi [46].

Şekil 4.2’de görüleceği üzere kok bataryalarında toz toplama sistemi kurmak için büyük bir alan gereklidir. Kardemir A.Ş. kok fabrikalarında yeterli büyüklükte bir alan olmadığından henüz dünyada da bir örneği bulunmayan toz bastırma yönteminin denemesine karar verilmiştir.

İtme esnasında vagonetin hareketli olması, kılavuz arabası üzerinde teknolojik ekipmanların olması nedeni ile vagonet üzerinde sabit fanlı toz bastırma sistemi kurulmasına karar verilmiştir.

#### 4.4. SİSTEMİN EKİPMANLARI

Sistem ekipmanları tasarlanırken öncelikli kriter ünitenin söndürme vagonunun neresine konumlandırılacağıdır. Bunun sebebi söndürme vagonunun söndürme kulesine girerken ünitenin söndürme kulesine çarpıp çarpmaması gerekmekte, kısıtlı alanda su tankı ile birlikte optimum bir proje yapılmalıdır.

Sistemin en optimum ölçülerine ulaşılabilmesi için ünite su tankının üstüne konumlandırılacak, kuleye çarpıp çarpmaması için ise su tankı minimum kapasitede, en az 3 söndürme yetecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu su tankına göre de diğer ekipmanlar projelendirilmiştir.

##### 4.4.1. Su Tankı

Su tankı paslanmaz (AISI304) malzemeden, söndürme vagonunun iki baş tarafına konumlandırılacak ve sıgacak şekilde, min. 1.600 mm × 1.240 mm. × 500 mm. ölçülerinde bir dikdörtgenler prizması olacaktır. Buna göre su kapasitesi ise; %5 boşluklu olacağı varsayılacak ve kapasitesi buna göre hesaplanacaktır.

$$V = a \times b \times h$$

$$V = 1,6 \times 1,24 \times 0,5$$

$$V = 1,02 \text{ m}^3$$

Suyun özgül ağırlığı: 1.000 kg/m<sup>3</sup> alınırsa tanktaki su,

$$N_{\text{tank}} = V \times \gamma$$

$$N_{\text{tank}} = 1,02 \times 1.000$$

$$N_{\text{tank}} = 1.000 \text{ kg.} \times 0,95 = 950 \text{ kg. yaklaşık 1.000 lt. olacaktır.}$$

Bu tankın en az 10 söndürmede bir doldurulacağı kabulünden yola çıkarak yaklaşık su sarfiyatı maksimum 100 lt./söndürme olacaktır. Su tankına ait tasarım görseli Şekil 4.3'deki gibidir.

#### **2.2.5.1. Kok Gazı Tesisleri**

Gaz hattında 9 ön soğutucu, 5 elektro filtre, 6 egzoster, 3 satüratör, 4 son soğutma kulesi ve 6 benzol kulesi bulunmaktadır. Tesislerde kok gazının; katran, amonyak, naftalin ve benzolü giderilmesi ve temiz olarak şebekeye verilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir.

#### **2.2.5.2. Dekanter**

Kömürün nemi nedeni ile amonyak suyunun yoğunluk farkı ile katrandan ayrıldığı ekipmana denir. Amonyak suyunun bir kısmı, ham gazın soğutulması için bataryalarda kullanılır. Dekantör altından alınan malzeme işlenmek üzere katran fabrikalarına gönderilir.

#### **2.2.5.3. Ön Soğutucu**

Bataryalardan gelen kok gazının su sistemi ile su giriş sıcaklığının 5 °C üzerine kadar soğutulduğu ekipmanlardır. Soğutma sırasında yoğuşma ile ayrılan katran ve amonyak suyu dekantere gönderilir.

#### **2.2.5.4. Elektrofiltre**

Kok gazını barındırdığı, sis halindeki katrandan temizlenmesini sağlar.

#### **2.2.5.5. Egzoster**

Kok gazını bataryadan emerek şebekeye basan ekipmandır.

#### **2.2.5.6. Son Soğutucu**

Gaza su verilerek soğutulmasını ve gazda mevcut halde olan naftalinin temizlenmesini sağlayan ekipmanlardır.

#### **2.2.5.7. Benzol Yıkama Kulesi**

Kok gazının muhteva ettiği ham benzol yıkama yağı ile tutundurularak gazdan ayrıldığı tesislerdir.

Kok Fabrikalarında üretilen ham kok gazı temizlendikten sonra kok ve diğer proseslerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Koklaştırma sırasında açığa çıkan kok gazı; Amonyak, katran, naftalin ve benzol ayrıştırıldıktan sonra kok bataryalarında ve entegre tesislerin diğer ünitelerinde kullanılmak üzere ısıtma gazı olarak şebekeye verilir. Kok gazının temizlenmesi sırasında açığa çıkan yan ürünler ve tesisler aşağıda verilmiştir. Asıl amaç gazı yakıt olarak kullanılabilmesi için temizlemek olsa da, birçok yan ürün istenmeden elde edilmekte ve ticari olarak satılmaktadır.

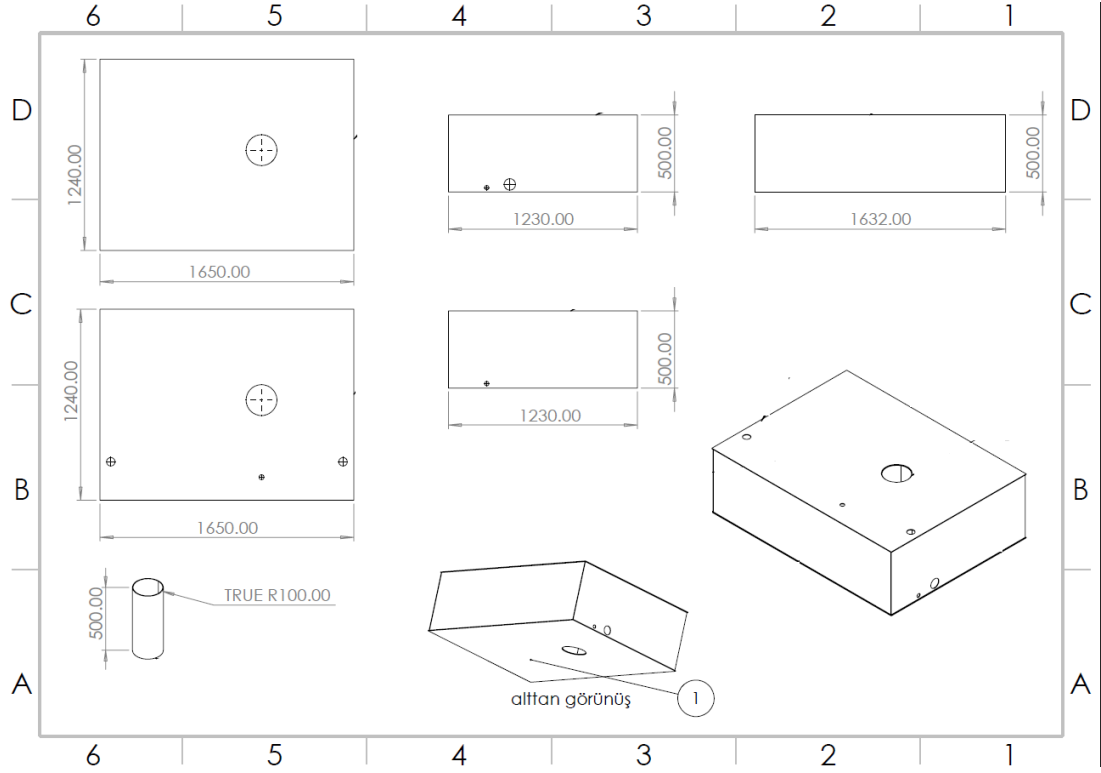
#### **2.2.5.8. Amonyum Sülfat Tesisi**

Kok gazı içerisindeki amonyağın uzaklaştırıldığı tesistir. Kok gazı içerisindeki amonyak %3-4 oranında sülfürik asit çözeltisi içeren doyuruculardan(satüratör) geçirilerek amonyum sülfat formunda tutulur. Çözeltideki amonyum sülfat kristalleri, hava ejektörleri ile doyunlaştırıcılardan santrifüjlere alınır. Santrifüjlerde solüsyondan ayrıştırılan kristaller kurutma tesisine gönderilerek kok gazı yakılarak kurutulur ve 50 kilogramlık polietilen torbalarda amonyum sülfat olarak satılır. Kardemir A.Ş. yılda 6.000 ton amonyum sülfat satmaktadır.

#### **2.2.5.9. Benzol Fabrikaları**

Kok gazı içindeki benzolün tutulduğu ve işlendiği tesislerdir. KARDEMİR’de Her biri 4.500 ton/yıl kapasitesinde iki Benzol Fabrikası mevcuttur. Şekil 7. De benzol depolama tanklarından görüntü sunulmuştur. Benzol satışı ülkemizde yerel piyasaya satılmamakla birlikte ihrac edilmektedir.





Şekil 4.3. Su tankı teknik resmi.

#### 4.4.2. Aksiyel Fan

Aksiyel fanın hesabı aşağıdaki gibidir.

Q: 150.000 m<sup>3</sup>/h

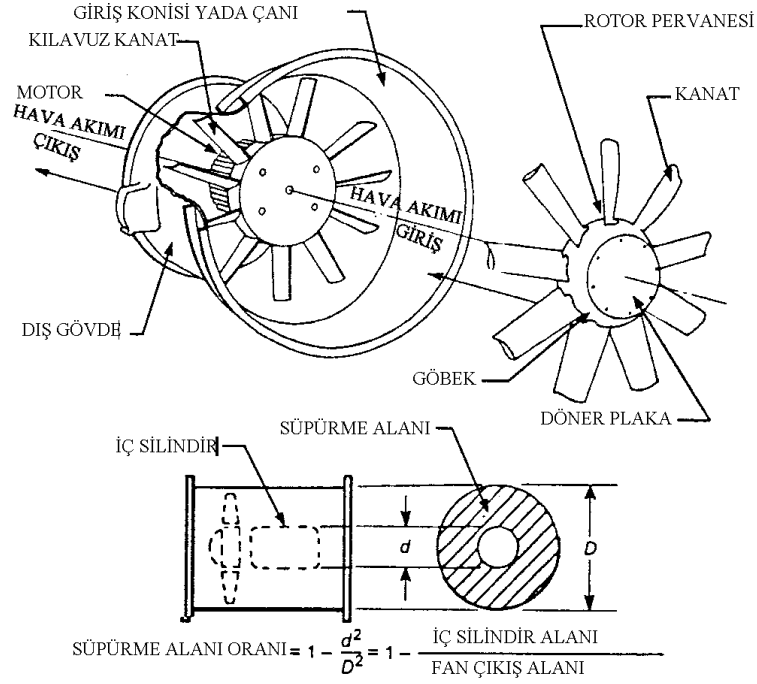
$\Delta P_t$ : 55 mss

$P_{fan} = Q \times \Delta P_t / (3600 \times 102)$  formülünden;

$P_{fan} = (150.000 \times 55) / (3600 \times 102)$

**$P_{fan} = 22,46 \text{ Kw}$**

Şekil 4.4 'de kullanılacak olan aksiyel fanın şematik görseli verilmiştir.



Şekil 4.4. Aksiyel fan şematik görüntüsü [47].

#### 4.4.3. Nozul

Nozul, su veya sıvı püskürtme sisteminde borulara veya borunun üzerine takılarak suyu püskürtmek için kullanılan ekipmandır. Nozullar, farklı alanlarda farklı şekillerde su püskürtmek için kullanılır. Nozul yekpare olabileceği gibi sökülüp takılabilen parçalardan da oluşabilir. Farklı miktarlarda su püskürtebilirler, çalışma basınçları, bağlantı şekilleri, püskürtme debileri ve püskürtme açıları farklı olabilir. Bu çeşitlilik, bugüne kadar farklı ihtiyaçlar için değişik nozul tasarımlarının geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmesidir [48].

Nozullar 5 temel bileşene göre sınıflandırılmaktadır.

Bunlar:

- Plastik yada metal, metal türevi malzemeden olanlar
- Basınçları düşük, orta, yüksek olanlar
- Dişli bağlantı yada jaklı, soketli olanlar
- 40gr/dk-1100 gr/dk püskürtebilenler

- Çizgisel, dairesel ya da yelpaze şeklinde püskürtme yapanlar

**1- Malzeme yönünden:** Nozulların malzemeleri plastik yada plastik türevi malzemedan üretilen nozullar ve metal yada metal türevi malzemedan üretilen nozullar olarak ikiye ayrılabilir. Bazı durumlarda ise kompozit malzeme içeren nozullar vardır. Metal nozullar genellikle paslanmaya karşı dayanıklı olması için paslanmaz çelikten veya pirinçten yapılır. Talaşlı imalat veya döküm malzemedan üretilenlerdir. Nozul malzemesi seçilirken sıcak, soğuk ya da suyun nereye vuracağı gibi sorular cevaplanarak seçim yapılır. Bazı yerlerde sıcaklık veya darbe gibi etkenler olabileceğinden ısıya ve darbeye dayanıklı nozullar kullanılmaktadır. Bu gibi yerlerde metal nozullar tercih edilmektedir. Bazı yerlere kimyasallar püskürtüleceği için plastik nozullar daha uygun olacaktır.

**2- Basınç dayanımı:** Nozullar belli bir basınç aralığında çalışacak şekilde üretilirler. Minimum ve maksimum çalışma basıncı önemlidir. Çalışma basıncı, nozulun ürün açıklamasında belirtilen basınçtan düşük ise faydalı bir sprej elde edilemez. Belirtilen üst basıncın üzerinde bir basınçta ise meme ya deforme olur ya da istenilen sonuç alınmaz. Basınç ne kadar yüksek olursa, püskürtme ve parçalanma o kadar ileri olacaktır. Basınç düştükçe suyun tane çapı artar ve püskürtme mesafesi azalır.

**3- Bağlantı şekli:** Soket girişli ya da yüksek basınçlı ise dişli bağlantılı nozullar kullanılmaktadır.

**4- Püskürtme miktarı:** Bazı yerler için suyu kalın ölçülerle püskürtmek gerekirken, bazı yerlerde suyu çok ince sis şeklinde püskürtmek gerekir. Parçacıklar kalınlaştıkça su tüketimi artacaktır. Nozullarda önemli kriter ne kadar su püskürteceğidir. Dakikada ki su sarfiyatı çok önemlidir.

**5- Püskürtme şekli:** Bazı nozullar dairesel, bazıları çizgisel bazıları ise yelpaze şeklinde püskürtme yapabilmektedir.

Bu kriterlere göre sistemde kullanılacak olan nozul;

- Malzeme yönünden ısıya dayanıklı olması açısından metal, korozyona

dayanıklı olması açısından paslanmaz,

- Faydalı bir püskürtme sağlanması açısından yüksek basınçlı,
- Yüksek basınca dayanıklı olması açısından dişli bağlantılı olacaktır.

Sistemde çalışacak nozulların, 1.000 lt. lik suyun en az 10 söndürme boyunca yetmesi gerektiği kabulünden yola çıkarak maksimum harcanacak su miktarı;

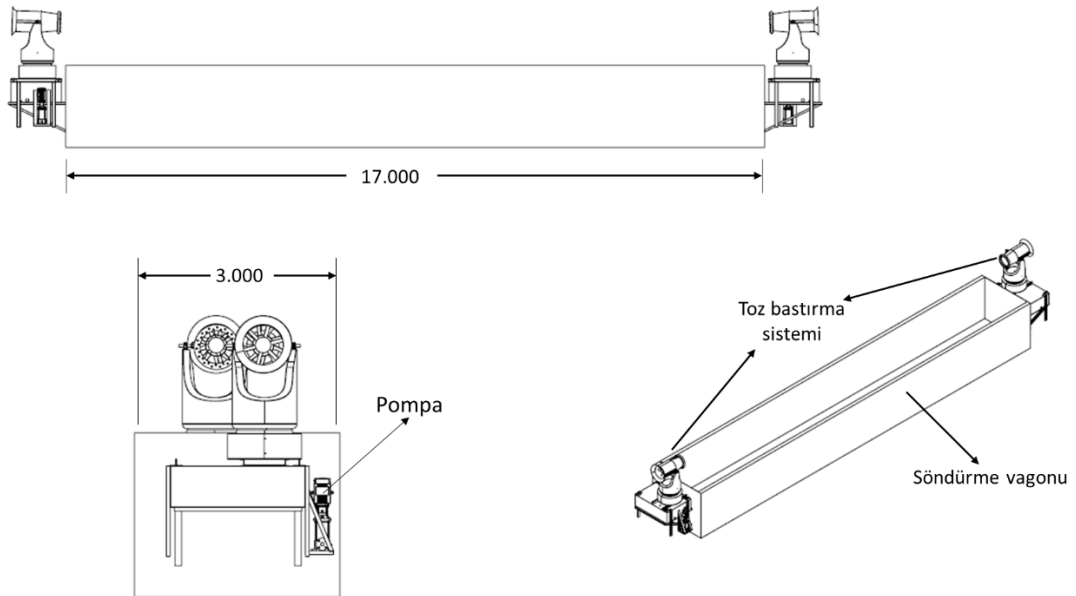
$$N_{\text{nozul}} = N_{\text{tank}} / 10$$

$$N_{\text{nozul}} = 1.000 / 10$$

$$N_{\text{nozul}} = 100 \text{ lt. (1 ünite için maksimum harcanacak su miktarı)}$$

Sistem nozulları bir kok deşarjı esnasında 1 ünite için (yaklaşık 45 saniye) maksimum 100 lt. su tüketecek miktarda tasarlanacaktır.

Söndürme vagonu boyu 17 metre, genişliği ise 3 metredir. Bu nedenle söndürme vagonunun her iki başına üretim prosesinin el verdiği kadar birbirlerinin atım mesafesini etkilememesi açısından şaşırtmalı konumlandırılacak, karşılıklı çalıştırılacaktır. Şekil 4.5’de bu duruma göre sistem söndürme vagonuna konumlandırılmıştır.



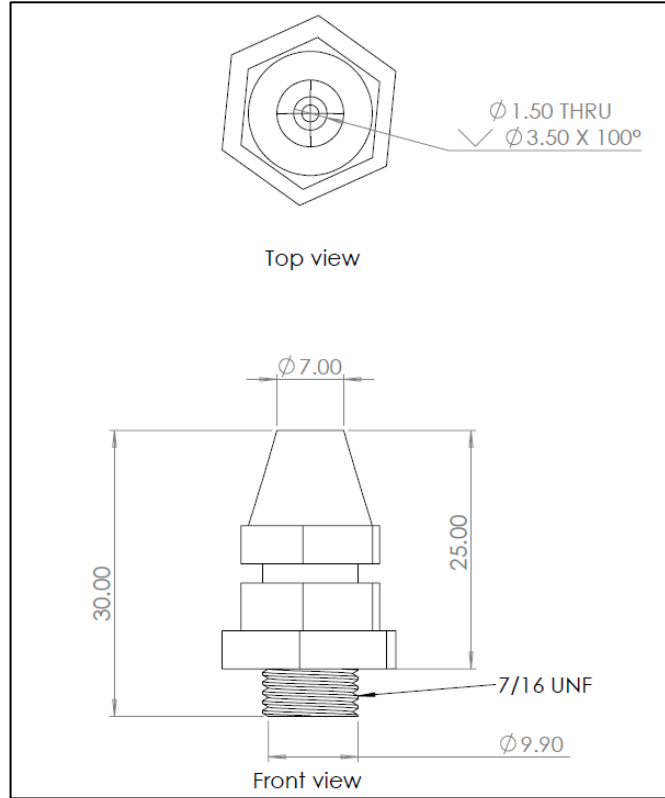
Şekil 4.5. Söndürme vagonuna toz bastırma sisteminin konumlandırılması

Sistemde çalışacak olan nozul bu veriler ışığında Çizelge 4.2'den seçilecektir.

Çizelge 4.2. Nozul seçim tablosu.

TİP	Çalışma basıncı (Bar)	Delik çapı (mm)	Su tüketimi (lt./dk)	Atma mesafesi (m)	Püskürtme açısı
1	0-10	0,8	1,5	25	30°
2	10-20	1	2,5	50	45°
3	<b>20-30</b>	<b>1,5</b>	<b>3,5</b>	<b>50</b>	<b>45°</b>
4	30-40	1,8	5	100	60°

Bahsedilen tasarım kriterlerine en uygun nozul olarak 3 no'lu nozul seçilmiştir.

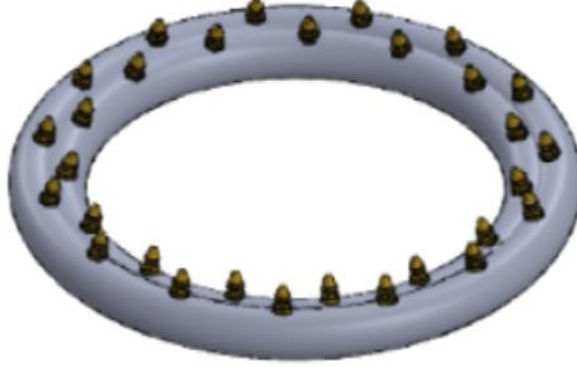


Şekil 4.6. Nozul teknik resmi.

#### 4.4.4. Ring (Halka)

Nozulların bağlandığı bir çeşit borudur. Fan çıkışında dairesel formda olacağından halka yada ring adını almıştır. Nozul sayısı ne kadar artarsa ring sayısı iç içe artabilir.

Ring tasarımımda nozullar nozul püskürtme açısına göre,birbirlerinin püskürtme açısını etkilemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Buna göre dış ring’de 15 adet ve iç ring de 15 adet olmak üzere toplamda 30 adet nozulun bulunduğu paslanmaz çelikten ve DN50 ölçüsünde borudan imal edilen ring kullanılmıştır. Genel kural olarak nozul dizilimlerinde üst üste püskürtme bindirimi %25-%40 aralığındadır [49].



Şekil 4.7. Nozulları bağlanmış iç içe 2 ring şematik gösterimi.

1 toz bastırma ünitesi için maksimum olması gereken su miktarı olan 100 lt./söndürme göz önünde bulundurulduğunda;

**$100 / 3,5 = 28,5$  yaklaşık olarak 1 ünite için 30 nozul kullanılacaktır. Buna göre;**

1 söndürme için harcanacak su miktarı (1 söndürme 45 saniye sürmektedir).

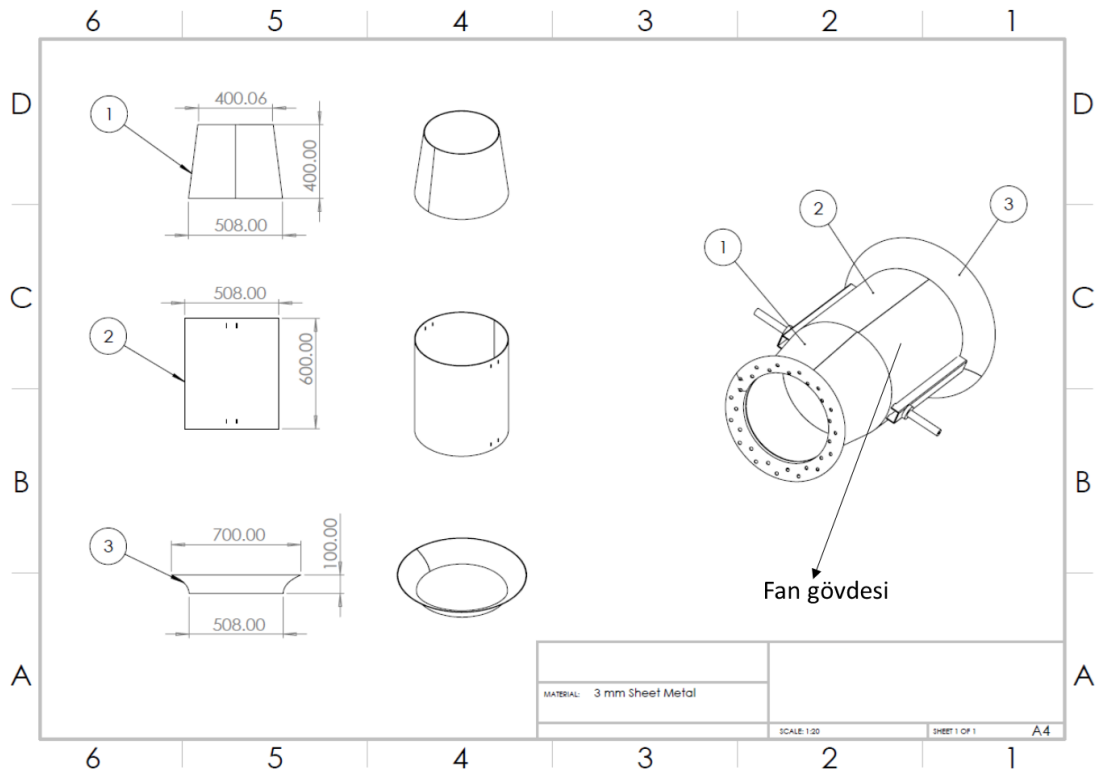
Ringdeki nozul adedi= 30 adet (15 adet İç ring, 15 adet dış ring)

- Toplam su sarfiyatı= 3,5 (lt./dk.) X 30  
Toplam su sarfiyatı= 105 lt/dk.
- 1 saniyedeki su sarfiyatı= 105/60
- 1 saniyedeki su sarfiyatı=1,75 lt/sn.
- 1 söndürmede için tek ünitedeki su sarfiyatı= 1,75 ×45
- 1 söndürme için tek ünitedeki su sarfiyatı=78,75 lt.
- Bu sarfiyat tasarım kriterimiz olan 100 lt.’den düşük ve uygun olarak seçilmiştir.

- 1 söndürmede için toplam su sarfiyatı=  $78,75 \times 2$
- 1 söndürmede, 2 ünite için toplam su sarfiyatı= 157,5 lt/söndürme olacaktır.

#### 4.4.5. Gövde

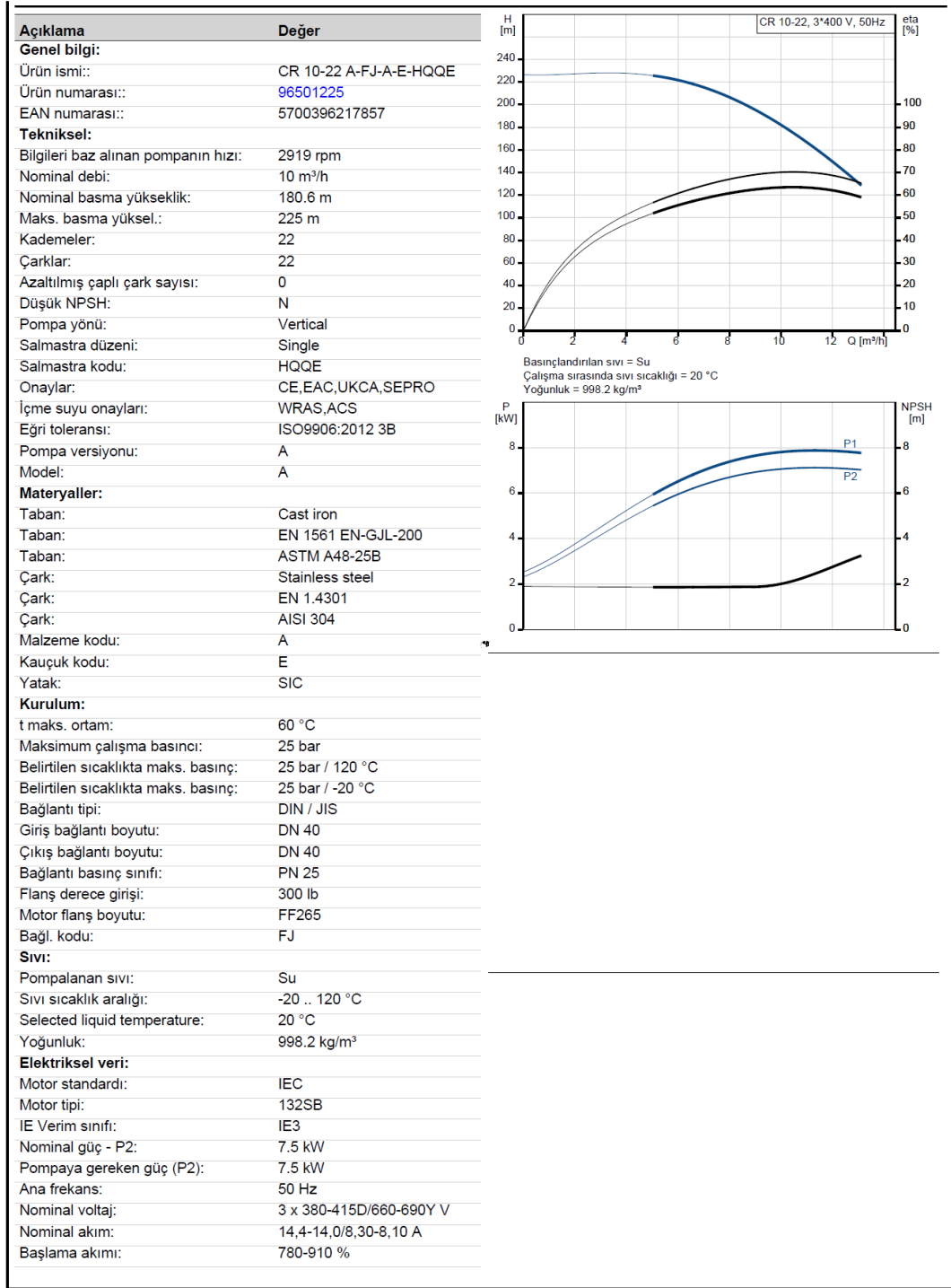
Gövde, çelikten ve tasarım kriterimiz olan yükseklik ve yer darlığı sebebi ile şekil 4.8’de görüldüğü gibi projelendirilmiştir. Fan çapı 500 mm olduğuna göre dış gövde 508 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 4.8. Fan gövdesi teknik resmi.

#### 4.4.6. Pompa

Sisteme tanktan su basacak olan pompa yer kıstası yüzünden dik pompa seçilmiştir. Bu pompa 10 m<sup>3</sup>/h basma kapasitesi olan dikey bir pompa seçilmiştir. Pompa özellikleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

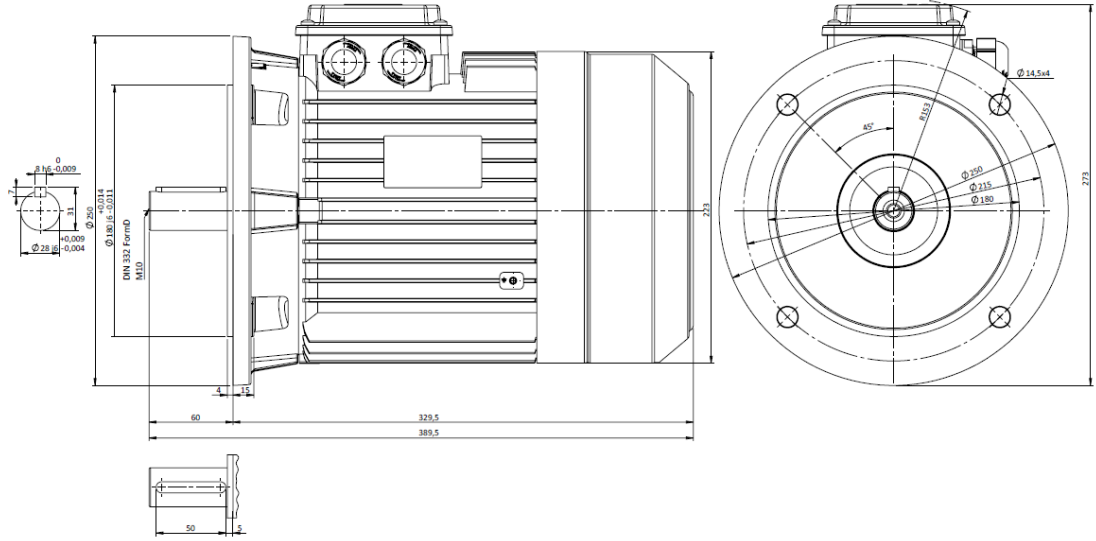


Şekil 4.9. Sistemde kullanılan dikey pompa özellikleri [50].



#### 4.4.7. Elektrik Motoru

7,5 Kw'lık bir pompa için aynı güçte bir elektrik motoru yeterli olacaktır. Motor açık ortamda çalışacağından IP65 koruma sınıfında olması zorunludur. Şekil 4.10'de kullanılan elektrik motorunun teknik çizimi vardır.



Şekil 4.10. Elektrik Motoru teknik resmi.

#### 4.5. SİSTEM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sistem söndürme vagonetinde hem lokomotif tarafına şekil 4.11'de hem de uç kısma Şekil 4.12'de görüldüğü gibi kurulmuş, teknik özellikleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görülen sistem 1.000 lt.'lik tankın üzerine yerleştirilmekte ve bu ölçülerle söndürme kulesinin içine de girebilmektedir.



Şekil 4.11. Lokomotif tarafı fanlı toz bastırma sistemi genel görüntüsü.



Şekil 4.12. Uç taraf fanlı toz bastırma sistemi genel görüntüsü.



Çizelge 4.3. Sistem teknik özellikleri.

<b>Su Atış Mesafesi (m.)</b>	<b>35</b>	<b>Dikey Dönüş Açısı</b>	<b>-20° +40°</b>	<b>Aydınlatma Lambası</b>	<b>var</b>
<b>Susuz Çalışma Emniyeti</b>	var	<b>Su pompası</b>		<b>İkaz Lambası</b>	var
<b>Net Ağırlık (kg)</b>	1.500	<b>Su Filtresi</b>	Disk tipi	<b>Ring adedi</b>	2
<b>Çalışma Basıncı (bar)</b>	20	<b>Basınc emniyeti</b>	var	<b>Spray Nozul Sayısı</b>	15-iç 15-dış
<b>Su Tüketimi (lt./dk.)</b>	105	<b>Fan Gücü (Kw.)</b>	22	<b>Pompa gücü (Kw)</b>	7,5

#### 4.6. TEST VE TOZ ÖLÇÜM METODU

##### 4.6.1. Sistemin Çalışma Prensibi

Sistem çalışma prensibi aşağıdaki gibi olmuştur.

- Kok itme başlamadan 3 sn. önce pompa ve fan çalışmaya başlayacaktır.
- Lokomotif tarafı ünite en uzak noktaya püskürtecek şekilde ve uç taraf ünite ise en yakın bölgeye püskürtecektir.
- Kok itilirken, lokomotif tarafı en yakına doğru, uç taraf ise en uzak noktaya doğru püskürtmeye programlanacaktır.
- Kok itilmesi tamamlandıktan 3 sn. sonra ise sistem duracaktır.

##### 4.6.2. Toz Ölçüm Metodu

Toz ölçümü için havada süspansiyon durumda bulunan katı ve sıvı miktarı belirlemesi Madde 6.2.3 de bahsedildiği üzere CEN/TR 16013-3 (aerosol monitör kullanarak partikül madde konsantrasyonunun direkt olarak okunması) standardı kapsamında ışık saçılması (optik yansımaya) metodu kullanılmıştır.

Bu ölçüm ile, işletme içerisinde yayılan partikül madde miktarının ölçülüp, bundan kaynaklanan ortamdaki madde miktarının tayinini esas almaktır.

Buradaki amaç, optik yansıma yapan cihaz yardımı ile ortamda havada asılı halde bulunan katı ve sıvı partikül madde miktarını belirlemektir.

Işık saçılması olarak adlandırılan bu yöntemde ortamdan alınan hava sabit debili bir pompa yardımıyla ışık demetinden geçirilir. Işık saçılması, hava örneğindeki parçacıklar tarafından meydana gelir. Saçılan ışık miktarı ile partikül madde miktarı arasında bir orantı vardır. Bu orana bağlı olarak ortam havasındaki partikül miktarı elektro devrelerin ortaya çıkardığı verilerle belirlenir.

#### 4.6.3. Test Ölçüm Cihazı

Sistemde kullanılan test cihazı Şekil 4.13’de görüleceği üzere DUST-RAK II aerosol monitör kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Dust-rak II Aerosol Monitör.

#### **4.7. SİSTEMİN TOPLAM ENERJİ SARFIYATI**

Bir söndürme arabası için 110 Kw 'lık bir enerji sarfiyatı söz konusudur. Kok fabrikalarında 2 adet söndürme arabası için ise 220 Kw elektrik gücü gereklidir.

## BÖLÜM 5

### İŞLEM ÇIKTILARI

#### 5.1. TOZ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

Yapılan toz ölçümü Çizelge 5.1' de verilmiştir. Bu çizelgeye göre öncelikle toz bastırma sistemi çalıştırılmadan önce bir ölçüm yapılmış, sonrasında ise toz bastırma sistemi çalıştırılarak ölçüm yapılmış ve ortamdaki inert veya istenmeyen tozlar için Kişisel solunabilir toz maruziyeti eşik sınır değerinin tozla mücadele yönetmeliği EK-1 de belirtilen  $5 \text{ mg} / \text{m}^3$  sınır değerinin altında bir değere ulaşılmıştır. Sistemin devreye girmesiyle toz miktarında %95 azalma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.1. Toz ölçüm sonuçları.

Durum	Tarih	Sıcaklık °C	1.ölçüm mg/m <sup>3</sup>	2.ölçüm mg/m <sup>3</sup>	3.ölçüm mg/m <sup>3</sup>	Ortalama mg/m <sup>3</sup>
Sistem kapalı	19.04.2023	18	17,00	18,55	16,65	<b>17,40</b>
Sistem açık			0,68	1,15	0,78	<b>0,87</b>

#### 5.2. ENERJİ SARFIYATI VE MALİYETİ

12.06.2023 tarihli EPIAŞ verilerine göre 1Mwh elektrik bedeli 2.100 TL olarak alınmaktadır. Bu veriye göre 220 Kw' lık sistemde saatlik, günlük, aylık ve yıllık veriler aşağıdaki Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Toz bastırma sistemi elektrik tüketimi parasal karşılıkları

<b>1 kWh elektrik EPIAŞ verileri ile 2,1 TL alınmıştır.</b>	<b>Elektrik tüketimi parasal karşılıkları</b>			
	Saat (TL)	Gün (TL)	Ay (TL)	Yıl (TL)
<b>Toz Bastırma Sistemi (220Kw)</b>	462	11.088	332.640	3.991.680

### 5.3. YATIRIM MALİYETİ

Fanlı toz bastırma sistemi için 07.12.2022 tarihinde imalatçı firma ile 109.843 USD'lik bir sözleşme imzalanmıştır.

### 5.4. GERÇEKLEŞME SÜRESİ

Sözleşme tarihinden itibaren 45 iş gününde tamamlanarak devreye alınmıştır.



## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları'nda toplamda 6 batarya 170 fırın bulunmakta ve günde 210 kez kok itme işlemi gerçekleştirilmektedir. Eski bir tasarıma sahip kok bataryaları için hem alan sıkıntısı hem de fırın geometrisinin müsaade etmemesi nedeni ile bir toz toplama sistemi kurulamamıştır.

Günümüzde, çevreye karşı sorumlulukları her geçen gün artan Kardemir A.Ş alternatif sistemler araştırmış, dünyada henüz bilinen bir örneği bulunmayan vagon üzerinde toz bastırma sistemini kurmaya karar vermiş ve karar uygulamaya geçirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan ve kurulan sistem ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Emisyon ölçüm verilerine göre sistem çalışmıyor iken kişisel solunabilir toz maruziyeti eşik sınır değerinin tozla mücadele yönetmeliği EK-1 de belirtilen  $5 \text{ mg} / \text{m}^3$  sınır değerinin %348 üstünde bir değer ölçülürken sistem çalışıyor iken ise toz emisyonunda %82,6'lık azalma ile kabul edilebilir değerin çok altında bir değer elde edilmiştir.
- Kok fabrikalarında, kok itmesi sırasında açığa çıkan toz ve emisyonların giderilmesi için kurulan toz toplama sistemleri yaklaşık 5.000.000 USD'ye mal olmakta ve toz toplama ünitesi büyük bir alan kaplamaktadır. Bu tez çalışması ile kurulan toz bastırma sistemi ise 109.843 USD'ye mal olmuştur. Böylelikle ilk yatırım maliyetinde %97,8'lik bir tasarruf elde edilmiştir.
- Kok itme esnasında çıkan toz ve emisyonların giderilmesi için kurulacak olan bir toz toplama sisteminin fan gücü 1MW olacakken kurulan toz bastırma sisteminde ise 2 vagonette toplamda 220 kW'lık bir güç gereklidir. Bu sistemin hiç durmayan bir kok bataryasında sürekli çalışacağı düşünülecek olursa 24

saat çalışma prensibinde hem toz toplama sistemi hem de toz bastırma sistemi elektriksel maliyetleri yönünden karşılaştırıldığında 1 MW'lık fanı olan bir toz toplama sisteminin elektrik maliyeti 18.144.000 TL olurken, toz bastırma sisteminin yıllık elektrik maliyeti ise 3.991.680 TL olmaktadır. Bu durumda toz bastırma sistemi ile yıllık 14.152.320 TL'lik tasarruf elde edilmiştir.

- Kok fabrikaları prosesi gereği henüz yapım aşamasındayken gerek şarj emisyonları ve gerekse itme esnasında oluşan emisyonlarının giderilmesi için toz toplama sistemleri yapılmaktadır. Bu sistemler eski tip kok fabrikalarına fırın geometrilerinin uygun olmaması nedeni ile yapılamamakta bu durum hem çevre için tehlikeli olmakta hem de mevzuatlar açısından işletmeleri zor durumlara sokmaktadır. Kurulan toz bastırma sistemi özellikle eski tip fırınlara kurulamayan ya da kurulması çok zor olan toz toplama sistemlerine bir alternatif olmuştur.

Toz bastırma sistemlerinin özellikle de nemli olması kabul edilebilen malzemeler ve prosesler için demir-çelik fabrikalarında, çimento fabrikalarında, atık sahalarında, bina yıkımlarında daha çok kullanılması teşvik edilmelidir. İlerleyen çalışmalarda entegre demir çelik üretim tesisleri başta olmak üzere toz emisyonu meydana gelen farklı üretim tesislerinde de uygulama örnekleri yapılabilir. Ayrıca su püskürtme sistem tasarımları üzerine çalışmalar yapıp sistem etkinliğinin artırılması üzerine odaklanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Namlı,A., AnkaraÜniversitesi, “WHO’nün Hava Kirliliği Tanımı”, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81428/mod\\_resource/content/0/3.%20Hava%20kirlili%C4%9Fi.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81428/mod_resource/content/0/3.%20Hava%20kirlili%C4%9Fi.pdf), (2023)
2. İnternet: EPA, “Particulate Matter”, <https://www.epa.gov/pm-pollution>, (2021)
3. ASHRAE “IndoorEnvironmental Health” Handbook CD in Fundamentals-2001, Chapter9, Atlanta, USA, 2003. Owen, M.S. (Editor). (2009). *ASHRAE Handbook Fundamentals* (Inch-Pound Edition). Atlanta: ASHRAE Inc., 203-204.
4. Alptekin, O., “Binalarda iç hava kalitesi toz partiküllerinin iç mekan hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
5. İnternet: Bulgurcu, H., Deneysan, “Hava kalite indeksi”, [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf), (2024)
6. İnternet: T.C Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, “Demir Çelik Sektör Raporu”, [https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr\\_523\\_tn1d55sp\\_demir-celik-sektor-raporu-2014.pdf](https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_523_tn1d55sp_demir-celik-sektor-raporu-2014.pdf) (2014)
7. İnternet: SteelData, “2021 Yılı Dünya Ham Çelik Üretimi”, <https://www.steel-data.com/post/155/2021de-dunya-celik-uretimi-37-artisla>, (2022).
8. KARDEMİR Tesisleri Kapasite Raporu (2020)
9. İnternet: “Havadan Azot ve Oksijen Gazları Nasıl Elde Edilir.” <https://www.bilgeniz.com/havadan-azot-ve-oksijen-gazlari-nasil-elde-edilir/> (2023)
10. KARDEMİR Tesisleri Kapasite Raporu-2022
11. İnternet: “A typical coke oven battery. Brief process description (esquema de una batería de coque o cok).” – AVPIOP (patrimonioindustrialvasco.com)(2022)
12. KARDEMİR Dairesel stok sahası yatırımı-SDA firması çizimi (2014)
13. KARDEMİR Tesisleri Kapasite Raporu-2022
14. İnternet: Kok Söndürme Teknikleri “[https://www.mmo.org.tr/sites/kok\\_söndürme\\_teknikleri](https://www.mmo.org.tr/sites/kok_söndürme_teknikleri)” (2020)

15. Mühendis ve Makine dergisi Nisan Sayısı “Çelik üretiminde kok bataryalarının farklı söndürme sistemi tasarımlarının enerji verimliliğine etkisi “(2020)
16. Uslu,C “ Demirçelik sektöründe kok kuru söndürme sistemlerinin tekno-ekonomik ve çevresel analizi (Tez)” (2014)
17. Errera M.R. ,Milanez L.F. “Thermodynamic analysis of a coke dry quenching unit “ Brasil (1999)
18. Coke Quenching P.Liszio Duisburg/Almanya: Steel Academy (2016)
19. Uslu,C “ Demirçelik sektöründe kok kuru söndürme sistemlerinin tekno-ekonomik ve çevresel analizi (Tez)” (2014)
20. KARDEMİR “Kok 2 no’lu söndürme kulesi yapımı “IMASA /SPAIN (2019)
21. Mühendis ve Makine dergisi Nisan Sayısı “Çelik üretiminde kok bataryalarının farklı söndürme sistemi tasarımlarının enerji verimliliğine etkisi “(2020)
22. Thyssenkrupp. “Controlling Particulate Emissions from Coke Oven Plant Chicago- USA” Uhde group (2010)
23. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı “Çimento Sektöründe Tozla Mücadele Rehberi” (2016)
24. İ.Göktay EDİZ, Sunay BEYHAN, Şahin YUVKA “Madencilikte Toz Kaynakları ve Kontrolü” (1997)
25. İnternet: Toz Ölçüm Metodolojisi <https://www.baskentsaglik.com/toz-olcumleri> (2023)
26. Resmi gazete “Resmi gazete Tozla Mücadele Yönetmeliği-05.11.2013” (2013)
27. İnternet: Tozların Sınıflandırılması <https://istanbulvizyonosg.com/is-guvenligi/tozlarin-siniflandirilmesi/> (2023)
28. İnternet: Toz Teknolojisi ve Mikromeritik “TOZ TEKNOLOJİSİ VE MİKROMERİTİK (ankara.edu.tr)(2023)
29. İnternet: Solunabilir toz ölçümü tayini “<https://www.kipdasmuhendislik.com/is-hijyeni-olcum-test-ve-analiz-laboratuvari/25-solunabilir-toz-olcumu-toz-tayini.html>” (2023)
30. Edwin H. Peterson “Foundations, daha temiz, daha güvenli, daha verimli toz ve malzeme kontrolü için pratik kaynak” dördüncü baskı (2012)
31. Türk Standartları Enstitüsü: TS13883
32. İnternet: Fanlı Sistem Toz Bastırmalar “<https://sismak.com.tr/fanli-sistem>”/ (2023)

33. ÇSGB “İşletmeler İçin Hava Emisyonu Esas ve Sınır Değerleri” (Değişik: RG-20/12/2014-29211) Ek-1 (2014)
34. İnternet: Kohezyon ve adezyon tanımlaması <https://www.aykutozdemir.com.tr/insaat/kohezyon-ve-adezyon.html> (2023)
35. Development and Application of Dust Suppression Technology ,Jon Robert, , “Coal Operators Conference” (2018)
36. Case Study: Design Of A Longwall Bsl And Discharge Hood Dust Suppression System, David Hastie “9th International Conference on Conveying and Handling of Particulate Solids” (2018)
37. Synergistic effect of surfactant compounding on improving dust suppression in a coal mine in Erdos, China Xiaonan Wang , Shujie Yuan, Xiang Li , Bingyou Jiang “Powder Technology”(2019)
38. Dust Suppression Efficiency of Spraying Systems, Rongfu Liao , “Conference on Bulk “(2019)
39. Influence of particle diameter on the wettability of coal dust and the dust suppression efficiency via spraying, Pengfei Wang, “Process Safety and Environmental Protection”(2019)
40. Y.lisans tezi: S.TÜRKYILMAZ “Entegre Demir Çelik Tesisleri Yan Ürünleri Kullanılarak Reaktivitesi Arttırılmış Kok Üretimi” (2022)
41. İSG Uzmanlık Tezi, F.G. YAVUZ, “Demir Dökümhanelerinde Çalışanların Toz, Silis Ve Ağır Metal Maruziyetlerinin Değerlendirilmesi” (2016)
42. Endüstriyel Emisyon Direktifi, Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Birimi Avrupa IPPC Bürosu, “Demir Çelik Üretimi için Mevcut En Uygun Teknikler (MET) Referans Belgesi Endüstriyel Emisyon Direktifi” (2010)
43. Xie, B., Li, S.H., Jin, H., Hu, S., Wang, F. and Zhou, F. B.. “Analysis of the performance of a novel dust collector combining cyclone separator and cartridge filter. *Powder Technology*, 339, 695–701.” (2018)
44. Martin Engineering Foundation “4.baskı Sh.316-321” (2012)
45. Fundamental research in water spray systems for dust control, John-Glen Swanson, “Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology”(2015)
46. İnternet: <https://www.shi-pe.shi.co.jp/english/products/coke/>
47. İnternet: FAN VERİMİ Prof. Dr. Haşmet Türkoğlu Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi 13 Ekim, 2010 (cankaya.edu.tr) (2010)

48. İnternet: Nozullar “Dr.Nozzle - FTR MAKİNA KİMYA METALURJİ A.Ş. | HOŞGELDİNİZ”
59. İnternet: Nozul Nedir? Su Püskürtme Spreyleme Başlığı Nasıl Seçilir? Sisleme Başlığı, Sisleme Memesi Ne İşe Yarar? “www. sismist.com.tr” (2022)
50. Grundfos kataloğu (2023)

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KARAARSLAN ilkokulu Merkez İlköğretim okulunda, Ortaokulu Yenişehir Ortaokulu'nda, liseyi Demir Çelik Lisesi'nde tamamladı. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında mezun oldu. 2002 yılında Çorlu'da bir asansör fabrikasında şantiye şefi, 2003 yılında Kroman Çelik Sanayii A.Ş 'de haddehaneler kalibre mühendisi olarak görev yaptı. 2004-2005 yılları arasında kendi aile şirketlerinde çalıştı. 2005 yılından bu yana Kardemir A.Ş 'de çalışmakta olup 2013 yılından bu yana Makine Yatırımlar Başmühendisi olarak görevini sürdürmektedir. Kardemir'in 2005 yılından günümüze kadar yapılmış birçok tesis yatırımında görev almıştır.