



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ATIK ÇAMUR YAKMA TESİSİ  
TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

**SELİM BÜYÜKPOYRAZ**

**Yüksek Lisans Tezi**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK ÇAMUR YAKMA TESİSİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

**SELİM BÜYÜKPOYRAZ**

0000-0002-7297-9022

Prof. Dr. Atakan AVCI

0000-0002-5985-2449

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2020

## TEZ ONAYI

Selim BÜYÜKPOYRAZ tarafından hazırlanan “**ATIK ÇAMUR YAKMA TESİSİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Atakan AVCI

**Başkan :** Prof. Dr. Atakan AVCI

0000-0002-5985-2449

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

0000-0003-0087-2629

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Dr. Öğr. Üye K. Furkan SÖKMEN

0000-0001-8647-4861

Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**

**Enstitü Müdürü**

.././.....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**03/09/2020**

**İmza**

**Selim BÜYÜKPOYRAZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ÇAMUR YAKMA TESİSİ VE OPTİMİZASYONU

**Selim BÜYÜKPOYRAZ**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atakan AVCI

Bu çalışmada; belediye atık çamurlarının kurutma işlemi uygulamadan yaş halde yakılabilirliği ve bunun ekonomikliği araştırılmıştır. Bu amaçla 400 Ton / gün kapasiteli yaş çamur yakma tesisinin tasarım ve termodinamik analizleri yapılmıştır. Tesis işletmeye alındıktan sonra yapılan test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu verilerden hareketle atık çamurun yakma yoluyla bertaraf edilmesinin farklı şartlar altında ekonomik maliyetleri hesaplanmış ve ön kurutmalı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; yaş çamur yakılmasının ön kurutmalı sistemlere göre daha ekonomik ve çevreye daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Akışkan Yataklı Kazan, Yakma Teknolojileri, Kurutma Teknolojileri, Tesis ve Proje Tasarımı, Çamur Analizleri, Yanma koşulları ile doğalgaz tüketimi, Elektrik Üretimi, Emisyon verileri,  
**2020 ix + 361 sayfa.**

# **ABSTRACT**

MSc Thesis

## **WASTE MUD BURNING PLANT AND OPTIMIZATION**

**Selim BÜYÜKPOYRAZ**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Atakan AVCI

In this study; The applicability of municipal waste sludges in wet form without drying process was investigated. For this purpose, the design and thermodynamic analysis of the 400 m / day wet mud burning plant was carried out. The facility was compared with the test results made after it was put into operation. Based on these data, the economic costs of waste sludge disposal by combustion were calculated under different conditions and compared with pre-dried systems. As a result, it was concluded that the burning of wet mud is more economical and more environmentally friendly than pre-dried systems.

**Keywords:** Fluidized Bed Boiler, Combustion Technologies, Drying Technologies, Plant and Project Design, Combustion conditions and natural gas consumption, Electricity Measurements, Electricity Production, Emission data,

**2020, ix + 361 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, şehirlerde arıtma tesislerinin Çamur problemleri, Mevcut çamur depolama tesislerinin yetersizliği, Koku problemi, Yer problemi, Şikayetler, Patojen mikroorganizmalar sorun oluşturduğu bir ortamda, Çamurun yakılarak ve içerisindeki suyun buharlaştırılarak stabilizasyonu ve hacminin azaltılması, Açığa çıkan suyun geri kazanımı, İşlem sırasında ortaya çıkan atık ısıdan yararlanılarak da elektrik üretimi, Yanma sonucu oluşan atık ürün küllerin tarım arazilerinde kullanılarak ekonomiye kazandırılması hedeflenmektedir.

Şehirlerimizde oluşan atıkların değerlendirilerek ekonomiye katkı, yeni teknolojik gelişmelerin oluşmasına öncülük yapmaktır. Ayrıca bu tür çalışmaların örnek teşkil ederek ülkemizin diğer şehir ve kurumlarında da uygulanması ile ekonomik gelişim ve çevreye karşı sorumluluk bilincinin arttırılması da hedeflenmiştir.

Öncelikle yüksek lisans eğitimime başlamam için beni teşvik eden, tez çalışmam boyunca çok değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, hoşgörü ve anlayışıyla bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana destek olan saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Atakan AVCI'ya, Üniversitemizin Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ Hocama teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma süresince, bana destek ve katkılarını esirgemeyen Bursa Büyükşehir Belediyesi Doğu Arıtma Atık Yakma Tesisi İşletmecisi KUZU GRUP Genel Müdürü Sn. Ekrem DEMİR'e, teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Adı Soyadı  
Selim BÜYÜKPOYRAZ  
03/09/2020

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>ÖNSÖZ</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	xv
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	17
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	23
3.1. Çökelti Çamur Kurutulması Uygulamaları.....	23
3.2. Çökelti Çamuru Kurutma Prosesinin Temel Kavramları .....	25
3.2.1. Su Bağlantısı.....	25
3.2.2. Kısmi / Tam Kurutma.....	27
3.2.3. Geriye Karıştırmalı Tam Kurutmada Geri Dönüş Oranları.....	27
3.3. Isı ve Malzeme transferi.....	28
3.3. 1. Konveksiyonlu Kurutma.....	28
3.3.2. Kontaklı Kurutma.....	29
3.3.3. Işıma Kurutması.....	30
3.3.4. Isı taşıyıcılar.....	30
3.4.Kurutma prosesi.....	30
3.5. Kurutma Yöntemleri.....	31
3.5.1. Kontaklı Kurutucu.....	32
3.5.2. Konveksiyonlu Kurutucular.....	35
3.5.3. Işıma Kurutucuları.....	41
3.5.4. Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	42
3.5.5. Enerji Beslemesi ve Isı Enerjisi Geri Kazanımı.....	43
3.5.6. Çökelti Tesisinin Geri Yüklenmesi.....	46
3.5.7. Bertaraf Etme Yolları ve Ürün Kalitesinin Gereklere.....	48



3.5.8. Atık Çamur Kurutma Tesisi ve Bertaraaf Maliyet Analizi.....	51
3.6. Çamurun Yakılması.....	51
3.6.1.Akışkan Yatak İşlemi.....	51
3.6.2.Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi.....	52
3.6.3. Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantajları.....	53
3.6.4.Akışkan Yataklı Kazanların Sınıflandırılması.....	54
3.6.5. Atık Yakma Teknikleri.....	57
3.7. Bursa Büyükşehir Belediyesi 400 Ton/Gün Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi.....	62
3.7.1. Proje Genel Tanıtımı.....	62
3.7.2. Temel Tasarım.....	62
3.7.3. Teknik Özellikleri.....	64
3.7.4. Akışkan Yatak Prosesinin Açıklaması.....	68
3.7.5. Akışkan Yataklı Fırın.....	70
3.7.6. Akışkan Yataklı Fırın Tasarım Bilgileri.....	78
3.7.7. Tasarım Kapasitesi.....	80
3.7.8. Isı Geri Kazanım Ekipmanları .....	86
3.7.9. Atık Isı Geri Kazanım Ekipmanları .....	87
3.7.10. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi Ekipmanları.....	87
3.7.11. Atık Isı Kazanı ile Buhar Türbini ve Jeneratörü (Elektrik Üretim Bölümü).....	91
3.8. Termik Degazör.....	93
3.9. Kızdırıcı/ Buhar Üretici ve Ekonomizer.....	94
3.10. Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi.....	95
3.11. Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eşanjörü).....	96
3.12. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi Emisyon Kontrol Sistemleri.....	97
3.11.1. Çoklu Siklon.....	97
3.11.2. Aktif Karbon ve Kireç Reaktörü.....	98
3.11.3. Jet Pulse Torba Filtre.....	99
3.11.4. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi.....	100

3.11.5. Kül Nakil Sistemleri.....	102
3.11.6. Kireç Dozlama Sistemi.....	102
3.11.7. Aktif Karbon Dozlama Sistemi.....	103
3.11.8. Dioksin ve Furanların Giderilmesi.....	103
3.11.9. Siklon Kül Silosu.....	103
3.11.10. Filtre Altı Kül Silosu.....	104
3.11.11. Kireç Silosu.....	105
3.11.12. Kum Silosu.....	105
3.11.13. Sistemin Çalışması.....	106
3.11.13. Sistemin Çalışma Prosedürü.....	106
3.12. Jet Pulse Filtre.....	109
3.13. Ana Emiş Fanı ve Baca.....	110
3.13.1. Çamur Depolama Siloları Koku Giderimi.....	110
3.14. 400 Ton/Gün Kapasiteli Akışkan Yataklı Çamur Yakma Ve Enerji Elde Etme Tesisinde Kullanılan Pompa, Fan, Blower, Kompresörlere ait Teknik Bilgileri.....	111
3.14.1. Pompa Kullanım Yerleri ve Pompa Teknik Bilgileri.....	112
3.14.2. Fan Kullanım Yerleri ve Pompa Teknik Bilgileri.....	112
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>114</b>
4.1. Termodinamik Kanunları.....	114
4.1.1. Sürekli akışlı açık sistemler (Kontrol hacmi) için enerji dengesi.....	114
4.1.2. Birinci yasa verimi.....	115
4.2. Evsel Atık Yakma Tesisi Kütle Dengesi.....	116
4.2.1. Kütle Dengesi Hesabı.....	116
4.2.2. Enerji Dengesi Hesabı.....	118
4.3. Isı ve Kütle Dengesi Tabloları ( Yakma Fırını ).....	138
4.4. Atık Isı ve Buhar Türbini.....	138
4.5. Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eşanjörü).....	139
4.6. Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi.....	139
4.7. Emisyon Kontrol Tesisi, Bertaraf Uygulamaları.....	140
4.7.1. Multisiklon ve Multisiklon Dizayn Özellikleri.....	140

4.7.2. Reaktör ve Reaktör Dizayn Özellikleri.....	140
4.7.3. Baca Gazı Sönmüş Kireç (Ca(OH) <sub>2</sub> ) Enjeksiyonu.....	141
4.7.4. Jet Pulse Filtre ve Jet Pulse Filtre Dizayn Özellikleri.....	141
4.7.5. Filtre Dizaynı Tek Kompartıman Alanı.....	144
4.8. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi.....	144
4.9. Kireç Dozlama Sistemi.....	145
4.10. Ca(OH) <sub>2</sub> Enjeksiyonu Miktarı.....	145
4.11. Aktif Karbon Dozlama Sistemi ve Dizayn Özellikleri.....	146
4.12. Yakma Prosesi.....	147
4.13. Çamur Testleri ve Sonuçları.....	147
4.14. Akışkan Yataklı Yakma Prosesi.....	147
4.15. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesis Sistemini Ana Bölümleri.....	150
4.16. Performans Testleri Verileri ve Değerlendirilmesi.....	153
4.16. 1 No.lu Performans Testi ve Değerlendirme Sonuçları.....	154
4.16. 2 No.lu Performans Testi ve Değerlendirme Sonuçları .....	158
4.16. 3 No.lu Performans Testi.....	162
4.27.4. 4 No.lu Performans Testi.....	167
4.27.5. 5 No.lu Performans Testi.....	172
<b>5. SONUÇ VEYA TARTIŞMA.....</b>	<b>177</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>179</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>182</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
X	: çamur kuruluk derecesi (%22 ise 0,22 olarak)
T <sub>F</sub>	: akışkan yataklı fırın yanma odası sıcaklığı (°C)
T <sub>SH</sub>	: yakma fırınına verilen ve 1. Isı eşanjöründen çıkan ısıtılmış havanın sıcaklığı (°C)
T <sub>H</sub>	: çevre havası sıcaklığı (°C)
T <sub>C</sub>	: yakma fırınına verilen çamur sıcaklığı (°C)
H <sub>uc</sub>	: kuru çamurun üst ısıl değeri (kcal/kg)
H <sub>uG</sub>	: kullanılan doğal gazın üst ısıl değeri (kJ/Nm <sup>3</sup> )
y <sub>h</sub>	: elementel analize göre çamur içindeki hidrojen oranı (%4 ise 4 olarak kullanılacak)
y <sub>c</sub>	: elementel analize göre çamur içindeki karbon oranı (%42 ise 42 olarak kullanılacak)
y <sub>s</sub>	: elementel analize göre çamur içindeki kükürt oranı (%1 ise 1 olarak kullanılacak)
y <sub>o</sub>	: elementel analize göre çamur içindeki oksijen oranı (% 20,5 ise 20,5 olarak kullanılacak)
λ	: hava fazlalık katsayısı (%50 fazla hava ise 1,5 olarak kullanılacak)
φ	: izafi nem (%50 ise 0,5 olarak kullanılacak)
m <sub>k</sub>	: yakma fırınına giren çamurdaki kül miktarı (kg)
Q <sub>k</sub>	: yakma fırını ve bağlantılarında beklenen ısı kayıpları (kW)
N <sub>o2</sub>	: 1 kmol çamurun teorik (stokiyometrik) yanması için gerekli oksijen miktarı (kmol)
V <sub>G</sub>	: gaz tüketimi (Nm <sup>3</sup> /h(saat))
T <sub>i</sub>	İç Yüzey Sıcaklığı
T <sub>o</sub>	Dış Ortam Sıcaklığı
λ <sub>1</sub>	Tuğla Isı iletim Katsayısı
t <sub>1</sub>	Tuğla kalınlığı
λ <sub>2</sub>	Seramik Blok (Blok 1100) Isı iletim Katsayısı
t <sub>2</sub>	Seramik Blok (Blok 1100) kalınlığı
λ <sub>3</sub>	İzolasyon kağıdı ısı iletim katsayısı
t <sub>3</sub>	İzolasyon kağıdı kalınlığı
λ <sub>4</sub>	Yakma fırını gövde sacı ısı iletim katsayısı
t <sub>4</sub>	Yakma fırını gövde sacı kalınlığı
H hava	Hava Isı Taşınım Katsayısı
U	Toplam Isı Transfer Katsayısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Bir çamur yumağına su bağlantısı.....	25
Şekil 3.2. Çökelti çamurunun emme izotermi.....	25
Şekil 3.3. Dengeli yüklemeye bağlı olarak çökelti çamurunda suyun bağlantı entalpisi.....	26
Şekil 3.4. Geri karıştırılmalı çökelti çamurunun tam kurutmada geri veriş oranı...28	28
Şekil 3.5. Çökelti çamurunun kurutulması için kullanılan kurutucu tiplerinin çalışma alanları.....	28
Şekil 3.6. Çökelti çamuru kurutmasında ısı ve malzeme transfer.....	28
Şekil 3.7. Kurutma prosesi – Konveksiyonlu kurutma.....	31
Şekil 3.8. Çökelti çamuru kurutmasında kurutma prosesi (teorik).....	31
Şekil 3.9. Tam kurutma için bir diskli kurutma tesisinin prensip olarak yöntem akış diyagramı.....	33
Şekil 3.10. İnce tabaka kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması.....	33
Şekil 3.11. Bir tamburlu kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (indirekt kurutma).....	36
Şekil 3.12. Bir girdaplı tabaka kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması	37
Şekil 3.13. Bir CETRIDRY kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (Direkt kurutma).....	39
Şekil 3.14. Bir band kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (indirekt kurutma).....	39
Şekil 3.15. Isı geri kazanımlı egzost buharı kondenzasyonunun basitleştirilmiş şeması.....	44
Şekil 3.16. Kurutulmuş çamur için bertaraf etme yöntemleri, dikkate alınan miktar	48
Şekil 3.17. Kurutulmuş çamur için bertaraf etme yöntemleri – tesis sıklığı.....	48
Şekil 3.18. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Detay Resmi.....	55
Şekil 3.19. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Detay Resmi.....	55
Şekil 3.20. Akışkan Yataklı Kazanlar – Uygulama Kısmı.....	57
Şekil 3.21. Yanma Odası Detay Resmi.....	58
Şekil 3.22. Yanma Odası Detay Resmi.....	58
Şekil 3.23. Akışkan Yatak Detay Resmi.....	59
Şekil 3.24. Döner Tambur Detay Resmi.....	59

Şekil 3.25. Enerji Geri Kazanım Detay Resmi.....	60
Şekil 3.26. Akışkan Yataklı Kazanlarda Enerji Üretimi.....	61
Şekil 3.27. Akışkan Yatak Fırını Örnek Resimler.....	65
Şekil 3.28. Refraktör kemer ( Taban Çukuru ) ve kubbe.....	66
Şekil 3.29. Yüksek Sıcaklıklı Akışkan Yataklı Fırın Örneği.....	71
Şekil 3.30. Sıcak Hava Giriş Odası Kesiti.....	71
Şekil 3.31. Akışkanlaştırma Yapısı – Tuyere Detayı.....	72
Şekil 3.32. Akışkanlaştırma Hava Bloweri.....	73
Şekil 3.33. Kum Besleme Sistemi.....	74
Şekil 3.34. Çamurun fırına enjeksiyonu (beslenmesi).....	75
Şekil 3.35. Yatağa yapılan yakıt enjeksiyonu.....	75
Şekil 3.36. Ön-ısıtma brülörü.....	76
Şekil 3.37. Hava ön ısıtıcılı HTFB.....	76
Şekil 3.38. Hava ön ısıtıcısı.....	77
Şekil 3.39. Egzost Gazı Arıtma Sistemi.....	80
Şekil 3.40. Fırını besleyen çamur boru hatları.....	88
Şekil 3.41. Atık Isı Kazanı ile Buhar Türbini Detay Resmi.....	91
Şekil 3.42. Degazör Dom Kesiti .....	93
Şekil 3.43. Degazör Detay Resimleri.....	94
Şekil 3.44. Isı Eşanjörleri ve Blower Detay Resimleri.....	95
Şekil 3.45. Emisyon Kontrol Sistemi Akış Şeması.....	97
Şekil 3.46. Çoklu Siklon Detay Resimleri.....	97
Şekil 3.47. Aktif Karbon Dozlama Sistemleri Detay Resimleri.....	98
Şekil 3.48. Torba Filtre - Jet Pulse Torba Filtre Detay Resmi.....	99
Şekil 3.49. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi Detay Resmi .....	101
Şekil 3.50. Venturi Soğutucu -DYYK Akım Şeması ve Genel Görünümü .....	101
Şekil 3.51. Pnömatik nakil sistemi genel görünümü(Taslak).....	102
Şekil 3.52. Kireç Dozaj Sistemi Tasarımı.....	102
Şekil 3.53. Aktif karbon dozaj sistemi tasarımı.....	103
Şekil 3.54. Siklon kül silosu tasarımı.....	104
Şekil 3.55. Filtre altı kül silosu tasarımı.....	104

Şekil 3.56. Kireç silosu tasarımı.....	105
Şekil 3.57. Kum silosu tasarımı.....	105
Şekil 3.58. Sevk Sistemi.....	106
Şekil 3.59. Silobas Körüğü Genel Görünümü.....	107
Şekil 3.60. Kireç Dozajlama Genel Görünümü.....	108
Şekil 3.61. Aktif Karbon Dozajlama Genel Görünümü.....	108
Şekil 3.62. Jet Pulse Filtre Genel Görünüm.....	109
Şekil 3.63. Filtre içi Gaz Akış Şekli.....	109
Şekil 4.1. Eysel Atık Kütle Dengesi Diyagramı.....	116
Şekil 4.2. Enerji Dengesi Akış Diyagramı.....	118
Şekil 4.3. Akışkan Yataklı Kazan Akış Diyagramı.....	119
Şekil 4.4. Akışkan Yataklı Kazan Giren – Çıkan Ürün Akış Diyagramı.....	124
Şekil 4.5. Birincil Is Değiştirici Akış Diyagramı.....	125
Şekil 4.6. Buhar Üretecek Isı Değiştirici Akış Diyagramı.....	127
Şekil 4.7. Baca Gazı Isıtma Isı Değiştiricisi Akış Diyagramı.....	129
Şekil 4.8. Hava Ön Isıtması Isı Değiştiricisi Akış Diyagramı.....	130
Şekil 4.9. Baca Gazı Ön Isıtması Isı Değiştiricisi Akış Diyagramı.....	132
Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı.....	133
Şekil 4.11. Multisiklon.....	140
Şekil 4.12. Reaktör.....	141
Şekil 4.13. Reaktör dağıtıcısı genel görünümü.....	141
Şekil 4.14. Filtre Çizimi Genel Görünümü.....	143
Şekil 4.15. Filtre torbası takılması.....	143
Şekil 4.16. Filtre sistemi genel görünümü.....	143
Şekil 4.17. Filtre tel kafesi gösterimi.....	144
Şekil 4.18. Venturi Soğutucu ve DYYK Akım Şeması.....	144
Şekil 4.19. DYYK genel görünümü.....	145
Şekil 4.20. Venturi DYYK genel görünümü.....	145
Şekil 4.21. Kireç Dozaj Sistemi Tasarımı.....	145
Şekil 4.22. Aktif karbon dozaj sistemi tasarımı.....	146
Şekil 4.23. Elektrik Üretim Bölümü – Atıkısı ile Buhar Türbini ve Jeneratörü....	146
Şekil 4.24. Akışkan Yatak Fırını Örnek Resimler.....	147
Şekil 4.25. 400 Ton/Gün Kapasiteli Çamur Yakma Tesisi Yer. - PID Şema..	150

Şekil 4.26. Akışkan Yataklı Kazan Detay Şekli.....	151
Şekil 4.27. Proses Bölümü–Akışkan Yataklı Yakma Fırını Yerleşim Detayı.....	151
Şekil 4.28. Doğalgaz Yakma Sistemi,Isı Eşanjörleri ve Blowerler.....	152



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1- Atık Üretimi Oranları.....	16
Çizelge 3.1. Çökelti çamuru kurutmasında ısı elemanları.....	30
Çizelge 3.2. Her bir kurutma yönteminin spesifik avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması.....	42
Çizelge 3.3. Yakma Teknikleri Avan ve Dezavantaj Tablosu.....	60
Çizelge 3.4. Herbir Akışkan Yataklı Çamur Yakma ( AYÇY ) Sistemi Çamur Karakteristiği.....	63
Çizelge 3.5. AYÇY sistemi işletme aralıkları.....	63
Çizelge 3.6. AYÇY sistemine beslenilecek çamur içindeki metal miktarı.....	63
Çizelge 3.7. Yakma Prosesi.....	65
Çizelge 3.8. Akışkan Yataklı Fırın Sıcaklık Düşüş Eğrisi ( Örnek Çalışma Çizelgesi ).....	67
Çizelge 3.9. Akışkan Yataklı Fırın Sıcaklık Yükseliş Eğrisi ( Örnek Çalışma Çizelgesi ).....	67
Çizelge 3.10. Türbin Teknik Bilgileri ( Senaryo 1-2-3 ) .....	87
Çizelge 3.11. Akışkan Yataklı Fırın Teknik Bilgileri.....	89
Çizelge 3.12. Temiz Hava Blowerleri Teknik Bilgileri.....	89
Çizelge 3.13. Santrifüj Tip Blowerleri Teknik Bilgileri.....	90
Çizelge 3.14. Buhar Türbini Teknik Bilgileri.....	92
Çizelge 3.15. Buhar Türbini Eğrisi ( Örnek Buhar Türbini Seçim Eğrisi).....	92
Çizelge 4.1. Çamur Kuruluk Derecesi % 20'e göre Termodinamik Hesaplar .	122
Çizelge 4.2. Çamur Kuruluk Derecesi % 22'e göre Termodinamik Hesaplar .	122
Çizelge 4.3. Çamur Kuruluk Derecesi % 24'e göre Termodinamik Hesaplar .	123
Çizelge 4.4. Çamur Kuruluk Derecesi % 26'e göre Termodinamik Hesaplar .	123
Çizelge 4.5. Akışkan Yataklı Kazan ( Reaktör ) Isı Kütle Dengesi Hesapları..	124
Çizelge 4.6. Birincil Isı Eşanjörü Isı Kütle Dengesi Hesapları.....	126
Çizelge 4.7. Atık Isı Kazanı Isı Kütle Dengesi Hesapları.....	127
Çizelge 4.8. Atık Isı Kazanı Isı Kütle Dengesi Hesapları.....	129
Çizelge 4.9. Yanma Havası Havası Ön Isıtma Eşanjörü Isı Kütle Dengesi Hesapları.....	131

Çizelge 4.10. Baca Gazı Ön Isıtması Isı Değişiricisi Isı Kütle Dengesi Hesapları.....	132
Çizelge 4.11. Yakma Fırını Isı Kütle Dengesi Çizelgesi.....	138
Çizelge 4.12. Buhar Türbini Teknik Verileri.....	139
Çizelge 4.13. Yakma Prosesi.....	148
Çizelge 4.14. Çamur Analiz Sonuçları.....	158
Çizelge 4.15. Çamur Elementel Analiz Ortalaması.....	158
Çizelge 4.16. Doğalgaz Sayaç Değerleri.....	158
Çizelge 4.17. Çamur Analiz Sonuçları.....	162
Çizelge 4.18. Çamur Elementel Analiz Ortalaması.....	162
Çizelge 4.19. Doğalgaz Sayaç Değerleri.....	162
Çizelge 4.20. Çamur Analiz Sonuçları.....	162
Çizelge 4.21. Çamur Elementel Analiz Ortalaması.....	162
Çizelge 4.22. Doğalgaz Sayaç Değerleri.....	162
Çizelge 4.23. Çamur Analiz Sonuçları.....	167
Çizelge 4.24. Çamur Elementel Analiz Ortalaması.....	167
Çizelge 4.25. Doğalgaz Sayaç Değerleri.....	167
Çizelge 4.26. Çamur Analiz Sonuçları.....	172
Çizelge 4.27. Çamur Elementel Analiz Ortalaması.....	172
Çizelge 4.28. Doğalgaz Sayaç Değerleri.....	172

## 1. GİRİŞ

Artan nüfus, kentleşme ve sanayileşmeye paralel olarak oluşan belediye atık çamurlarının miktarı da hızla artmakta ve kentler için giderek daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Bu atıkların bertaraf edilmesi önemli bir problemdir. Bu problemin giderilmesi yönünde uygulanan yöntemler olarak tarım ve orman alanlarında serilmesi denizlere deşarj edilmesi veya toprak altına gömülmesi ve değişik yakma uygulamaları öne çıkmaktadır. Atık miktarının azaltılması organik bileşiklerin azaltılması, koku ve çevre problemlerin önlenmesi gibi nedenlerden dolayı son dönemlerdeki uygulamalar yakarak bertaraf edilmesi yönünde ağırlık kazanmaktadır. Gerek maliyet olarak gerekse çevresel etki olarak daha uygun çözüm olarak görülmektedir.

Atık çamurlardaki suyun ve organik bileşenlerin giderilerek bertaraf edilmesi için uygulanan değişik prosesler olmaktadır. Bu proseslerden nihai olarak yanma gerçekleşmektedir. Ya doğrudan atık çamurun kurutma veya diğer yakıtlarla karıştırma yoluyla gazlaştırma gibi uygulamalarda çamurun kolay yakılabilir hale getirilmesi daha uygun proseste yakılması sağlanır. Bu şekilde atık madde miktarı tehlikesiz farklı amaçlarla kullanılabilir veya onda bir oranında hacmi azaltılarak depolanabilir hale getirilir. Bu işlemler sırasında faydalı enerji elde edilir.

Dünyada çok miktarda atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bunların bir kısmı bağımsız bir kısmı ise diğer atıklarla birlikte yakılmata ve yanma sonucu oluşan enerjiden elektrik veya proses enerjisi elde edilmektedir.

**Avrupa'da;** 400'e yakın tesis, Yaklaşık 59 Milyon Ton Katı Atık Bertarafı, 7 Milyon Evin İhtiyacı – 23 Milyon GWH Elektrik Enerjisi Üretimi, **A.B.D.;** 87'ye Yakın Tesis, Yaklaşık 30 Milyon Ton Katı Atık Bertarafı, 15 Milyon GWH Elektrik Enerjisi Üretimi, **Japonya;** 1300'ün Üzerinde Tesis Yaklaşık 250 kadarı Atıktan Enerji Üretme Tesisi, Yaklaşık 85 Milyon Ton Katı Atık Bertarafı, 38 Milyon GWH Elektrik Enerjisi Üretimi, **Türkiye'de;** 150'ün Üzerinde Endüstriyel ve Evsel Katı Atık Yakma Tesisi, Yaklaşık 50 kadarı Atıktan Enerji Üretme Tesisi, Yaklaşık 15 Milyon Ton Katı Atık Bertarafı ( İller Ankara, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bursa, Trabzon, Gaziantep, Trabzon, vb. ), 2,5 Milyon GWH Elektrik Enerjisi Üretimi

**Kaynak:** 2012 Atık Yönetimi Sempozyumu, Sezer K.

Çizelge1.1- Atık Üretimi Oranları

Area	Waste Generation (kg/cap./year)		Annual growth rate
	Range	Mean	
OECD-total	263-864	513.0	1.9%
North America	n.a.	826.0	2.0%
Japan	n.a.	394.0	1.1%
OECD-Europe	n.a.	336.0	1.5%
Europe (32 countries)	150-624	345.0	n.a.
8 Asian Capitals	185-1,000	n.a.	n.a.
South and West Asia (cities)	185-290	n.a.	n.a.
Latin America and the Caribbean	110-365	n.a.	n.a.

n.a. = Not applicable.

Source: cf. Technical Guidance Report

**Kaynak:**1999 Uluslararası Yeniden Yapılanma ve Kalkınma Bankası / DÜNYA BANKASI - Decision Makers' Guide to - Municipal Solid Waste Incineration

Bu çalışmada Belediye atık çamurlarının kurutma işlemi uygulamadan yaş olarak yardımcı yakıt doğalgaz kullanılarak bertaraf edilmesi proses üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada Bursa Büyükşehir Belediyesinin 400 Ton/ Gün yaş çamur kapasiteli tesisi esas alınmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

1. Bu çalışmada kentsel katı atıklardan enerji üretiminde dünyada kullanılan depo gazından enerji geri kazanımı, yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütme teknolojileri incelenmiştir. Depo gazının enerji potansiyelinin değerlendirilmesi ve yakma teknolojileri dünyada en çok kullanılan teknolojilerdir. Anaerobik çürütme teknolojisi daha çok Avrupa'da kullanılmaktadır. Gazlaştırma ise son dönemde üzerinde en çok çalışılan teknolojidir. Gazlaştırmanın yakmaya göre elektrik üretim verimi daha yüksektir, bir diğer önemli avantajı da hava kirletici emisyonlarının çok düşük olduğu görülmüştür. Bu teknolojinin maliyeti oldukça yüksektir (Akpınar 2006).

2. Yapılan bu çalışma, kazanın genel ekserji performansını ortaya çıkarması bakımından işletmecilere yol göstermiştir. Ancak kazanda gerçekleşen tersinmezliklerin kaynaklarının ve yerlerinin tespit edilmesi faydalı olacaktır. Bu bakımdan, sistem üzerinde gelecekte yapılacak çalışmalarda kazan, alt sistemlere ayrılarak ve ileri ekserji analizi uygulanarak incelemelerinin yapılması gerekliliği üzerinde durulmuştur (Yazıcı ve Köse 2019).

3. Akışkan yatakların performansını arttırmak için, istenen frekanslarda bir solenoid valf içinden akış titreşimi kullanılır. Akışkan yataklar, kimyasal reaksiyona ya da gaz ve katı parçacıklar arasında arayüzey teması gerektiren fiziksel işlemeye ulaşmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Reaktörde Isı Geçişini Etkileyen Parametreler incelenmiştir (Erbaş 2019).

4. Kütle transfer prosesinin araştırılması için naftalin parçaları kullanılarak sabit ve hareketli parçacıklar ile birçok deneysel araştırmalar yapılmıştır. Buna göre farklı korelasyonlar türetilmiştir. (Taylor & Francis 2006 ).

5. 330 MWth kapasitedeki cfbb'nin sayısal analiz sonuçları ve ÇTS CFBB sisteminin pratik sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz doğrulama amacıyla yapılan bu analiz sonuçlarının sisteme ait pratik sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. CFPD metodu kullanılarak farklı kapasitelerde CFBB sistemlerinin tasarımlarının yapılabileceği gözlenmiştir. Analizlerde, yanma odasındaki basınç ve sıcaklık dağılımlarının yanı sıra O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> mol ağırlıklarındaki değişimler araştırılmıştır. ( Gürel ve İpek 2019).

6. FBC kazanlarında kazanılan kapsamlı işletme deneyimine ilişkin veriler sağlar ve hem çalışma parametrelerini hem de kazan özelliklerini belirlemek için kullanılacak kazan konsepti, analizi ve yöntemleri hakkında çok sayıda tavsiyede bulunur. Bununla birlikte, mühendis-tasarımcı burada FBC kazanlarının bu tür yanmanın birincil hedeflerine ulaşmak için tasarlanmasını ve çalıştırılmasını sağlamak amacıyla FBC kazan özellikleri ile bu tür kazanlarda gerçekleşen fiziksel işlemler arasındaki güçlü bağlantının vurgulanmış olduğunu görecektir. yani yüksek yanma verimliliği, yüksek kazan verimliliği ve düşük emisyon. ( Vinca ve Anthony 2016 ).

7. Avrupanın Katı Atık ve Çökelti Çamurların Kurutulması, Enerji üretimi konusunda Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmalarını yürüten enstitü. Çökelti çamur kurutma prosesleri temel kavramları detaylı olarak açıklanmıştır.

Kurutma yöntemleri değerlendirilmiş olup yatırım ve geri dönüşüm fizilip olan kurutucu tipleri belirlenmiştir. Ayrıca 1 ton atık çamurun kurutulması gerekli enrji maliyet hesaplamaları yapılmıştır. ( Bäckler, Hanßen ve Husmann 2004).

8. Büyük partiküllü akışkanlaştırılmış yataklarda, daldırılmış yüzeylerle akışkan yatak arasında ısı transferi incelenmiştir. Isı transferi üç bileşenden (iletim, taşıma ve radyasyon) oluşmaktadır.

Işıma bileşeni yüksek sıcaklıklarda ( $>600^{\circ}\text{C}$ ) önem kazandığından ihmal edilmiştir. Daldırılmış yüzeye, temas eden partiküllerin küresel ve dizilişlerinin heksagonal olduğu kabul edilmiştir. İletim ısı transfer katsayısı, hiletim, partikül için ve daldırılmış yüzeye partikül arasındaki film için süreksiz şartlarda ısı iletim denklemleri çözülerek bulunmuştur. Taşınım ısı transfer katsayısı, htaşınım, silindir üzerinden türbülanslı akış için literatürde verilen ampirik bağıntının akışkan yatakta ısı transferine etki eden diğer faktörlerde göz önüne alınarak yeniden düzenlenmesiyle elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, literatürde verilen deneysel ve ampirik çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. ( Balcı ve Yüce 1994 ).

**9.** Kitap mühendislere ve öğrencilere, dolaşimli akışkan yataklı kazanların tasarımı ve çalışması hakkında bilgi vermek için tasarlanmıştır. Gaz-katı akışkanlaştırma işlemine önceden maruz kalmak bir avantaj olabilir, ancak bu kitabın tam olarak anlaşılması için gerekli değildir. Kitap, buhar üretimine veya dolaşımdaki akışkan yataklı kazanların imalatına katılan mühendislere, işlemin, kapasitelerinin ve sınırlamalarının bir takdirini sağlayabilir. Deneyimli akışkanlaştırma araştırmacıları, bu fenomenin prensiplerinin dolaşan akışkan yataklı kazanların tasarımına nasıl uygulandığını görebilirler. Kitap, sirkülasyonlu akışkan yataklı kazanlar ve diğer akışkan yataklı ekipmanların tasarımı için yararlı bilgiler, Yanma reaksiyonunun ısı ve kütle dengesi için gerekli stokiyometrik hesaplamalar, Akışkan Yataklı Kazan çeşitleri hakkında detaylı bilgiler ele alınmıştır. Sonuç olarak, güvenilirlik ve bakım gibi bazı önemli pratik konular ele alınmamıştır. ( Prabir ve Scott 1991 ).

**10.** Bu monografi, pratisyen mühendislere, öğrencilere ve araştırmacılara, dolaşimli sıvılaştırılmış yataklı (CFB) kazanların çalışması ve çalışma prensibi hakkında bilgi vermek için tasarlanmıştır. Gaz-katı sıvılaştırma sürecine önceden maruz kalmak bu kitabın tam olarak anlaşılması için gerekli değildir. Buhar üretme veya sirkülasyonlu sıvılaştırılmış kalorifer kazanı imalatında yer alan kazan operatörlerine, bakım ve diğer mühendislere, işlemin, kapasitelerinin ve sınırlamalarının bir takdirini sunar.

Deneyimli sıvılaştırma araştırmacıları, sirkülasyonlu sıvılaştırılmış yatak kazanlarının tasarımında temel prensiplerin nasıl uygulandığını görebilirler. Bu kitap, CFB kazanları da dahil olmak üzere sıvılaştırılmış yatak proses ekipmanının planlanması ve tasarımı için yararlı olan ve çeşitli tasarım verileri tablosunu içermektedir. ( Prabir 2015 ).

**11.** Akışkan yatak yakma, kömür dönüşümü için en umut verici yöntemlerden biridir. Kazanlara uygulanması öncelikle yakıt kalitesine duyarsızlığı ve hava kirliliğini sınırlama kapasitesi ile tanınır. Hem elektrik hem de proses endüstrilerindeki kömür yakıtlı kazanların kullanıcıları, geleneksel toz haline getirilmiş yakıt ve stokerli yakıtlı kazanlara alternatif olarak akışkan yataklı kazanları düşünmektedir.

Ateşleme alternatiflerinin, tasarım alternatiflerinin ve performans kriterlerinin değerlendirilmesi, akışkan yataklı kazanların tasarımı ve işletimi hakkında özel bilgi gerektirir. Ancak, kapsamlı araştırmalar ve çok sayıda pilot tesis denemesi o kadar büyük bir veri havuzu üretti ki, bir yaklaşım seçmek zor olabilir. Buna ek olarak, yayınlanmış çalışmaların çoğu tek spesifik konularla ilgilidir. Akışkan yataklı kazan tasarımı ve işletiminin tüm önemli alanlarını kapsayan tek bir bilgi kaynağına ihtiyaç vardır. ( Prabir 1984 ).

**12.** Bu çalışmada endüstride kullanılan kurulumcuların sınıflandırılması , seçimine etki eden parametreler, kurutma sistemlerinde kütle ve enerji dengeleri, kuruma hızının belirlenmesi, malzemenin nem içeriğinin saptanması incelenecek ve kurutma sistemlerinde enerji tasarrufu, kurulumcu tasarımıda dikkate alınması gereken önemli noktalar da incelemiştir. ( Güngör ve Özbalta 1997 ).

**13.** Sanayinin kullanmış olduğu hareketli ızgaralı kazanlar buhar üreterek prosesin ihtiyacını karşılaşa da bu sistemlerin yanma verimleri düşüktür. Diğer yakma sistemleri incelenmiş olup avanta ve dezavantaj noktaların tespitleri yapılmıştır.

ODTÜ’de Pilot ölçekte kurulu bulunan 0,3 MWt atmosferik akışkan yataklı yakıcı test ünitesinde Türk Linyitlerinin denem çalışmaları yapılmıştır. Uçucu madde ve kükürtçe zengin düşük kaliteli linyitlerin katkılı/katkısız yanma ve kükürt tutma deneyleri sonucunda bu linyitlerin akışkan yatak koşullarında işletme açısından ve sorunsuz yanabileceklerini göstermiştir. ( Selçuk, GUANGXİ ve Yörükoğlu 2001).

**14.**Batı Karadeniz Bölgesi için 2020 yılında devreye alınabilecek 19,5 MW kurulu güce sahip yakma tesisi tasarlanmıştır. Bu tesis aynı zamanda Bölgenin 2049 yılına kadar atık girdisine yanıt verecek şekilde hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle enerji ve kütle denklikleri hem hesaplama yöntemiyle hemde bilgisayar destekli benzetim metodolojisi ile yapılmıştır.

Buhar miktarı ve besleme suyu hesapları yapılmış, baca gazı atık ısı hesaplamaları, türbin çürük buharı soğutma yükü hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Bilgisayar destekli benzetimide yapılmıştır.). Buhar türbininde üretilen elektrik enerjisi hesaplanmış, tesis için kurulu güç ve verim hesabı da her iki metodoloji ile yapılmıştır. ( Uçun, Özel, Kocabaş ve Özkök 2018 ).



**15.** Kentsel Katı Atık yakma tesisi tasarımı çevre, enerji ve ekonomik açıdan önem arz eden tesisler durumundadır. Böyle bir tesis için öncelikle Kütle ve enerji dengesi hesaplamaları yapılması gerekmektedir. Buradan hareketle tesisten ısı güç hesabı ve takiben elde edilecek elektrik enerjisi miktarı hesap edilebilmektedir. Yakma Tesisinde en önemli parametre, tesisin yakıtı olan atığın kalorifik değeri olmaktadır. Ayrıca, tesisin atık besleme açısından sorun yaşamaması da önemli diğer bir hususu oluşturmaktadır. Bu çalışmada, kütle ve enerji dengesi hesaplamaları Kocaeli ili Kentsel Katı Atık verileri kullanılarak Kocaeli iline ilişkin “Katı Atık Yakma Tesisi” tasarımı çerçevesinde yapılmıştır. Böylelikle, ülkemizde olmayan katı atık yakma tesisine ilişkin özgün bir çalışma gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. ( Saraç ve Tuğrul 2016 ).

**16.** 500 MW gücündeki buharlı güç santraline termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak enerji denklemleri yazılmış, buhar türbininden gerekli gücün elde edilebilmesi için farklı kazan sıcaklıklarında kazana verilen ısı, güç akışkanının debisi, pompa gücü ve yoğuşturucudan soğutma suyuna aktarılan ısı miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Buharlı güç santralinin ana elemanları olan kazan ve yoğuşturucuya termodinamiğin ikinci kanunu uygulanmış, bu sistem elemanlarının ekserji analizleri yapılmıştır. Sistemin toplam tersinmezliği hesaplanmış ve en fazla tersinmezlik üreten sistem elemanı belirlenmiştir. ( Yazıcı ve Selbaş 2011 ).

**17.** Santrale uygulanan enerji ve ekserji analizi sonucunda, kömürün üst ısı değerine göre ve normal işletme koşulları için santralin enerji verimi 42,11% ve ekserji verimi 40,83% olarak hesaplanmıştır. En büyük enerji kaybının yoğuşturucuda, en büyük ekserji kaybının da kazanda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Sıcaklığın artması ile enerji ve ekserji veriminin azaldığı, sıcaklıktaki her 1°C’lik artışın santral enerji veriminde 0,13% ve ekserji veriminde 0,12% verim düşüşüne yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak en fazla değişimin kazan ve yoğuşturucu ekipmanında meydana geldiği sonuçlarına varılmıştır. ( Şahin ve Aydın 2012 ).

**18.** Birçok çeşit termal ve akışkan sistemin kararlı ve dinamik durumları için dizayn, analiz ve optimizasyon yapılmasını sağlayan Flownex simülasyon programıyla da güç bloğunun, kararlı durum ve dinamik durum için ORÇ modellemesi yapılmıştır.

Oluşturulan türbin ve pompa performans eğrileri kullanılarak kararlı durum için yapılan ORÇ modellemesinde, güç bloğu için çalışma sıcaklığı aralığı belirlenmiş ve güç bloğunda üretilecek tahmini yıllık brüt elektrik miktarı hesaplanmıştır.

(Acar ve Çolak 2014 ).

**19.** Trijenarasyon sisteminin birinci kanun ve ikinci kanun analizleri yapılarak enerji ve ekserji verimleri tespit edilmiştir. Analizler sonucunda gaz çevrimi verimi %32, buhar çevrimi verimi %28, soğutma sisteminin COP değeri ise 0.77 olarak tespit edilmiştir. Ekserji kayıpları incelendiğinde ise en yüksek ekserji kaybının 3882 kW ile güneş kulesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. ( Akbaş ve Kızıllan 2018 ).

**20.** Çalışmada; enerji ve ekserji kaybındaki payları düşük olan ekipmanlar üzerinde yapılacak iyileştirmelerin sistemin performansına katkı yapmayacağı gibi sadece maliyet arttırıcı iyileştirmeler olduğu sonucuna varılmıştır. Santral’de genel bir revizyonun yapılması ve yeni teknolojilerin kullanılması, otomasyonun iyileştirilmesi gerekmektedir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenmesi sebebi ile enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliği, Santral’in geneline uygulanacak çeşitli kontrol optimizasyonlarının önemini açıkça göstermektedir.( Ünal ve Özkan 2015 ).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Belediye atık çamurlarının doğrudan yakılması içindeki su miktarının yüksek olması nedeniyle mümkün olmadığından yakılabilir hale getirmek için farklı uygulamalar yapılmaktadır. Bunlardan önemli uygulamalar olarak kısmi ön kurutma veya tam kurutma yapılması ve yanabilir kuruluk derecesine geldikten sonra uygun bir proseste yakılması ve çamur içerisine kömür vb. yakıt ilave edilerek yada karıştırılarak su oranının azaltılması ve bu şekilde kendi kendine yanabilir hale getirilmesidir. Daha az uygulama ise yaş çamurun doğrudan ilave gaz yakıt kullanılarak yakılmasıdır.

Alternatif olarak çamurun gazlaştırılarak gazların gaz motorunda yakılmasıdır.

Bu çalışmada kurutma ve doğrudan yakma ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

#### **3.1. Çökelti Çamur Kurutulması Uygulamaları**

##### **3.1.1. Kullanım Alanı**

Bu bilgi föyü planlamacı ve çökelti çamuru işleme tesisi işletmecilerinin çökelti çamuru kurutma prosesine girişlerini, uygulama tekniğinin önemliliğinin içine sokarak, kolaylaştırmalıdır. Her bir kurutma sisteminin olanakları ve problemleri hazırlanacaktır ki, böylece bir kurutma tesisinin kullanılması veya kullanılmaması için maddi olarak temeli atılsın ve iyi bir esasa dayalı bir kurutma sisteminin muhtemel seçimi gerçekleştirilebilsin.

##### **3.1.2. Terimler**

Bir kurutma tesisinin planlamacısı, eksperisi, onaylayan kamu kuruluşu, tesisin kurucusu ve en sonunda işletmecisi de mekanik ve uygulama tekniği esaslarının yanında hukuki çerçeve şartlarını da dikkate almalıdır. Bunun dışında kurutulan malın yapısını ve özellikle su bağlantı ihtiyaçlarının ve kurutma prosesinin bilhassa kendinin özellikli davranışını tarif edecek malzeme içeriği hakkında bilgilere ihtiyaç duyacaktır. Daha iyi kavrayabilmek için bu ve takip eden bölümde birkaç terim ve birbirleri ile münasebetleri kısaca tarif edilecektir. Daha geniş bilgiler için ilgili mesleki literatüre atıf yapılacaktır.

#### **a. Çökelti çamuru kurutma tesisi**

Kural olarak daha önce makinelerle suyu alınan çökelti çamurunun devam edecek su çekme işlemi için teknik donanımlar.

#### **b. Tam Kurutma**

İşlenmiş ürün / son ürün – toz ile –graül şeklindeki karakteristiğe kadar –kurutma uygulaması sonunda kurutma tortusu (TR)  $\geq$  %85

#### **c. Kısmi Kurutma**

Kurutma uygulaması sonunda son ürün kurutma tortusu (TR)  $<$  %85

#### **d. Yapışkan fazı**

Çökelti çamurunun yaklaşık % 40-50 TR seviyesindeki kurutmada akıcı özelliklerinin değişimi.Kritik iletim özelliklerine sahip bir ”yapışkan çamur” oluşur. Yapışkan fazının aşılmasında genellikle gevrek / şekilsiz bir yapı meydana gelir.

#### **e. Konveksiyonlu Kurutma**

Kurutulan çökelti çamuru ısı yayıcılar ile doğrudan doğruya temasta olur.

#### **f. Kontakt Kurutma**

Isı yayıcıdan ısı transferi bir temas yüzeyi ile gerçekleşir.

#### **g. Işınım Kurutması**

Isı çökelti çamuru içinde, ısı yayıcı olmadan, elektromanyetik veya enfraruj ışınlar vasıtası ile oluşturulur.

#### **h. Isı Yayıcılar**

Buhar, basınçlı su, termik yağ gibi ısı transferini sağlayan maddeler **1. Buhar Kondensatları**

Kurutma prosesinde su buharı, hava ve gerekirse çamurdan dışarı atılan gazlardan oluşan gaz karışımı.

#### **k. Direkt Kurutma**

Egzost buharı ve ısı yayıcılar kurutma işleminde karışırlar ve birlikte kurutucudan dışarı çıkarlar.

#### **l. İndirekt Kurutma**

Egzost buharı akımı ısı yayıcılar ile temasa geçmeden kurutucudan dışarı akarlar.

### m. Egzost Buharı Yoğunlaşması

Kurutma esnasında buharlaşan çamur suyunun yoğunlaşması

### n. Yoğunlaşmayan Egzost Buharı

Ters hava akımı, taşıyıcı hava vs ' den oluşan egzost buharının normal işletme şartlarında yoğunlaşmayan bölümü.

### o. Aspirasyon

Tesis bölümlerinin toz yerleşimini, yoğunlaşma koku çıkışını önlemek için hava giriş ve çıkışı; alçak basınçta tesis bölümlerinin işletimi.

### p. Taşıyıcı hava

Kurutucunun içine egzost buharının taşınması için getirilmesi hedeflenen hava miktarı.

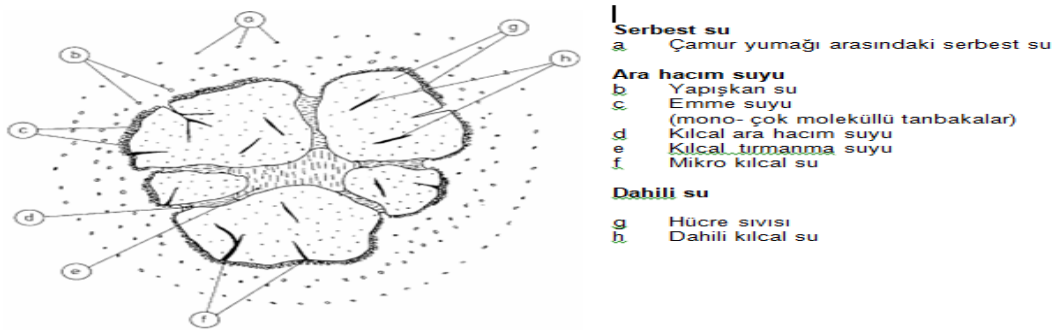
### r. Kaçak hava, Ters hava akımı

Sızdırma nedeni ile alçak basınçta çalışan tesis bölümlerine giren hava.

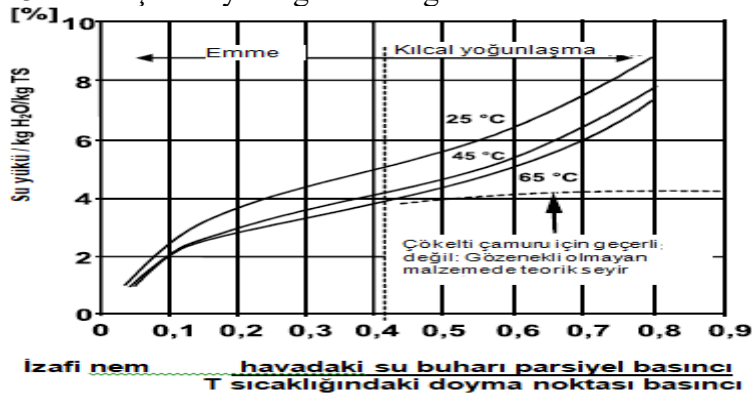
## 3.2. Çökelti Çamuru Kurutma Prosesinin Temel Kavramları

### 3.2.1. Su Bağlantısı

Çökelti çamuru kurutma prosesi için diğer tüm su çekilmesi ile ilgili teknik uygulamalarda olduğu gibi suyun katı maddelere bağlantı mekanizmalarının bilgileri önemlidir.



Şekil 3.1. Bir çamur yumağına su bağlantısı



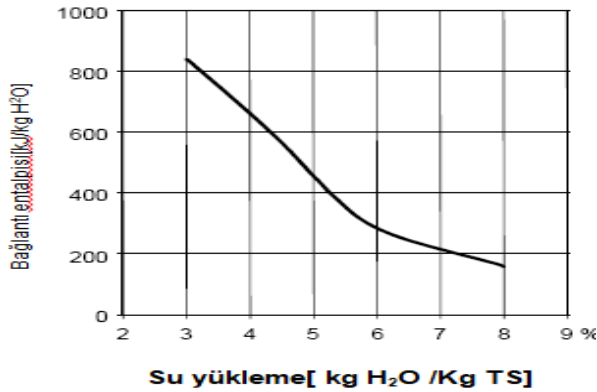
Şekil 3.2. Çökelti çamurunun emme izotermeleri

Bu yapı emme izotermi olarak adlandırılan grafiklerle gösterilen veya tarif edilen tipik higroskopik bir davranış şekline götürür.

Emme izotermi maddenin nemi ile sabit sıcaklıkta maddenin çevresindeki buhar basıncı arasındaki denge durumunu gösterir. Maddenin nemi su yükü olarak (maddedeki ve kuru tortudaki su miktarlarının bölünmesi), atık su teknolojisinde değişken izafi hava nemlerinde değişik su miktarları için su hacminin klasik değerlerine karşıt olarak sabit bir referans büyüklüğünü elde etmek için verilir.

İzafi hava nemi, belirli bir sıcaklıkta bu sıcaklıktaki doyum derecesi referans edilerek havadaki su buharını parsiyel basıncı olarak tarif edilir. Bununla havada buhar halinde mevcut olan su hacmi ile belirli sıcaklıkta havadan alınabilen azami su hacminin ilişkisini tekrar ortaya koyar. Düşük izafi hava nemlerinde, tek moleküllü tabakada suyun adsorpsiyonel bağlantısı vasıtası ile madde yüzeyinde yalnızca düşük bir su yükü meydana gelir. Artan hava nemi, yüzeyin tamamen kaplanmasından sonra hava neminin daha yükselmesinde kılcal damarlar ile donanmış gözenekli maddede kılcal yoğuşma vasıtası ile en sonunda hissedilir bir çoğalma ortaya çıkıncaya kadar, çok moleküllü bir kaplamaya götürür.

Gözenekli olmayan, kılcal damarsız katı maddede yüzeydeki suyun adsorpsiyonundan sonra tek moleküllüden çok moleküllüye kadar tabakalarda artan hava neminde yüksek bir su yüklemesi olmayacaktır, yani emme izotermi asimptotik olarak bir son değere yaklaşacaktır. (Şekil: 2' deki kesik çizgili eğri). Katı maddedeki su bağlantısının yoğunluğu önemli ölçüde su bağlantısının türüne bağlıdır.



Şekil 3.3. Dengeli yüklemeye bağlı olarak çökelti çamurunda suyun bağlantı entalpisini

Şekil 3.3'de denge yüklemesine bağlı olarak çökelti çamurundaki suyun bağlantı entalpisini gösterir. Suyun buharlaşması için enerji girişinin yanında bağlantı entalpisini, kurutmada emici bağlantılı suyun çok kurutulmuş maddeden ayrılması için ilave enerji girişini gerektirir.

Önemli olan düşük su yüklemelerinde, yani maddedeki düşük atık nemde- burada oldukça fazla emme olmaktadır- takriben buharlaşma ısısının % 15-20 değerine sahip yüksek spesifik bir kurutma enerjisi gereklidir. Artan su yüklemesi ve su bağlantısındaki kılcal yoğuşmanın yükselen payı ile bağlantı entalpisinin tesiri ihmal edilebilir.

### **3.2.2. Kısmi / Tam Kurutma**

Çökelti çamuru kurutma tesisleri kural olarak öncelikle mekanik olarak suyu ayrıştırılan çökelti çamurundan devam eden su ayrıştırmasına hizmet etmektedir. Burada tam kurutma kısmi kurutmadan ayırt edilecektir.

Her iki terime ait genel bilinen tanımlamalar yoktur. Bilgi föyü çerçevesinde daima ürüne bağlı bir ayırımından yola çıkılması amacına uygun kabul edilmiştir.

Bir tam kurutmada son ürün toz şeklinden granül şekline kadar bir karakteristiğe sahiptir. Tüm kaidelerde kurutma yöntemi yangın ve patlama nedenlerinden ve de daha iyi bir kullanım imkanı nedeniyle daha sonraki değerlendirme ve imha etme adımlarında granül şeklindeki bir ürünü meydana getirmeye uygun olmalıdır. Daha önce toz halindeki bir ürün direkt bağlanmış bir yakma işleminde kabul edilebilir. Genelde bu beyan kuru tortuda % 85 ' in üzerinde hedeflenir. Kısmi bir kurutma ancak bir kurutma yöntemi ile bu değer yarısının altında bir kuru tortuya ulaşıldığı takdirde ön görülür.

Depolamada aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

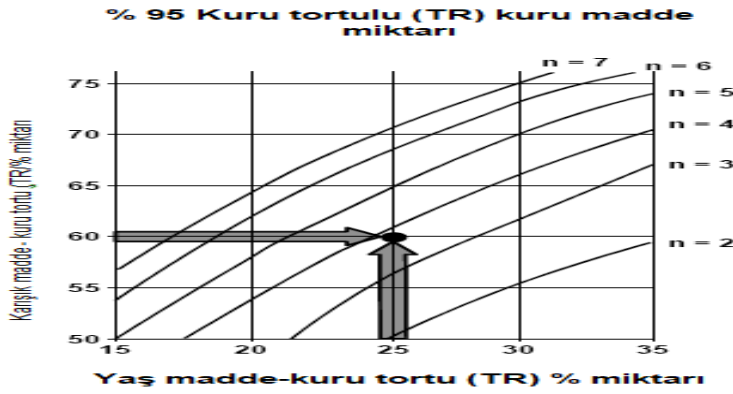
Çok kurutulmuş çökelti çamuru higroskopik davranış nedeni ile havadaki suyun emilmesi nedeni ile kurutmada hedeflenen düşük su oranının tekrar yükselmemesi için devamlı düşük izafi hava nemi altında veya indirgenmiş hava değişimi veya hava girişi altında depolanmalıdır.

### **3.2.3 Geriye karıştırmalı tam kurutmada geri dönüş oranları**

% 20-35 kuru tortudaki makine ile suyun ayrıştırılmasından sonra çökelti çamurunun direkt bir ilave ile örneğin bir diskli veya tamburalı kurutucuda ve de bir tahminle bir girdaplı tabaka kurutucusunda tam kurutmada pratik olarak mümkün olmayan bir kıvamı vardır. Kaldı ki, çökelti çamuru sonraki su çekiminde “ yapışkan faza” yönelir. Burada birçok kurutucuda gözlenen sonra macun gibi, yapışkan çökelti çamurunun taşınma problemlerine sebep olur.

Buna rağmen ön görülen aletler ile çökelti çamurunu yapışkan fazına geçme mecburiyeti olmadan düşük atık nemde kurutmak için prensipte kurutucuya girmeden önce hazır olan tam kurutulmuş maddeden geri karıştırma yolu ile suyu alınmış çamura spesifik karışım mekanizmaları ile yapışkan fazının üzerine bir katı madde hacmi yerleştirilmelidir.

Geri verilen tam kurutulmuş maddenin kuru malzemesi ile suyu alınmış çamurun kuru malzemesinin bölümü geri dönüş oranı olarak seçilir ise sınır şartları nedeni ile şema 4’de gösterildiği gibi 4 -7 arası bir geri dönüş oranı, Yani gerçek katı madde nüfuz etme miktarının beş – sekiz misli bir miktarını verir.



Şekil 3.4. Geri karıştırmalı çökelti çamurunun tam kurutmada geri veriş oranı

$$\text{Geri dönüş oranının} = \frac{\text{Kuru madde}_{\text{geridönen}}}{\text{Yaş madde}} = \frac{\text{kgTS}}{\text{kgTS}} \quad (3.1.)$$

### 3.3 Isı ve Malzeme transferi

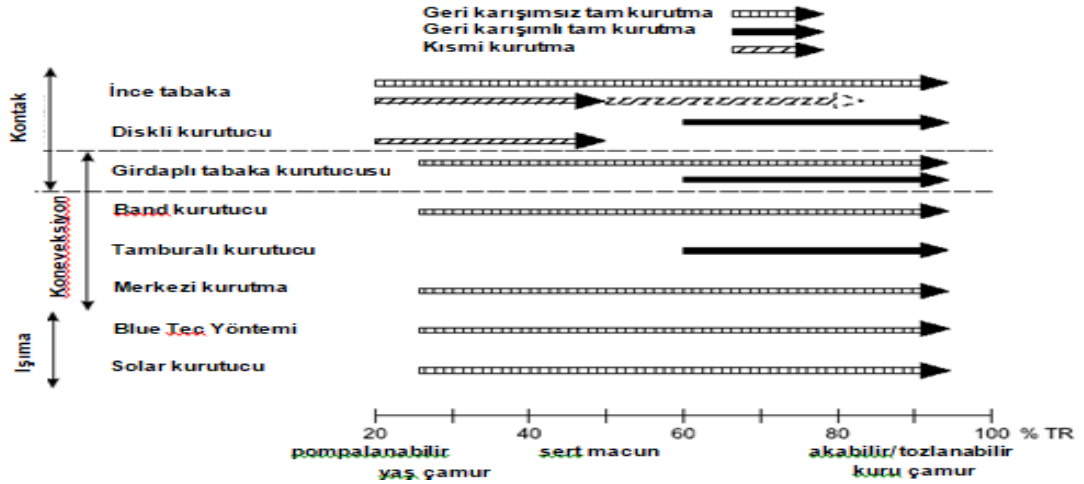
Çökelti çamuru kurutma yöntemleri ısı transferinin türüne göre ayrılırlar.

- Konveksiyon kurutma,
- Kontakla kurutma,
- Işıma ile kurutma.

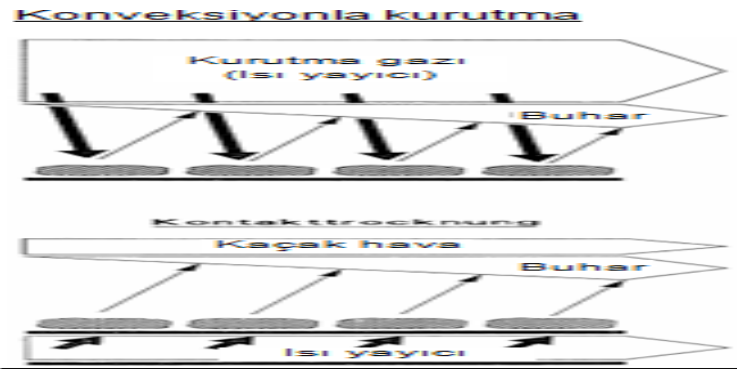
#### 3.3.1. Konveksiyonlu Kurutma

Konveksiyon kurutmada kurutulacak maddenin çevresinde veya üzerinde bir kurutma gazı (baca gazı, sıcak hava, egzost buharı kısmi akımı vb.) akımı olur, bu arada kurutma gazından madde üzerine bir ısı taşınır. Su maddeden buharlaşır ve kurutma gazı tarafından çekilir ve dışarı yönlendirilir. Kurtulan madde ısı yayıcı ile direkt temasta bulunur.





Şekil 3.5. Çökelti çamurunun kurutulması için kullanılan kurutucu tiplerinin çalışma alanları



Şekil 3.6. Çökelti çamuru kurutmasında ısı ve malzeme transfer

### 3.3.2. Kontaktlı Kurutma

Bir kontaktlı kurutmada bir ısı yayıcı ( termik yağ, buhar vb) tarafından ısıtılan yüzey (ısı eşanjörü yüzeyi) üzerindeki hareketsiz, kurutulacak madde ısı yayıcı ile direkt temasa geçmeden (indirekt kurutma) ısıtılır. Buharlaşan su kaçak noktalardan sisteme giren kaçak hava veya tasarlanmış miktarda içeri verilen taşıyıcı hava ile birlikte nakledilir.

Büyük egzost buharı - yoğunlaşma veya sonraki işlemleri yürütecek- miktarının direkt konveksiyonlu kurutmada prosese bağlı dezavantajı Kurutma gazının devrede dolaştırılması (egzost buharı sirkülasyonu) ve yalnız kontaktlı kurutmadaki egzost buharına yakın bir kısmının çekilmesi ile kompanse edilebilir.

### 3.3.3. Işıma Kurutması

Işıma kurutmasında ısı transferi ısı yayıcısı olmadan elektromanyetik ışınların veya enfraruj ışınların yardımı ile gerçekleşir

### 3.3.4. Isı taşıyıcılar

Kurutma sisteminin seçiminde başlıca kriter de çökelti çamuru kurutulmasında gerekli olan ısı taşıyıcıdır. Çizelge 3.1. burada genel bir bakış vermektedir.

Çizelge 3.1. Çökelti çamuru kurutmasında ısı elemanları

	Kullanılan cihaz	Basınç bat	Sıcaklık °C
Duman	Tamburlu kurutucu	~ 1	≤ 850
BHKW	Girdaplı tabaka kurutucusu	~ 1	≤ 350
Hava	Tamburlu kurutucu Bandlı kurutucu	~ 1	≤ 450 ≤ 160
Buhar	Ince tabaka kurutucusu Diskli kurutucu Girdaplı tabaka kurutucusu	5 – 11 ≤ 20	150– 180 ≤ 200
Basınçlı su	Ince tabaka kurutucusu Diskli kurutucu Girdaplı tabaka kurutucusu	5 – 11 ≤ 20	150– 180 ≤ 200
Termik yağ	Ince tabaka kurutucusu Diskli kurutucu Girdaplı tabaka kurutucusu	3 – 4 ≤ 20	≤ 200 ≤ 250
Işıma	Işıma kurutucusu Enfraruj kurutucu	~ 1	< 50

### 3.4. Kurutma prosesi

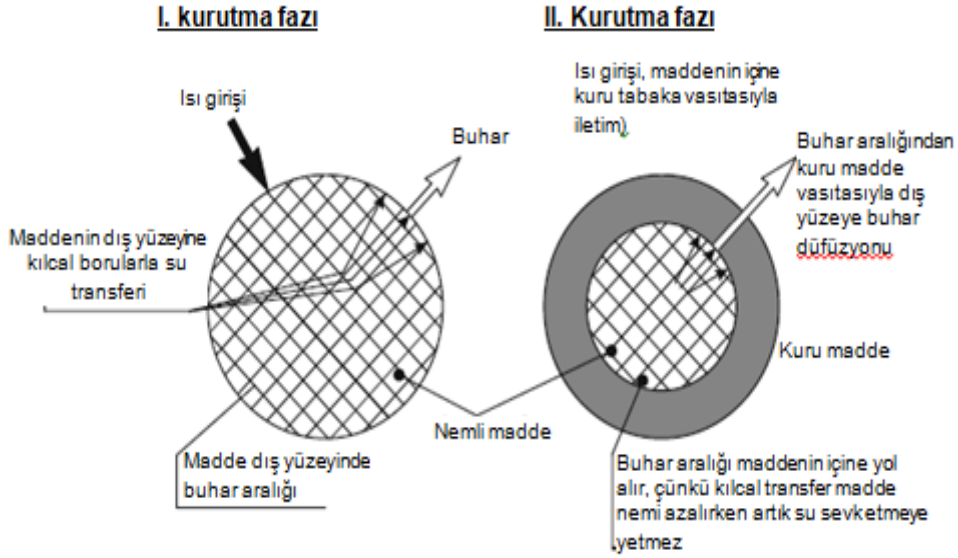
Şimdiye kadar belediye alanlarında hemen tamamı konveksiyonla veya kontaktlı kurutma prensibine göre gerçekleştirildiği için, ısı transferinin bu türünün açıklaması genelde büyük bir bölümü kapsamaktadır.

Kurutma prosesi model olması bakımından **konveksiyonlu kurutma** için Şekil: 7 ‘ de gösterilmiştir.

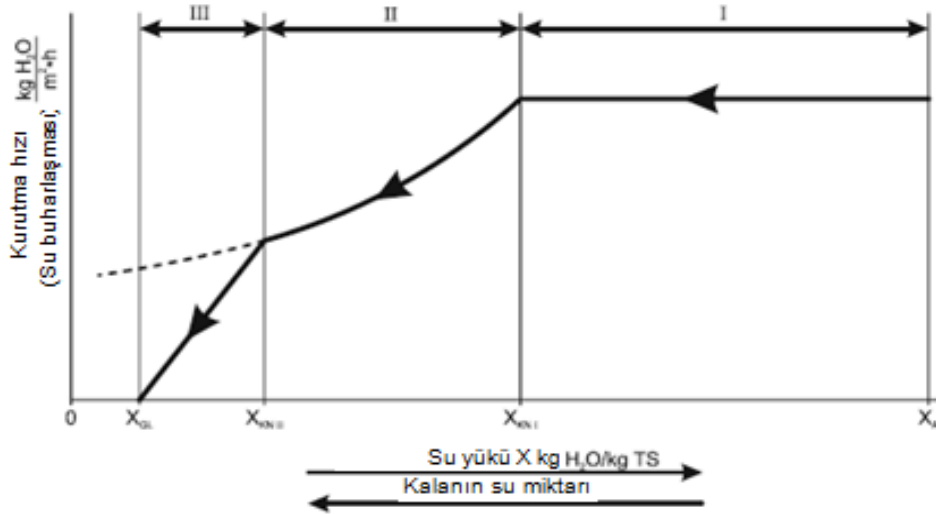
Çevresel hareket yapan nemli maddenin ısı girişi ile ısıtılan yüzeyi suyu buharlaştırır, yani; buharlaşma aralığı maddenin yüzeyinde bulunur. Maddenin içinden kılcal nem iletimi ile maddenin dış yüzeyine bir su transferi gerçekleşir. 1. kurutma fazı olarak adlandırılan fazda kurutma hızı sabittir.

Kurutma hızı bu arada maddenin içine yol alan buhar aralığı ile azalır ve higroskopik olmayan maddelerde son kurutma hızına ulaşmaya çalışır.(Şekil:8’de taranmış eğri akışı) Tam kurutulmuş çökelti çamuru gibi higroskopik maddelerde kurutma prosesinde eğer madde içinde azami higroskopik su yüklemesine erişilir ise ikinci bir kırılma noktası KN II ortaya çıkar.

Bağılantılı olan III. Kurutma fazında kurutma hızı denge nemine  $X_{GL}$  ulaşılmıncaya kadar su buharını alan kurutma gazının durumuna uygun şekilde tekrar sıfıra kadar iner. III. faz kesinlikle emme davranışından etkilenecektir.



Şekil 3.7. Kurutma prosesi – Konveksiyonlu kurutma



Şekil 3.8. Çökelti çamuru kurutmasında kurutma prosesi (teorik)

### 3.5. Kurutma Yöntemleri

Takip eden tariflerde esas olarak gerekli, örneğin çökelti çamuru ara bekletme ve içeri sevk etme gibi, tali tesislere girilmeyecektir. Gerekli egzost buharı işlenmesi "Çökme tesislerinin egzost buharı kondesatı vasıtası ile geri yüklenmesi yapılacaktır.

Yöntem tekniği, fiziksel olarak hem ham hem de stabilize çamurlar bütün takip eden kurutma tesislerinde işlenecektir. Ham çamurun katılması her şeyden önce tesislerde emisyon tekniği bakış açısından egzost buharının ,yoğuşma ve işlenmesi olmadan direkt dış havaya yönlendirilmesini sağlar. Bunun dışında ham çamurun kurutulması – özellikle kısmi kurutulması – prensip olarak, eğer bu kuru madde direkt yerel dağıtımda yakma tesisine yönlendiriliyor ise mantıklı olur.

Fazla lifli olması durumu için katı madde seperatörlerinin (örneğin strainpress) yerleştirilmesi büyük teknolojilerde denenmiştir. Uygun tam kurutma tesislerinde geri dönüş oranlarının ve bununla birlikte kuru maddenin miktarının kontrolüne bilhassa dikkat edilmelidir.

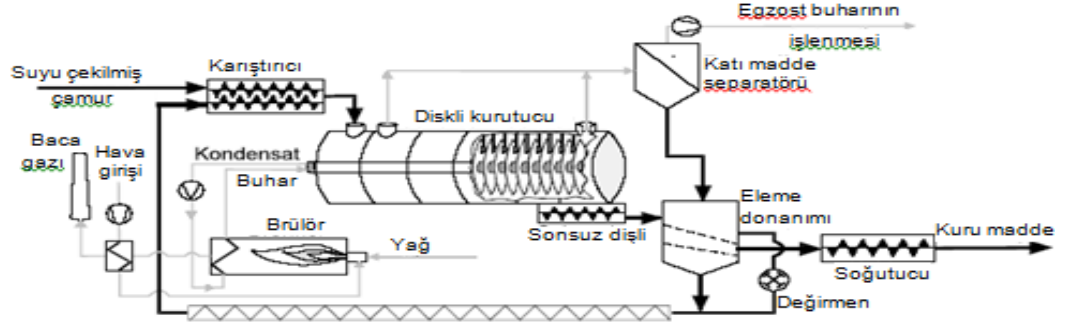
### **3.5.1. Kontaklı Kurutucu**

#### **5.1.1. Diskli Kurutucu**

Diskli kurutma tesisleri ( Şekil:9 ) yapılarına bağlı olarak- çökelti çamurunu hem kısmi,hem de tam kurutacak durumdadırlar. Tam kurutma kurutucuya önceden bağlanmış bir karıştırıcı vasıtası ile gerçekleşir. Özel yapım olarak tam kurutma işlemi için geri karıştırma işlemi kurutucunun faydalanma alanında gerçekleşen tesisler kullanıma girerler.

Kurutma cihazı bir statör ve bir içinde bulunan rotordan meydana gelir.Rotor, üzerine kaynak edilmiş diskleri olan boş bir milden meydana gelir. Bunlar, ya yaklaşık 10 bar doymuş buhar veya termik yağ ısıtıcı maddeleri içinden geçirilir ve ısıyı suyu çekilmiş çökelti çamuruna devrederler. Yöntem varyasyonu olarak ayrıca ilaveten statör de ısıtılabilir. Diskli kurutucuların içinde sürekli değişik kurutma derecelerinde büyük çökelti çamuru kütleleri bulunduğu için tesisin hızlı bir kalkışı, aynı zamanda ısıtılmış diskler büyük bir ısı potansiyeline sahip oldukları için mümkün değildir.

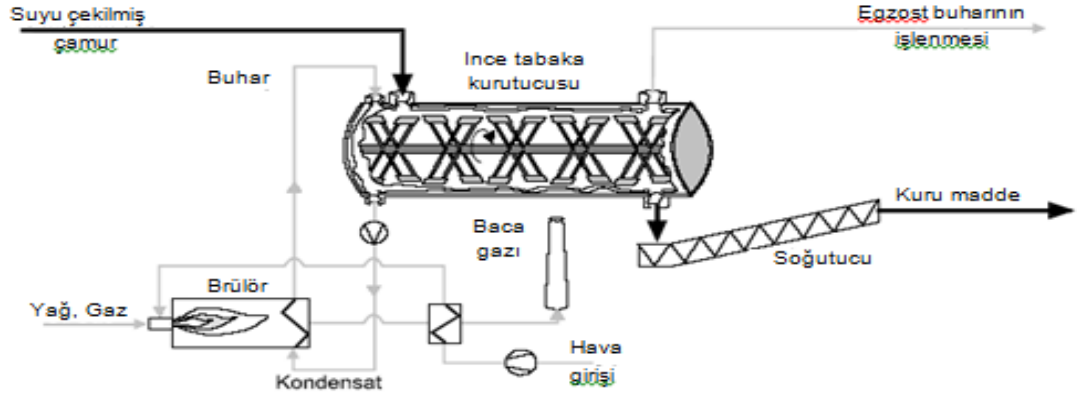
Bundan dolayı öncelikle ani işletme dışı kalmalarda ve takip eden uzun duruşlarda çökelti çamurunun pişerek disklere yapışması tehlikesi mevcuttur. İlk hareket ve kalkış proseslerinde dolayısı ile diskli kurutma tesislerinin sürekli işletilmesi için daha çok saat hesaba katılmalıdır.



Şekil 3.9. Tam kurutma için bir diskli kurutma tesisinin prensip olarak yöntem akış diyagramı

### 5.1.2. İnce tabaka kurutucusu

İnce tabaka kurutucuları (Şekil:10) çift duvarlı silindirik yatay bir statör ve içinde bulunan bir rotordan meydana gelir. Silindirin çift duvarı üzerinden kurutucuya ısı enerjisi doymuş buhar veya termik yağ şeklinde iletilir. Kurutucu fuel oil ile ısıtılırsa çift silindir içine enerji girişini karşılaştırmak için bir iletim spirali yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10. İnce tabaka kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması

İçerde bulunan rotor üzerine kaynatılmış dağıtım ve transport elemanları ile suyu çekilmiş çökelti çamurunu statörün iç çevresi üzerinde 5-15 mm kalınlığında bir tabakayı oluşturmak ve sıyırmak görevine sahiptir. Bu şekilde daima bir kontakt sınır yüzeyi yenilenmesi garanti edilmiş olacaktır. Rotorun yapısı kurutma maddesinin ısıtma yüzeyleri boyunca çıkış tarafına kadar spiral şeklinde bir transfer temin eder. Rotorun serbest salınım yapan kanat klapeleri kanalı ile sürekli bir karıştırmaya ve yapışkan fazında muhtemelen meydana gelen topraklara ulaşan bir koparmaya ulaşılır.

Rotor kanatlardaki değişim ile (Rotorun desteklenmesi) değişik çamurlara uyum sağlar.sürekli dış yüzey değişimi ve kurutucudaki düşük çamur miktarları ve de sürekli karıştırma ve bununla bağlantılı kendi temizleyen etki nedeni ile kritik yapışkan fazı çökelti çamuru ısıtma yüzeylerine yapışmadan problemsiz geçilebilir .

Rotor 7d/dak.'dan 75 d/ dakikaya kadar çok değişik çevresel hızlarla çalıştırılabilir ki, yüksek devir sayılarında statör iç tarafının vede kanatların kuvvetli mekanik zorlamalarını daha artırır.

Suyu alınmış çökelti çamuru kurutucuya yukarıdan konulur. Çamur kurutucunun içinden geçirilir ve ürün olarak kurutucunun alt tarafından alınır. Bu daha sonra konveyör helezonu ile örneğin bir konteynere boşaltılır.

Esas olarak bir ince tabaka kurutucusu ile hem kısmi hem de tam kurutma işlemleri mümkündür. Yüksek kurutma dereceli bir işletmede yapışkan fazının çok üstünde buharlaşma artık ince tabakada değil, bilakis kontakt yüzeylerinin belirgin şekilde küçültüldüğü bir cins dökme madde kurutma prosesinde gerçekleşir.

Buradan daha büyük ısı yüzeylerine gerek olan daha düşük ısı transferi ortaya çıkar. Takriben % 65 TR' ye kadar kurutma derecelerinde 25 -35 kg (H<sub>2</sub>O ) / (m<sup>2</sup>/ saat)'lik bir spesifik buharlaşma verimi hesap edilmelidir. Daha yüksek kurutma derecelerinde gerekli buharlaşma verimleri ekonomik yönden kritik olarak dikkate alınmalıdır. İlk hareket ve kalkış problemsiz yalnız izafî az çökelti çamur kütlesi kurutucuda olduğu için her seferinde takriben 1 saat sürdürülebilir.

İnce tabaka kurutucularında kurutma derecesi için ilgili olan içeri verilen çamurun kurutma tortuları ve içeri taşınan çamur miktarıdır. Kanatların devir sayısı ürün yapısına tesir eder ve kural olarak işletme süresinde değiştirilmez.

İnce tabaka kurutucuları öncelikle kısmi kurutmada kullanılacakları için hedeflenen kurutma tortularının küçük dalgalanmaları kabul edilir ki böylece işletme parametrelerinin bir kerelik ayarlanmasından sonra başka bir kumanda mutlaka gerekli olmaz.

### **5.1.3. İnce Tabaka ve Diskli Kurutucular Kombinasyonu**

İnce tabakalı ve diskli kurutucular kombinasyonu yalnız tam kurutmada kullanılacaktır. Burada önce ince tabaka kurutucularındaki yapışkan fazının problemsiz geçişinin avantajından faydalanılacaktır.

Kurutma prosesi daha sonra yaklaşık % 55-60 bir kurutma tortusunda buradan sonrasında ince tabaka kurutucuları ekonomik çalışmadığı için kesilecektir. Dışarı alınan kısmi kurutulmuş çamur direkt bir diskli kurutucuya tam kurutma için gönderilir. İki kurutma cihazı ile uygulamanın dezavantajı tasarruf edilmiş atık karışımı ile kompanse edilir ki, böylece diskli kurutucu aynı geçiş veriminde hissedilir şekilde küçük ölçülendirilebilsin. Çevre bu arada bireysel yöntemine uygundur.

#### **5.1.4. Boru Demeti-Döner Boru Kurutucuları**

Boru demeti-döner boru kurutucularında kurutucunun iç tarafında bulunan sabit boru demeti doymuş buhar vasıtası ile ısıtılır. Çökelti çamuru dönen bir manto vasıtası ile sürekli karıştırılır ve boru demeti üzerine atılır.

Ürün olarak bu arada bir süzgeçten geçirilmesinden ve ince toz ayırımından sonra tozsuz yaklaşık % 90-95 kurutma tortulu bir granül meydana gelir.

Boru demeti-döner boru kurutucuları istenilen taleplere bağlı olarak su buharlaşma verimi 100 kg (H<sub>2</sub>O) / saat'ten 8 000 (H<sub>2</sub>O) / saat'e kadar ölçülebilirler.

Diğer bütün kontaktlı kurutucularda olduğu gibi burada da yalnız az miktarda örneğin bir Quenche üzerinden yoğunlaştırılacak bir egzost buharı söz konusudur. Tesisin ayarı yapılmış ilk hareketi ve kalkışı her seferinde takriben 1 saat sürer. tesis teknolojisi sebebi ile prensip olarak bir atık karışım öngörülmelidir.

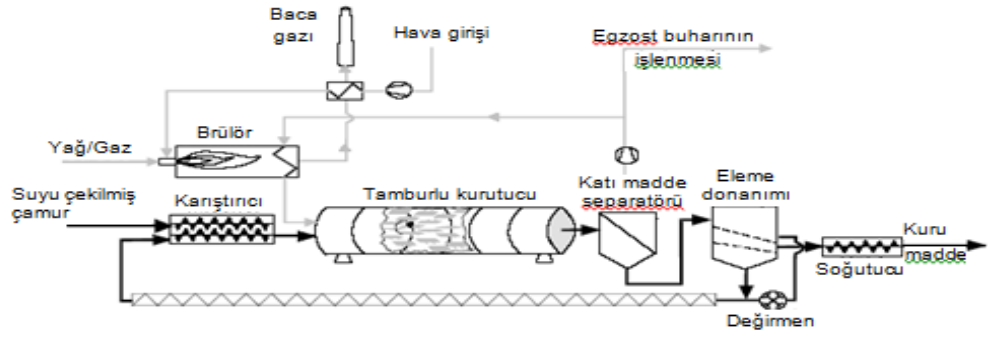
### **3.5.2. Konveksiyonlu Kurutucular**

#### **5.2.1. Tamburlu Kurutucular**

Tamburlu kurutma tesisleri (Şekil:11) yalnız tam kurutma için kullanılırlar. Kurutucu içinden yapışkan fazın geçişi mümkün olmadığından buna bir karıştırıcı önceden monte edilmiş olmalıdır.

Kurutma prosesi sürekli dönen bir veya üç kademeli bir tambur içinde gerçekleşir. Tambur içinden sevkıyat tipine bağlı olarak sıcak gaz akımı ile, tamburun doluluk derecesi ile bağlantılı olarak bir iletken sac vasıtasıyla veya uygun bir tambur yerleşimi ile olmaktadır.

Katı madde seperstörü (hortum filtresi veya siklon) üzerinden proses gazı daha sonra elek tesisine yönlendirilecek kurutulmuş çökelti çamurundan ayrılır. Ham çekirdek bir değirmende ufalanır ve elekten geçirilmiş ince madde karıştırıcıya gönderilir. Kuru madde direkt elekten çekilir ve elek seçimine uygun bir tane merkezinde birikir.



Şekil 3.11. Bir tamburlu kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (indirekt kurutma)

Kurutucuya ısı girişi iki türlü olabilir: ya bir sıcak hava akımı eşanjörler yardımı ile takriben  $400^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C}$  ' ye kadar ısıtılır ve sonra sirkülasyona sokulur veya brülör egzost gazı direkt kurutucu içine verir(direkt kurutma).Proses esnasında biriken aspirasyon havası brülörü besler.

Prosesin kumandası öncelikle çamurun sıcaklık profili üzerinden gerçekleşir. Sabit çamur girişinde hava – egzost buharı karışımının çıkış sıcaklığı ölçülür ki, burada ortaya çıkan değişiklikler kurutucu çıkışındaki kuru tortu ile doğru orantılı davranışlardır.

Ayar büyüklüğü olarak brülör üzerinden taşınan ısı gücü zikredilmiştir. Önce devreye giren karışım cihazı kendi için ayarlanmış granül yapısından sorumludur Takriben % 88 bir TR miktarından itibaren kuru madde çıkış sıcaklığı çökelti çamurunun özelliklerinin dışında kuru maddenin TR miktarına da bağlıdır ve bundan dolayı ayarlar için de kullanılır. Çamurun kurutucudan gerçekten çok uzun olan geçiş süresi nedeni ile çok hassas olmayan ayar kolayca sapmalara götürebilir.

Bir ölçüm değerini kılavuz büyüklük olarak kullanan bu tip bir ayarlamamanın avantajı, lineer olmasa da, direkt gerçekten ayarlanacak büyüklüğe, yani kuru granülün TR miktarına bağımlı olmasıdır.

### 5.2.2. Girdaplı Tabaka Kurutucuları

Girdaplı tabaka kurutucuları (Şekil:3.12) kontaktlı ve konveksiyonlu kurutucuların bir kombinasyonudur. Girdaplı tabaka kurutucuları kurutucunun- dıştaki fanlar hariç- hiçbir hareketli parçasının olmadığı tek cihazdır.

Girdaplı tabaka kurutmanın prensibi istasyonier bir girdap tabakası meydana gelinceye kadar girdaplı hava veya gazın içeriye üflenmesine dayanmaktadır.

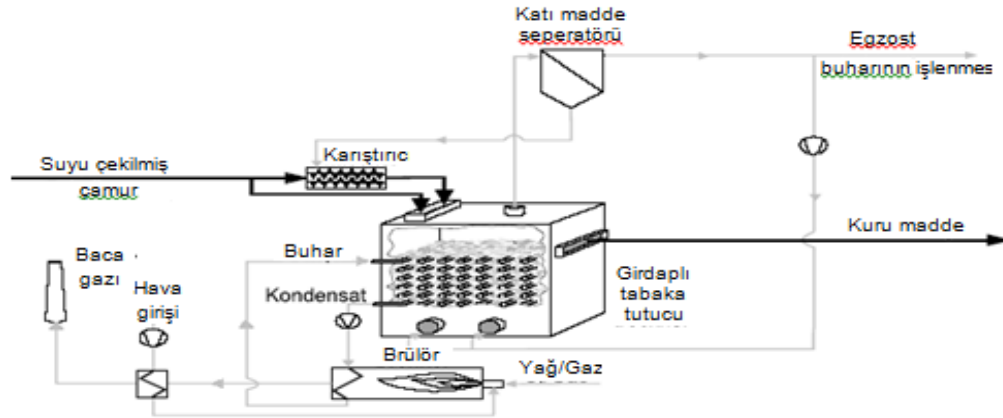
Partiküller bu arada havada askıda tutulmakta ve yoğun bir şekilde karıştırılmaktadır. İstasyoner bir girdaplı tabakanın oluşumunda sistemin fiziksel davranışları değişmektedir. Karakteristikleri şunlardır:



- ilerledikçe sabit hale gelen kesitten geçen sıcaklık akımı,
- girdaplı tabakada partiküllerin sıvıya benzer davranışları
- değişiklik gösteren akım hızında sabit basınç kaybı (enjektör alt parçasının basınç kaybının ihmal edilmesinde) ve
- kombine edilen kontaktlı kurutma kanalı ile iyileştirilmiş ısı ve malzeme transferi (girdaplı tabakanın içinde bulunan buhar borularının yanına) ve ısıtılmış girdaplı hava / gaz vasıtası ile konveksiyonlu kurutma.

Girdaplı tabaka kurutma tesisleri tam kurutma için kullanılır. Alt kurutma bölgesinde bir enjektör alt parçası üzerinden taşınan gaz öncelikle girdap tabakasının oluşumuna ve serbest kalan egzost buharının dışarı taşınmasına hizmet eder.

Henüz kurutulmuş çökelti çamurunun gaz akımı ile dışarı çıkışı kurutucunun üst bölümündeki girdaplı bir tabaka bulunmayan bölge (Freeboard) engellenir ki, burada beraber koparılan çökelti çamuru gravitasyon nedeni ile tekrar akış yatağına düşer.



Şekil 3.12. Bir girdaplı tabaka kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması

Daha ince toz partikülleri daha sonradan devreye giren siklonda ayrıştırılır ve yağ çamurun içine bir karıştırıcı vasıtası ile dahil edilir. Kurutucunun içinde aşırı pişmeler mümkün değildir. Çünkü yukarıdan içeri alınan yağ çamur direkt akış yatağına düşmektedir ve orada çok çabuk stabil bir dış yüzey oluşturmaktadır.

Sirkülasyon gazı bir kondansatöre gönderilir ve bir fan üzerinden tekrar kurutucunun içine getirilir. Bu konsept nedeni ile yalnız düşük miktarda daha sonra örneğin bir Biofiltre üzerinden geçirilebilecek atık gaz kütleleri birikmektedir.

Kurutucuya ısı girişi akış yatağındaki serpantin borularla gerçekleşmektedir. Bunlar dalgıç ısıtıcılar gibi çalışmaktadırlar ve ya doymuş buhar veya termik yağ ile doldurulmuşlardır.

Çökelti çamurunun ısıtıcı çubuklarla kısa temas süreleri ile bunlar yüksek sıcaklık seviyelerine çıkabilirler. Aşırı pişmelerde ve serpantin borulardaki aşınmalarda beklenemez, çünkü girdap tabakası düzenli partikül hızlarında sürekli bir kendi kendini yıkamayı yapmaktadır.

Bir ürün olarak kurutucunun yanından dışarı çıkarılır. Ürün tozsuz olarak biriktiği için herhangi bir eleme işlemi yapılmadan direkt siloya sevk edilebilir.

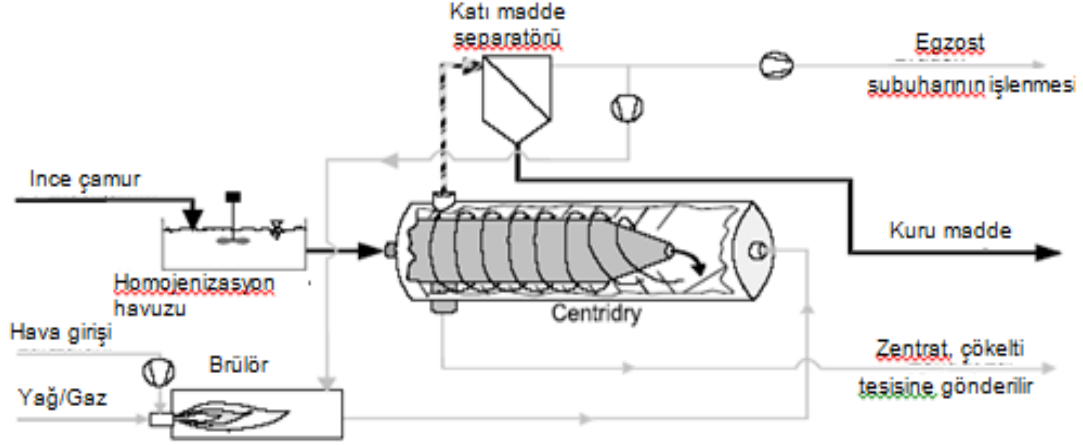
Girdaplı tabaka kurutucuları akış yatağındaki sıcaklığa iyi kumanda ederler. Kumanda dilen bir ilk hareket ve kalkış çabuk ve basit olarak mümkündür. Bunun için önce ısıtma sistemi, daha sonra yaş çamur girişi kapanır. Acil bir kesinti halinde düşük sıcaklık seviyesi nedeni ile hiçbir kritik işletme durumu ortaya çıkmaz. Kurutucu daha sonra diğer başka tedbirler alınmaksızın tekrar devreye alınabilir.

Girdaplı tabaka kurutucuları içeri taşınan bir çamur kütlesi üzerine önceden verilmiş bir ısı girişinde girdaplı tabakada 85°C'lık bir sıcaklık olacak şekilde ayarlanır. Buradan üründe % 95 bir kuru tortu olur.

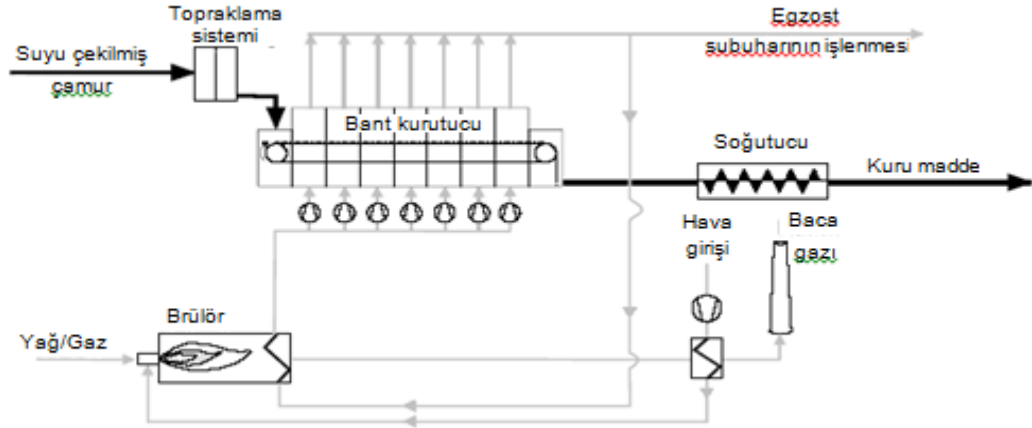
### **5.2.3. CENTRIDRY – Yöntemi**

CENTRIDRY yönteminde suyun çekilmesi ve kurutma aynı cihazda yapılmaktadır. İçeri taşınan ince çamur direkt % 50'den % 95' e kadar bir kuru tortuya getirilebilir. Bu şekilde çamurdan bir ön su çekimine gerek yoktur. Yöntem kuru tortunun girişteki salınmalarına karşı hassas reaksiyon gösterdiği için, ince çamur mukayese edilebilir özelliklere getirebilmek için bir homojenizasyon havuzundan geçirilerek kurutucuya gönderilmelidir. Çökelti çamurunun kurutulması aşağıda belirtilen konsept doğrultusunda direkt yapışkan fazdan gerçekleşir. CENTRIDRY yöntemine göre çalışan tesisler bundan dolayı kompakt yapılmış olmalıdır. Mukayese edilebilir özelliklere getirilen ince çamurun kurutucunun içine monte edilmiş santrifüj tarafından suyu çekilir. Bu arada biriken zentrat direkt prosesten dışarı püskürtülür ve egzost buharı kondensatı ile birlikte çökelti tesisine gönderilir. Suyu çekilen çökelti çamuru katı madde atışında bir saptırıcı plaka vasıtası ile ince çekirdekli madde ye yönlendirilir ve sıcak gaz akımına terk edilir. Sıcak gaz santrifüjün aksiyel iletim yönünün ters istikametinde emilir ve kurutulmuş çökelti çamuru ile beraber ince çamurun giriş bölgesinde kurutucuyu terk eder. Kurutma prosesi birkaç saniye içinde gerçekleşir. Gerekli olan ısı miktarı yanıcı gazlarla sirkülasyona dahil olur. Kurutma gazının sirkülasyon çalışmasının su buharlaşmasının ve devreye verilen yanıcı gazların uygun nem oranı vasıtası ile ataletsizliğe erişilir.

Dışarı taşınan egzost buharı bir siklon üzerinden kurutulmuş çökelti çamurunun gaz akımından ayrılacağı hücresel hava savağına gönderilir. Biriken ürün oldukça beyaz bir çekirdek merkezi gösterir. Egzost buharı daha sonra bir fan tarafından emilir ve egzost buharı işlemine gider.



Şekil 3.13. Bir CENTRIDRY kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (Direkt kurutma)



Şekil 3.14. Bir band kurutma tesisinin uygulama akış prensip şeması (indirekt kurutma)

Egzost buharı işleminden oluşan atık gaz yakma haznesine geri verilebilir.

Kumanda için basınç, sıcaklık, debi, doldurma seviyesi ve santrifüjün devir sayısı zikredilir. Hiçbir zaman diliminde sistemde büyük çamur miktarları olmadığından tesisin hızlı ilk hareketi ve kalkışı problemsiz mümkündür.

Kurutmanın stabil bir işletimi için kurutucu girişinde mümkün olduğunca sabit bir kuru tortu temenni edilir. Ortaya çıkan sapmalarda örneğin bir TS sondası ile giriş miktarı ayarlanabilir.

Sıcak hava akış hacmi ile kurutulan çökelti çamuru arasındaki temas süreleri çok kısa olduğu için, sıcak gaz miktarının yükselmesi hiçbir zaman kurutucu gücü üzerinde bir etki yapmaz, bununla beraber sıcaklık seviyesinin değiştirilmesi ile kurutma oranı üzerine tesir edilebilir

#### **5.2.4. Band Kurutucular**

Band kurutucular (şema 16) suyu çekilmiş çökelti çamurunu direkt yapışkan fazından geçirerek % 90 dan büyük oranda kuru tortu olarak kurutacak durumdadır. Bunun için burada çekirdek yapısı şekilleneceği için kesinlikle önce devreye girecek bir topaklama sistemine gerek vardır. Dolayısıyla çökelti çamuru bir delikli kalıpta pres edilecek ve sonra direkt kurutucu bandın üzerine atılacaktır

Çökelti çamurunun yeteri kadar bir dengeliliği, band üzerinde mümkün mertebe aynı atık yapısını oluşturması için, göstermesi gereklidir.

Kurutma için çökelti çamuru delikli, paslanmaz sacdan yapılmış bir konveyör bandı üzerinde kurutucu odalarından geçirilecek ve bu arada alttan sıcak gaz ile ısıtılacaktır. Çökelti çamuru kurutucu odalarında hiçbir mekanik zorlama ortaya koymadığı için bir taraftan aşırı pişme tehlikesi oluşmuyor, diğer taraftan topaklama vasıtası ile istenilen bir çekirdek merkezi şekillendirilebilir.

Sıcak gaz bir çok fan tarafından aşağıdan her bir odanın içine verilir ve egzost buharı ile birlikte kurutucunun üst bölgesinden dışarı çekilir. Kurutma gazı bir kısmı prosesten dışarı üflenip işlem yapılırken sirkülasyonda dolaşır. Sıcak gaz yüksek sıcaklıklar gösterdiği için, kurutma yaklaşık 120 o C - 130 o C 'lik bir uygun sıcaklık seviyesinde gerçekleşir. Lokal aşırı ısınmalar tarif edilmiş eşit miktarda atık dökme ile bertaraf edilecektir. Son ürün ayarlanan topaklanmaya bağlı olarak, yaklaşık 3 – 5 mm çapta uzun şekilde birikecektir. Bandlı kurutucularda kurutmanın kumandasına müdahalede üç imkan hizmete hazırdır. Bunlar içeri taşınan çamur miktarı, bandın konveyör hızı içeri sevk edilen ısı enerjisi.

Çamur miktarı ve konveyör hızı band üzerindeki tabaka kalınlığını verir. Her oda için birer fan, her odadaki tarif edilmiş sıcaklığı seviyesini ayarlayarak içeri verilen sıcak gaz miktarını regüle eder.

#### **5.2.5. Soğuk Hava Kurutucuları**

Soğuk hava kurutucusunda kurutma prosesi için bir ön su çekme işlemi gereklidir. Ayrıca suyu çekilmiş madde küçültülmek zorundadır.

Kurutulacak madde, 3-5cm yüksekliğinde gevşek bir topak oluşuncaya kadar sürekli olarak bir elek bandın üzerine verilir. Bu yaklaşık 1-1,5 saat kurutucuda kalır ve sürekli olarak çevreden büyük hava miktarları üzerine gönderilir. Yapısının durumuna bağlı olarak 2-8 m<sup>3</sup>/ saat bir çökelti çamuru hacimsel akımını % 70 – 90 bir kuru tortu miktarı ile kurutmak mümkündür.

Soğuk hava kurutucusunun prensibi nihayetinde çevre havasının tabii kurutma potansiyeline dayandığı için tarif edilen sonuca ulaşmak için büyük hava miktarları gereklidir. Bunun dışında 10 o C ‘ den daha düşük hava sıcaklıklarında ve % 80 ‘ den daha büyük izafi nemlilikte, çevre havasının ön ısıtmasının gerekli olduğu, çok uygun olmayan davranışlar ortaya çıkar. Egzost buharı bu yöntemde sisteme bağlı olarak yalnız çok ince formda oluşur. Atık gaz filtrelerinin gerekliliği kontrol edilmelidir.

### **3.5.3. Işıma Kurutucuları**

#### **5.3.1. Solar / Ventilasyon Kurutucuları**

Solar kurutma, faydalanılan yöntem teknolojisine uygun standart terimleri, mekanizmaları ışımaya kurutmasında ve konveksiyon kurutmasında kullanıldığı için, açık bir şekilde tanzim ettirmemektedir. Kurutmanın bu tipi meteorolojik şartların kullanımı altında su çekimine hizmet eder. Primer enerji ihtiyacı minimum bir değere indirgenmiştir.

Toprak altında sızdırmazlığı sağlanmış bir alan örneğin bir sera konstruksiyonu olarak çok transparan folyelerle veya cam ile kapanacaktır. Böylece meydana getirilen hacmin içinde kurutma prosesi yapılmaktadır. Güneş ışınlarının içeri girmesi ile hava durumuna göre oda sıcaklığı yükseltilecek ve bununla mevcut havanın su alışı artacaktır. Ayarlama çatı pencerelerinin açılması ve kapatılması ile gerçekleşecektir. Hava alış verişi fanların yerleştirilmesi ile iyileştirilebilir.

Kurutma süresi esas itibarıyla kurutma tesisindeki hava sıcaklığına, dış havanın su doymuşluğuna ve de tesis içindeki hava değişim oranına bağlıdır.

Kurutma prosesinin taşınması için çökelti çamurunun tesis içindeki yerini değiştirmeye mekanik değişim donanımları konulacaktır.

İşletme türüne ve yerel iklim şartlarına göre Almanya ‘da yıllık 500-950 l / m<sup>2</sup> kurutma alanı hedeflenmiştir. Buharlaştırma gücü mevsime bağlı olarak önemli ölçüde düşmektedir.

Yazın takriben yıllık buharlaşmanın % 70 'ine ulaşılmaktadır. Bundan dolayı kışın çamurun bir kısmı depolanmalıdır. Uygulama teknolojisine ait donanımların yıllık elektrik ihtiyacı takriben 30 kWh/t değerindedir.

Solar / ventilatör kurutucuları kuru tortuyu % 85' den daha fazla hedefleyebilirler. Egzost buharı bu yöntemde sisteme bağlı olarak yalnız çok ince formda oluşur. Atık gaz filtreleri şimdiye kadar henüz gerekli görülmemiştir. Buna rağmen gerekliliğinin kontrolünü tavsiye ederiz.

Çizelge 3.2. Her bir kurutma yönteminin spesifik avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması

Kurutucu Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Bandlı Kurutucu</b>	Yapışkan fazın problemsiz geçişi Kurutucuda daha az aşınma Ürün kalitesi iyi ayarlanır	Lokal ısıtmanın tehlikesi => yüksek yangın tehlikesi Çökelti çamuru su çekilmesini topaklanmaya uydurma
<b>Centridry Kurutucu</b>	Çabuk ilk hareket ve kalkış Yapışkan fazın problemsiz geçişi Yeterli çamur birikimi ile orta büyük çökelti tesislerine çok uygun	Kurutucu girişteki TR miktarının dalgalanmalarına karşı hassas reaksiyon gösteriyor Üründe oldukça yüksek toz payı
<b>İnce Tabaka Kurutucusu</b>	Sağlam yöntem Girişteki dalgalanan TR 'ye hassas değil Yapışkan fazın problemsiz geçişi	Tam kurutma enerji yönünden uygun değil
<b>İnce Tabaka Kurutucusu Diskli Kurutucu</b>	Geri karışım gerekli değil => yükselmiş geçiş Her kurutma fazında kurutucuya bağlı avantajların kullanımı	İki kendine ait kurutma cihazı gerekli Şartlar altında üründe yüksek toz ve lif payı
<b>Diskli Kurutucu</b>	İyi ısı transferi Kompakt inşa şekli Büyük geçiş miktarına tam uygun	Sürekli olmayan işletme uygun değil Kurutma hedefine bağlı olarak geri karıştırma gerekli Şartlar altında üründe yüksek toz ve lif payı
<b>Tamburlu Kurutucu</b>	Sağlam yöntem İyi ayarlanabilir ürün kalitesi Büyük geçiş miktarına tam uygun	Sürekli olmayan işletme uygun değil Düşük ısı transferi katsayısı Geri karışım gerekli
<b>Girdaplı Tabaka Kurutucusu</b>	Kurutucuda hareket eden hiçbir parça => aşınma hiçbir zaman Yapışkan fazın problemsiz geçişi Eşit ölçülü ürün yapısı	Yüksek basınç kaybı Şimdiye kadar yalnız küçük geçişler için imalat
<b>Solar Kurutucu Fanlı Kurutucu</b>	Spesifik az enerji gideri Basit teknoloji	Alan ihtiyacı Hava şartlarına bağlı verim Uzun kurutma süreleri

#### 3.5.4. Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tarif edilen kurutma yöntemlerinin her biri spesifik avantajlar aynı zaman da dezavantajlar ortaya koyuyor. Burada mükemmeliyet için hiçbir talep önemli değildir, her durumda istenilen bir kurutma hedefinin tablo yardımı ile sorudaki yöntem etrafındaki çember çabuk daraltılabilir.

Bu veya diğer yöntem için en son karar muhtemel planlamacı ya kabul ettirilememiş olabilir, bu arada burada da yatırım ve işletme masraflarının ne olacağı sorusuna dikkat etme mecburiyeti vardır.

### **3.5.5. Enerji Beslemesi ve Isı Enerjisi Geri Kazanımı**

Esas olarak çökelti çamuru kurutması için ısı elementleri olarak duman gazı, hava, buhar, sıcak su, termik yağ veya ışıyım ısısı kullanılabilir. Isı burada ya kurutma için düzenlenen bir ısı üretim tesisi üzerinden, örneğin buhar kazanı tesisi veya bırakılan ısı olarak, örneğin komşu bir blok ısıtmasından kullanıma hazır olur.

Primer enerji olarak katı atık gazı, doğalgaz veya fuel oil' dan faydalanılır. Bir çökelti tesisinde çamur çürür ise böylece bir tam kurutma tesisi için yakacak olarak katı atık gazı enerji üretiminde servise hazırdır. Çamur kurutmanın atık ısısı mayalanma odasının ısıtılmasında kullanılıyor ise yakacak olarak çökelti gazı hazır demektir.

Bir kurutmaya bir çamur yakma sistemi sonradan bağlanır ise buhar, çürük gaz kazanı tesisinin düşük basınç sisteminden veya buhar türbininin çekme ağzından alınabilir. Ekonomik bir tetkik burada bireysel olarak konsept kararının altını desteklemek zorundadır.

Bir kurutma sistemi hakkında karar vermeden önce çok önemli olan kuru maddenin sonraki değerlendirilme ve yok etme yollarını ve bunlar için gerekli kurutma oranlarını tespit edilmelidir. Daha sora devreye alınacak mono çökelti çamuru yakma tesisinde termik işlem görmesi için çökelti çamuru kısmi kurutulacak ise, kurutma prosesi ekonomik bir yanışı mümkün kılacak şekilde gerçekleşmelidir. Çürümüş bir çökelti çamurunda bu % 40-50 TR miktarında, ham çamurlarda yaklaşık % 35 TR'dir.

### **5.5.1. Termik Enerji İhtiyacı**

Bir ton suyun buharlaşması için teorik enerji ihtiyacı normal basınç altında 627 kWh' dir. Buna suyun 20° C ' den 100° C ' ye kadar ısıtmak için 93 kWh bir enerji miktarı ve katı cisim ısıtılması için 11 kWh gelir. Kurutucunun dış yüzeyi üzerindeki direkt kayıplar veya ısı yayıcısının etkinlik derecesi 1000kWh' den biraz fazladır ki, bunun % 80'nini enerji değişimi alır. Yalnız Dış yüzey ve enerji değişim kayıpları optimize edilen planlamalar ve uygulamalar ile değiştirilebilir. Enerji beslemesinin % 10 ' dan az oldukları için, pratikte çökelti çamuru kurutmasında hemen hemen hiç enerji tasarrufu olanakları yoktur.

### **5.5.2. Elektrik Enerji İhtiyacı**

Çökeltiçamuru kurutmasında akım öncelikle kurutma cihazlarının tahrik edilmesi için kullanılıyor. Bunun dışında örneğin çökelti çamur transferi, egzost buharı işlenmesi veya kazan tesisleri gibi birçok yan tesisleri var.





Kurutucudaki çamurun ısıtılmasının enerji masrafları tekrar ısıtma ile yarıya düşürülebilir. Çamur suyunda (Zentrat / Filtrat )yükselen sıcaklıklar teknik masrafları ve sonradan devreye giren koku alma tesisinin enerji ihtiyacını indirger.(yoğun biyoloji)

Şekil 15' de gösterilen ısı geri kazanım tesisi ileride açıklanacaktır.

Kurutucuya çekilmiş egzost buharı kondensasyon kademelerine girişten önce öncelikle tozdan arındırılmalıdır. Bu öncelikle tam kurutma tesislerinde ortaya çıkar aynı zamanda kısmi kurutma tesislerine de,eğer örneğin ısı ayırımı plakalı eşanjörden gerçekleşiyor ise tavsiyeye şayandır.

Egzost buharı daima toz, yağlar ve diğer kirli maddeler ihtiva ettiği için egzost buharları kural olarak püskürtme kondensatörleri içinde çevre su sistemi ile çökeltilir. Pompalarla cebri olarak devrettirilen su devridaiminde sıcak su devridaiminin ısı ayırımı için, örneğin çürütme tesisi, ya bir boru veya plakalı ısı eşanjörü bulunur. Egzost buharı kondensatı çekilir ve çökeltme tesisinde işlem görmek zorundadır. Bir ikinci kademede fazla ısı, karışım kondensatoru içinde kademeler üzerinden ham çamurun veya çürük çamurun ısıtılması için kullanılır. Karışım kondensatoru drenaj kademesi öncesi çürük çamur ısıtılması için kullanılacak ise içeri alınan ısının büyük bir bölümü çamur suyu ile kaybolur. Bundan dolayı karışım kondensatoruna yalnız fazla olan egzost buharı ısı, proses tekniğine uygun olarak çamur suyu sıcaklığı sonradan devreye alınan işlem tesisi içinde sistem gereği kullanılmayacak ise, sevk edilir. Yaz aylarında bir çürütme tesisinin ısı ihtiyacı hissedilir şekilde düştüğü için üçüncü kondensasyon kademesi olarak bir ayar kondensatoru genellikle zaruri değildir. Soğutma elemanı olarak kullanım suyu kullanılabilir. Hava soğutmalı bir eşanjörün kullanımı da prensipte mümkündür.

Isı yeterli yükseklikteki bir sıcaklık seviyesinde, mayalanma ve bina ısıtma sistemlerinde 90 ° C ' lik bir gidiş hattı sıcaklığına erişebilmek için geri kazanılmalıdır.

Egzost buharının içine sevk edilen ve kondensasyon ısı, ısı olarak geri kazanılabilen primer enerjinin büyük bir kısmı, çamur kurutmasında suyun buharlaşması için kullanılır.Burada egzost buharı ile kaçak havanın su buharı miktarları arasındaki kütle oranların büyük önemi vardır. Konveksiyonla kurutma yönteminde egzost buharının takriben üçte ikisi Inertgaz' dan (hava) meydana gelir ki, kontaktlı kurutucularda egzost buharının % 5-10 kadarı kaçak havadan oluşur.

Kurutucu egzost buharının içindeki su buharının parsiyel basıncı, buna karşılık konveksiyonlu kurutucularda kontaklı kurutucuların yalnız yarısı kadardır. Bu şuna götürür: Konveksiyonlu kurutucularda doymuş buhar sıcaklıkları yalnız takriben 80° C ‘ ye erişilebilir ve bununla bir çok eski tesisteki sıcak su ısıtılması için gerekli gidiş hattı sıcaklığına yalnız ilave teknik donanımlar ile ulaşılabilir.

Geri kazanılabilen ısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Geri Kazanılabilen} = \left( 1 - \frac{\text{Kondensat öre göre egz. buh Entalpi si}}{\text{Kurutucu ya göre egz. buh Entalpi si}} \right) \times 100 [\%] \quad (3.2)$$

Konveksiyonlu kurutucularda daha önce belirtilen sınır şartlarında içeri getirilen kurutma ısısının yüzde 25’i, ancak kontaklı kurutucularda yüzde 75’i büyük teknolojik masraflar olmadan mevcut ısıtma sistemlerinde geri kazanılabilir.

Egzost buharı ısısından faydalanmanın diğer bir olasılığı, kazan sisteminin yanma havasını indirekt eşanjör üzerinden ön ısıtmasının yapılmasıdır. Bu varyasyonlar çoğunlukla konveksiyonla kurutma yönteminde kullanılmaktadır. Egzost buharının yakma havasına direkt verilmesi egzost buharı iç maddeleri nedeni ile tavsiye edilmez. Egzost buharı prensip olarak koroziftir; tüm üretim ile ilgili borular ve eşanjörler gibi parçalar korozyona dayanıklı çelikten imal edilmelidir.

Egzost buharı çökelti tesisinin giriş akımına üflenirse, nitrifikasyon ve denitrifikasyonun desteğinde atık su sıcaklığını aktivasyon tankında alt seviyede olacak şekilde kaldırın. Egzost buharının bu alet bakımından kolay ısı kullanımı yalnız sınır seviyede ekonomiktir.

### 3.5.6. Çökelti Tesisinin Geri Yüklenmesi

#### 5.6.1. Egzost buharının kondensatları vasıtasıyla çökelti tesisinin geri yüklenmesi

Egzost buharının kondensatlarının yüklenmesi çamurun ön işlemine (örn. anaerobe veya aerobe stabilizasyon/ stabilizasyon derecesi) kurutma prosesinin ve sistem basıncı sırasında çamur ve bilhassa çekirdek sıcaklığına bağlıdır. Kondensat içindeki amonyumun konsantrasyonu kurutma sırasında çamurun artan ısıtması ile yükselir.

Kontaklı kurutmadaki amonyum konsantrasyonu belirgin şekilde konveksiyonlu kurutmanınkinin üzerindedir.

Egzost buharlarının maksimum amonyum yüklemeleri kontaklı kurutmada takriben 2.500 mg/l ve konveksiyonlu kurutmada takriben 500mg/l ' dir ki, dalgalanma alanı istasyonier kurutma işletmesinde de tetkik edilmelidir. Minimal değerler maksimal değerlerin % 25-50 'si civarındadır. BSB<sub>5</sub> CSB'li egzost buharı yüklemesi yalnız direkt kurutucu tipine bağlıdır ve hemen hemen yalnız egzost buharının toz miktarı ile tespit edilecektir.

Sonradan devreye alınan toz arındırma sistemi olmayan girdaplı tabaka kurutucuları egzost buharı kondensatının çok yüksek değerlerini 7000 mg/l CSB/l gösterir. Toz meydana getiren sistemlerde toz ayırmadan feragat edilmemelidir.

Çamurun tam kurutulmasında kondensat miktarı çamur drenajından yalnız başına takriben Zentrat/ Filtrat miktarının % 10'unu teşkil ettiği için, çökeltme tesisinin egzost buharı kondensatından geri yüklemesi az miktarda olarak kademelendirmelidir ve bir sistem seçiminde kriter olarak tabi olmayan bir roldür.

#### **5.6.2. Buhar işleminde çıkan kullanılmış hava vasıtasıyla geri yükleme**

Buhar genellikle püskürtme kondansatöründe çökeltilir Bu kondansatör arıtma tesisi çıkış suyuyla, kullanma suyuyla veya soğutulmuş buhar kondensatıyla çalıştırılabilir. Oluşan buhar kondensatı, püskürtme kondansatörünün çalışma şekline bağlı olarak ya soğutucuyla birlikte ya da konsantrat olarak arıtma tesisi giriş suyunu sevk edilir. Buharın kondansatörde havayla dışarı atılan, kondense edilmeyen kısımları koku nedeniyle ayrı işlenmelidir.

Bu konuda işlem tekniği bakımından çözüm olarak biyofiltre/kompost filtresi, biyo yıkama donanımı, absorpsiyon / adsorpsiyon sistemleri veya yakma düşünülebilir. Kondense edilemeyen buhar ya kurutucunun kazanında ya da dışarıda, örn. bitişik blok termik santralde, mono atık su arıtma çamuru yakma tesisinde veya bir teknik santralde yakılabilir. Buhar hava hacmi (alt basınçta çalışırken cebri olarak dolaşıma giren ve bir kısım buharla birlikte kondense edilemeyen hacim akımı olarak yakma işlemine sevk edilen harici hava) çok daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak da kazan brülörüne daha çok yük bindiği için hem azot oksit hem karbonmonoksit konsantrasyonları konveksiyonlu kurutucularda kontaklı kurutucularda olduğundan çok daha yüksektir.

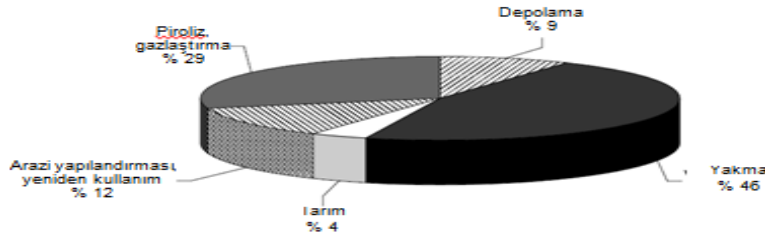
Konveksiyonlu kurutucularda 50-69 mg/ m<sup>3</sup> karbonmonoksit ve 125-260 mg/m<sup>3</sup> azot oksit konsantrasyonları görülür. Buna karşılık kontaklı kurutucularda 5 mg/m<sup>3</sup>'ten düşük karbonmonoksit ve yakl. 100 mg/m<sup>3</sup> azot oksit konsantrasyonları görülür.

### 3.5.7. Bertaraf Etme Yolları ve Ürün Kalitesinin Gerekleri

Kurutulmuş arıtma çamuru esas olarak mekanik olarak susuzlaştırılmış arıtma çamurunun söz konusu olduğu her türlü bertaraf etme yoluna yönlendirilebilir. Bunlar aşağıda belirtilenler olabilir:

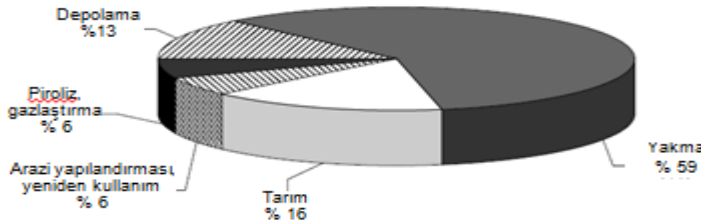
- Depolama (ısıl işleme tabi tutmadan)
- Yakma (enerji açısından değerlendirme / depolanmış olanın termik işleme tabi tutulması)
- Arazi yapılandırılmasında kullanım / yeniden tarımda kullanım (malzeme olarak değerlendirme / gübre haline getirme)
- Tarımsal olarak değerlendirme
- Isılçözüm / gaz haline getirme (enerji olarak değerlendirme / malzeme olarak depolama)

Mümkün olan bertaraf etme yollarının şu andaki durumu (2001/2002) Şekil:16 ve Şekil:17'da görülmektedir. Buna göre termik olarak değerlendirme / bertaraf etme yöntemlerinin daha hakim pozisyonda oldukları görülmektedir ve ısılçözüm (proliz) teriminin arkasında iki adet kurutma tesisi saklanmakta ve bunlardan çıkan arıtma çamuru aynı ısılçözüm tesisine gönderilmektedir



Şekil 3.16. Kurutulmuş çamur için bertaraf etme yöntemleri, dikkate alınan miktar 180.693 t TS/a (Temel: 2001/2002'de 31 tesis)

\*( Kaynak: ATV-DVWK-M-379 ISBN 3-924063-36-2-Çökelti çamuru kurutulması )



Şekil 3.17. Kurutulmuş çamur için bertaraf etme yöntemleri – tesis sıklığı (Temel: 2001/2002'de 31 tesis)

\*( Kaynak: ATV-DVWK-M-379 ISBN 3-924063-36-2-Çökelti çamuru kurutulması )

Bertaraf etme yöntemleri ile ilgili olarak yapılan bu analiz kurutma yolu ile arıtma çamurunun bertaraf etme yöntemlerinin devam ettirilebildiğini, hatta bunların daha iyi hale getirilebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bir kurutma tesisinin planlanması sırasında gelecekte ortaya çıkabilecek gelişmeler de göz önüne alınmalıdır. Bu alanda aşağıda belirtilen değişiklikler önemli ölçüde etki yaratabilir. Şu anda uygulanmakta olan değerlendirme / bertaraf etme yöntemleri ile ilgili olarak aşağıdaki hususlar belirtilebilir:

Organik katı madde içeriği  $> \% 5$  olan kurutulmuş çamurun depolanması günümüzde gerçi bazı depolama alanlarında gerçekleştirilmektedir ama gelecekte bu mümkün olmayacaktır. Bu bağlamda özellikle çöp depolama yönetmeliği geçerlidir.

Tarım alanındaki değerlendirme açısından fosfatın mevcudiyeti bakımından ilk başta daha küçük tane büyüklüğü elde edilmesi hedeflenmelidir. Bununla birlikte bu yöntemin ortaya çıkardığı dezavantaj da saçılma sırasında tozun etrafa dağılmasıdır. Bu gibi durumlarda tane büyüklüğü olarak 2 – 6 mm şart koşulmalıdır. Ayrıca tane büyüklüğü dağılımının dar alana sıkıştırılması tekdüze dağılımla birlikte optimum saçılma resminin ortaya çıkması sonucunu doğurmaktadır. 6 mm üstündeki tane büyüklüğünden kaçınılmalıdır. Bunun dışında, depolama ve nakliye bakımından yüksek dökme ağırlığı, iyi saçılım yeteneği, yüksek sürtünme mukavemeti ve tekdüze yoğunluk önem arz etmektedir. Kuru maddelerin değerlendirilmesi/bertaraf edilmesi bakımından en sık kullanılan yöntem olarak yakma belirtilmektedir.

Bu bağlamda yakmanın işleme tabi tutmanın bir adımı olduğu ve kuru maddenin bileşkerlerinin, enerji bölümü hariç olmak üzere, madde olarak değerlendirilmesinin veya depolanmasının gerekli olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Termik bertaraf etme yöntemi olarak kuru maddenin taş kömürü kullanan enerji santrallerinde birlikte yakılması yöntemi belirtilebilir.

Bu normal şartlarda kurutulmuş arıtma çamuru ile yapılmaktadır ama bu bağlamda kireç ile şartlandırılmış arıtma çamurunun kullanılmaması istenmemektedir zira bu ısıtma değerinde azalmaya yol açmaktadır. Arıtma çamurunun linyit kömürü kullanan enerji santrallerinde kullanılması sırasından kurutma ısıtma değerinde yükselmeye yol açmakta ama yakma tekniği nedenlerine bağlı olarak gerekli değildir zira linyit kömüründe de çıkış noktası olarak göreceli olarak yüksek su içeriği mevcuttur. Yakma tesisi bu nedenle yüksek su içeriğine göre ayarlanmıştır.

Enerji santralında yakma bakımından gerekler kullanılan ateşleme şekli tarafından belirlenmektedir. Hangi sistemin kullanıldığına bağlı olarak, un haline getirilmiş arıtma çamurunun püskürtülmesi şart koşulabilir. Bunun anlamı mümkün olduğu kadar tozlu bir ürünün talep edilmesidir. Izgara üzerinde yakmak için çamurun briket haline getirilmesi gerekli olabilir ki arıtma çamurunun pres edilmek sureti ile her türlü şekil ve büyüklükte briket haline getirilmesi kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Münferit durumlarda sadece granüle malzemenin yakılması da söz konusu olabilir, örneğin çöplerle birlikte yakılma durumu söz konusu olduğu zaman.

Kurutulmuş arıtma çamurunun kullanımı kiremit üretimi alanında da mümkündür ama şu ana kadar piyasada bu yöntemin pek kabul görmemiş olması engelleyici bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Çimento sanayisinde de kullanım mümkün olup, arıtma çamuru bu bağlamda klinker üretiminde kullanılabilen ve kireçle şartlandırılmış arıtma çamuru tercih edilmektedir. Enerji bölümünün termik olarak kullanımı ayrı bir değer yaratmaktadır.

Kurutulmuş arıtma çamurunun gaz haline getirilmesi / ısı çözümü (prolizi) sadece bir atık su tesisi işletmecisi tarafından ve bir gaz haline getirme tesisinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin gelecekte daha fazla kullanım imkanına sahip olup olmayacağı ekonomik faktörler tarafından belirlenecektir.

Özet olarak belirtmek gerekirse, kurutulmuş arıtma çamurunun kullanıma sunulması halinde arıtma çamurunun alıcı yelpazesinin genişletilebileceği söylenebilir. Her halükarda arıtma çamurunun pazarlanmasındaki eylem çapının önemli ölçüde genişletilebilmesi mümkündür ve bu da değerlendirme ve bertaraf etme güvenliği için ek bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

Arıtma çamurunun kurutulması söz konusu olduğunda, öncelikle bununla bağlantılı olan masrafların diğer yöntemlerde ortaya çıkan masraflarla mukayese edilmesi ve masraf açısından optimum düzeydeki çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir ama bu çözümlerin aynı zamanda bundan sonraki arıtma çamuru bertaraf etme veya değerlendirme yöntemlerinin yüksek düzeyde güvenlik sunması gerektiği de gözden ırak tutulmamalıdır. Ürünün kabul edilme oranı kullanılan yüksek düzeyli termik kurutma yöntemlerinin “arıtma çamurunun” hijyenik açıdan herhangi bir sorun yaratmayacağı hususuna bağlı olarak artacaktır.

Bunun dışında, kurutulmuş arıtma çamurunun kalite gerekleri ile ilgili yönünün her bertaraf etme yönteminde yeniden ele alınmasına ve nihai olarak bertaraf etme hususunun çevre sağlığı, iş emniyeti açısından ve ekonomik bağlamda optimum düzeye getirilmesine ihtiyaç vardır.

### **3.5.8. Atık Çamur Kurutma Tesisi ve Bertaraaf Maliyet Analizi**

#### **5.8.1. Termik enerji ihtiyacı, Enerji beslemesi ve Isı enerjisi geri kazanımı**

Bir ton suyun buharlaşması için teorik enerji ihtiyacı normal basınç altında 627 kWh' dir. Buna suyun 20° C ' den 100° C ' ye kadar ısıtmak için 93 kWh bir enerji miktarı ve katı cisim ısıtılması için 11 kWh gelir. Kurutucunun dış yüzeyi üzerindeki direkt kayıplar veya ısı yayıcısının etkinlik derecesi 1000kWh' den biraz fazladır ki, bunun % 80'nini enerji değişimi alır.

#### **5.8.2. Elektrik enerjisi ihtiyacı**

Sistemin tamamının kullanım değerleri kullanıma bağlı olarak 70-110 kWh / ton su buharı arasında dalgalanır. Prensip olarak yükselen çökelti çamuru kuru miktarı ile elektrik ve termik enerjiye olan ihtiyaç yükselir.

### **3.6. Çamurun Yakılması**

#### **3.6.1. Akışkan Yatak İşlemi**

Bir kolon içinde yığılı durumda bulunan taneciklerin teşkil ettiği yatak bölgesine alttan düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında, hava, parçacıklar üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve parçacıklar arasından kendine boşluklar bularak yukarı hareket eder. Bu durum parçacıkların hareket etmediği sabit yatak konumudur.

Akış hızı arttırıldıkça, hava, parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak, parçacıkların arasındaki yerçekiminden kaynaklanan kuvvetleri azaltır. Hız daha da arttırıldığında, parçacıkların üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek, yukarı doğru akan havanın içinde parçacıkların asılı kalmalarını sağlar. Artık, yatağı oluşturan parçacıklar akışkan özellikleri sergilemeye başlamıştır ve bu durum minimum akışkanlaşma koşulu, bunu sağlayan gaz hızı da minimum akışkanlaşma hızıdır.

Hız daha da arttırılırsa, yatak içinde hava kabarcıkları oluştuğu ve kabarcıkların yatağı, suyun kaynamasına benzer bir şekilde terk ettikleri görülür bu durum kabarcıklı akışkan yatak olarak adlandırılır.Hava akışının daha da hızlandırılması durumunda, kabarcıklar daha da büyüyecek ve birleşerek yatakta daha büyük boşluklar oluşturacaktır. Türbülanslı akışkan yatak olarak adlandırılan bu durumda, katılar yüksek katı derişimine sahip,birbirine bağlı gruplar halinde bulunurlar.

Eğer gaz akışı ile hareket eden katılar, havadan ayrıştırılarak yatağa geri döndürülürse, parçacıklar bir döngüde dolaşmaya başlayacaklardır. Dolaşimli akışkan yatak olarak tanımlanan bu tür sistemlerde, altta bulunan yoğun yataktan daha yukarıda bulunan seyreltik bölgeye doğru katı derişimi gittikçe düşse de, kabarcıklı sistemlerin aksine, iki bölge arasında belirgin bir geçiş bulunmamaktadır. Geri döndürülen katıların ağırlığı sistemden akan havanın ağırlığının yüzlerce katı olabilirken, bu durum, yataktaki katıların ağırlığının yarattığı basınç farkının artmasına sebep olur.

Yanma odasındaki basınç farkı hava akışı ile değişmekte olup, minimum akışkanlaşma hızına ulaşılan dek hızın artmasıyla artar. Bu noktada katılar havada asılı kaldığı için karşılaşılan direnç sadece yataktaki katıların ağırlığına bağlıdır. Dolayısıyla katıların sistem dışına taşınmasına sebep olacak hıza erişilene kadar basınç farkı sabit kalacaktır ve bu noktadan sonra sistemden katıların kaçmasıyla toplam ağırlık düştüğü için basınç farkı azalacaktır.

### **3.6.2. Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi**

1960'ların başlarında, termik santrallerden kaynaklanan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının azaltılmasının gerektiği ve akışkan yatakta yakma işleminin bu emisyonları azaltacağı düşüncesi ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, 1970'li yıllarda kabarcıklı akışkan yataklı kazan teknolojisi geliştirildikten sonra 1980'lerde uygulamalar dolaşimli akışkan yataklı kazanlara yönelmiş ve o tarihlerden bugüne sayıları hızla artan başarılı santral uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Bugün akışkan yataklar dünya çapında birçok endüstride çeşitli işlemler için kullanılmaktadır. Akışkan yataklı yakma teknolojileri, sanayide;

- sıcak su,
- buhar,
- kurutma amaçlı sıcak gaz

eldesinde kullanıldığı gibi termik santrallarda da enerji eldesinde kullanılmaktadır.



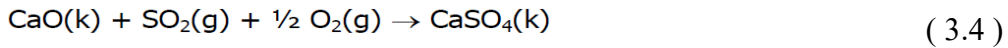
### 3.6.3. Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantajları

- a. Yüksek yanma verimi ve yüksek ısı transfer katsayısı
- b. Yakıt hazırlama kolaylığı
- c. Yüksek emre amadeliliği
- d. Yakıt bileşiminde esneklik

➤ Kükürt dioksit, özellikle asit yağmurlarına yol açması, dolayısıyla havada ve suda asit birikimi oluşturması sebebiyle önemle üzerinde durulan emisyonlardan biridir. Yanma sırasında, yakıtın bünyesinde bulunan kükürdün oksitlenmesiyle kükürt dioksit oluşurken, akışkan yataklı kazanlarda yatak bölgesine kireçtaşı beslenerek bu kükürt dioksit tutulur. Kireçtaşı yatağa beslendiği anda sıcaklığın etkisiyle endotermik kalsinasyon reaksiyonu gerçekleşir:



➤ Kalsiyum oksit oluştuğunda ise kükürt dioksit ve oksijen gazları ile reaksiyona girerek katı fazda kalsiyum sülfat oluşturur:



➤ Kalsiyum sülfatın, akışkan yataklı kazanlara özgül düşük çalışma sıcaklıklarında (750 – 900°C) kimyasal olarak kararlı olduğu için, katı fazda ve bozunmadan kazandan dışarı alınabilmektedir.

➤ Yanma veriminin artırılmasına ilaveten, yukarıdaki reaksiyon zincirinden en yüksek kükürt tutma verimini alabilmek için, kazanı terk edip siklonda tutulan katı parçacıkların, kabarcıklı sistemlerde küçük bir kısmı, dolaşımılarda ise çok büyük kısmı, reaksiyonların devamı için kazana geri gönderilir.

➤ Geri gönderme işlemiyle, katıların gazla teması için daha çok süre, reaksiyon için ise daha çok yüzey alanı oluşturulduğu düşünülürse, dolaşımılı akışkan yataklı kazanlar, yanma veriminde olduğu gibi kükürt tutma veriminde de kabarcıklı akışkan yataklı kazanlara göre daha üstündür.

➤ Azot oksitler, çevreyle etkileşimleri açısından kükürt oksitlerden çok daha geniş kapsamda etkileri olan gazlardır. Tüm çeşitlerinin tanımlanması için NO<sub>x</sub> formülü ile ifade edilen azot oksitlerin, asit yağmuru, yer seviyesinde ozon oluşumu, atmosferin üst seviyelerinde ozon tabakasının incilmesi, sera gazı etkisi ve fotokimyasal sis oluşumunda yer almasıyla çevre üzerinde belirgin etkileri vardır.

➤ Bu gazların yanma sonucunda oluşması için iki kaynak vardır; yakıttaki azot ve yanma için beslenen havadaki atmosferik azot.

➤ Atmosferik azotun özellikle 1200°C ve üstündeki sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesinin sonucunda oluşan ısıl-azot oksit, çok daha düşük işletme sıcaklığına sahip akışkan yataklı kazanlarda kayda değer miktarda oluşmamaktadır.

➤ Akışkan yataklı yakıcılarda azot oksit emisyonlarının azaltılması için kademeli hava beslemesi yapılarak, sisteme verilen havanın bir kısmı alttan, geri kalanı da yatak üstünde çeşitli noktalardan beslenir. Bu uygulama ile indirgeyen atmosfer oluşturulması azotun oksitlenerek azot oksite dönüşmesini engeller.

**\* Sonuç olarak;**

➤ Düşük yanma sıcaklığı (750 – 900°C) sayesinde düşük miktarda ısıl NO<sub>x</sub> ve kademeli hava beslemesi sayesinde düşük yakıt kaynaklı NO<sub>x</sub> oluşumu,

➤ Yakıcının içinde kireçtaşı ile SO<sub>2</sub>' nin tutulması sayesinde,

➤ ilave baca gazı arıtma tesisleri olmaksızın, akışkan yataklı kazanlardan yönetmeliklerle belirlenmiş olan sınırların altında NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları elde edilir.

**\* Kullanılabilir kül;**

➤ Akışkan yataklı kazanlarda yakma işlemi sonucunda elde edilen kuru ve depolanabilir külün değişik kullanım alanları bulunmakta, yeni kullanım sahaları için de araştırma çalışmaları yapılmaktadır.

➤ Tarıma elverişli toprak eldesi,

➤ atık/çamur stabilizasyonu,

➤ yol yapımında taban malzemesi,

➤ atık alanlarının kapatılmasında ve açık maden ocaklarının geri kazanımında dolgu malzemesi olarak kullanılan

➤ çimento tesislerinde, üretime hammadde olarak kullanılmaktadır.

### **3.6.4.Akışkan Yataklı Kazanların Sınıflandırılması**

Akışkan yataklı kazanlar akışkanlaştırma koşullarına bağlı olarak

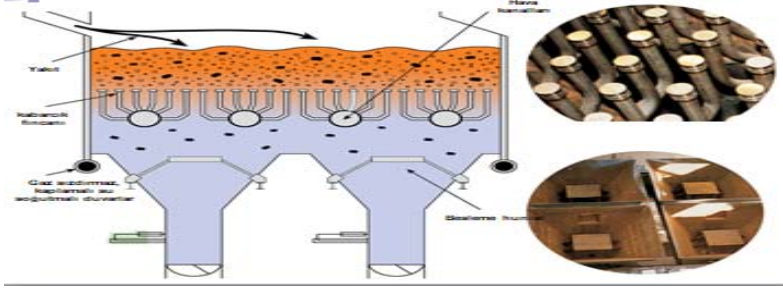
➤ Kabarcıklı (**KAYK**) ve

➤ Dolaşımlı (**DAYK**) akışkan yataklı kazanlar olmak üzere ikiye ayrılır.

#### **a. Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kazanlar**

Akışkan yataklı kazanlarda, kırıcılardan geçirilmiş yakıt ve kireçtaşı parçacıkları, alttaki dağıtıcı plakadan geçerek yanma odasına giren ve yukarı doğru akmakta olan hava akımında asılı kalırlar. Minimum akışkanlaşma koşullarını sağlayan gaz debisinin üstüne çıkıldıkça, yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya başlar.

Kabarcıkların, taneciklerin yatak içerisinde dolaşımını sağlaması ile katı taneciklerin kazan içerisinde mükemmel yakın bir şekilde karışması mümkün olur. Bu kazanlarda katı-gaz karışımının gerçekleştiği yatak bölgesi ile yukarıda bulunan serbest bölge arasında kalan yatak yüzeyi oldukça belirgindir. Yanma sonucu oluşan uçucu kül, gazla beraber sürüklenir ve nispeten daha iri parçalar siklonda,ince taneler de daha ileride bir elektrostatik ya da torba filtrede tutulur. Siklonda tutulan uçucu külün, gerekli görüldüğünde yatak bölgesine tekrar beslenmesiyle, yanma ve kükürt tutma verimlerinin artması sağlanır.Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, kazan borularının bir bölümü yanmanın gerçekleştiği yatak bölgesinin içine yerleştirilerek 800 – 900°C civarında sabit sıcaklık sağlanır. Kazanın diğer bölümlerinde uygun yerlere de baca gazlarının ısısından maksimum seviyede istifade edilecek şekilde kazan boruları yerleştirilir.



Şekil 3.18. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Detay Resmi



Şekil 3.19. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Detay Resmi

## b. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazanlar

Bu kazanlarda, küçük tanecik boyutu ve yüksek gaz hızları (~2m/s' nin 2-3 katı) sebebiyle yatak ve serbest bölge ayrımı belirgin bir şekilde yapılamaz.. Bu sistemlerde, yanma havasının kademeli olarak beslenmesiyle yanmanın tüm kazan boyunca sürmesi sağlanır. En alttan giren hava miktarı toplam havanın %60 -%75'ini oluştururken, geri kalan hava daha yukarı seviyelerden ikincil hava olarak sisteme verilir.

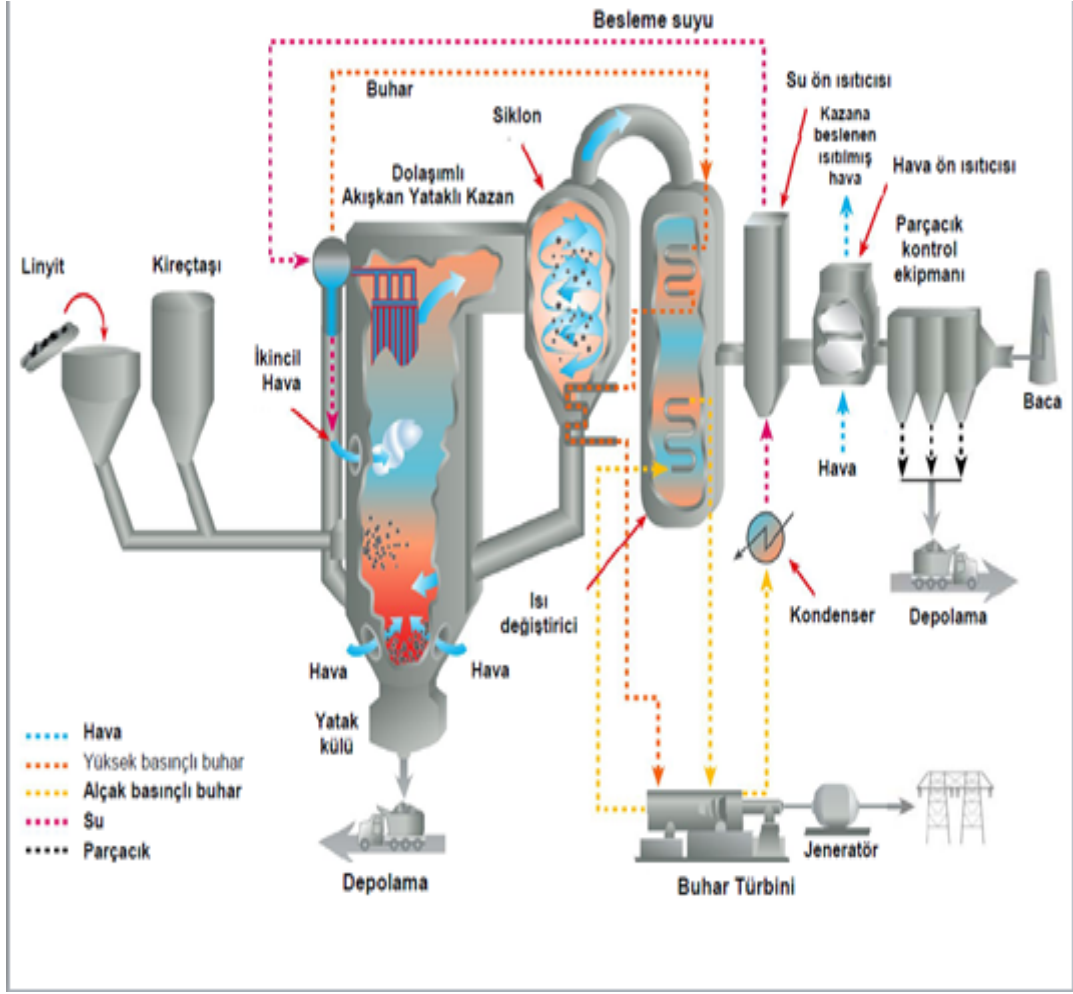
Yanma 840 – 900°C’da gerçekleşirken,ince tanecikler (<450 mikron) 4 – 6 m/s yanma gazı hızıyla yakıcının dışına taşınırlar.Bu parçacıklar genelde yanma odası çıkışına yerleştirilen siklon tarafından tutularak yanma odasına geri gönderilir. Böylece ‘dolaşım’ gerçekleşmiş olur. Parçacık dolaşımı, parçacıkların ısisından maksimum yararlanarak yakıcı duvarlarına verimli ısı transferini ve kazanı terk eden parçacıkların geri dönmesi ile kömüre yanma, kireçtaşına da kükürt tutması için yakıcı içinde daha uzun kalma süresini sağlamış olur. Ayrıca, geri döndürülen parçacık debisinin yanma gazı debisinden çok daha yüksek olması,yanma odası sıcaklığının stabil kalmasını sağlar. Yatağın içine yerleştirilmiş kazan boruları bulunmayan bu sistemlerde borular yanma odasının duvarlarına ve gaz yolu üzerine yerleştirilir. Kazan duvarlarındaki borular gereken ısiyi sistemden alırken,sıcaklığın da belirtilen düzeyde kalması için dengeyi sağlarlar.

- Dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda kullanılan kireçtaşı boyutu daha küçük olduğu için, birim ağırlık başına kireçtaşı yüzey alanının artması, kükürt dioksit – kireçtaşı reaksiyonunun da hızını arttırır. Bu durum, kömürün yapısında bulunan birim kükürt karşılığında sisteme beslenmesi gereken kireçtaşı miktarını düşürmektedir.
- Yatakta oluşan gazların kükürtten arındırılmış olması, düşük sıcaklıkta korozyon tehlikesini ortadan kaldırarak,kazan çıkışında baca gazı sıcaklığının diğeri tip kazanlara göre daha düşük seçilebilmesini, bu da baca gazı ısisından en yüksek oranda yararlanılabilmesini sağlar. Bu durum akışkan yataklı kazanların verimini artırır.
- Dolaşımli sistemlerin bir başka avantajı da kademeli hava beslemesi sayesinde yakıt kaynaklı azot oksit oluşumunun kabarcıklı sistemlere göre daha az oluşudur.

### **c. Akışkan Yataklı Kazanlarda Kullanılan Yakıtlar**

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda kullanılan yakıtlar

- Kereste , kağıt hurdaları, ağaç kabuğu
- Evsel atıklar
- Endüstriyel atıklar
- Yağ
- Doğal gaz
- Kömür
- Bataklık kömürü
- Biokütle
- Tarımsal atıklar

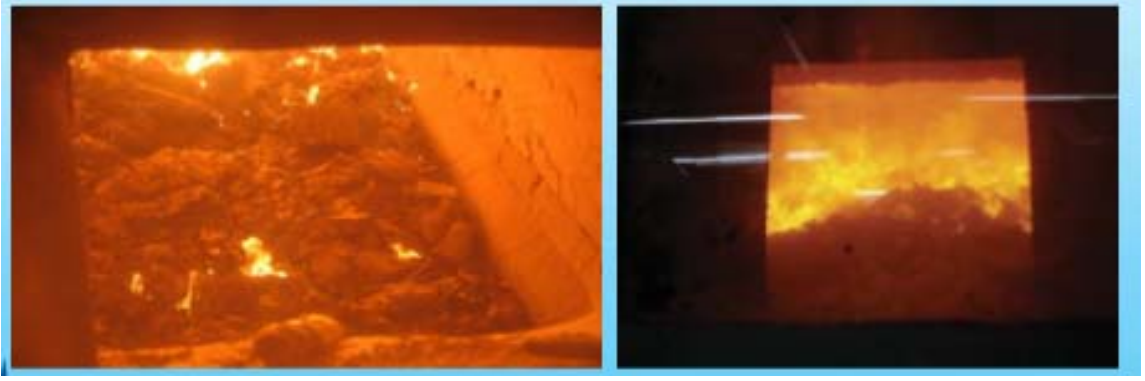


Şekil 3.20. Akışkan Yataklı Kazanlar – Uygulama Kısmı

### 3.6.5. Atık Yakma Teknikleri

#### a. Izgaralı Sistemler

- Avrupa'da kurulu olan evsel katı atık yakma tesislerin %90'ında ızgaralı sistem kullanılmaktadır.
- Karışık evsel katı atıkların yakılması için en çok kullanılan teknik ızgaralı yakma sistemleridir.
- Izgaralı sistemlerde evsel katı atıkların yanında, tehlikeli nitelikte olmayan endüstriyel atıklar ve arıtma tesisi çamurları da yakılabilmektedir.



Şekil 3.21. Yanma Odası Detay Resmi

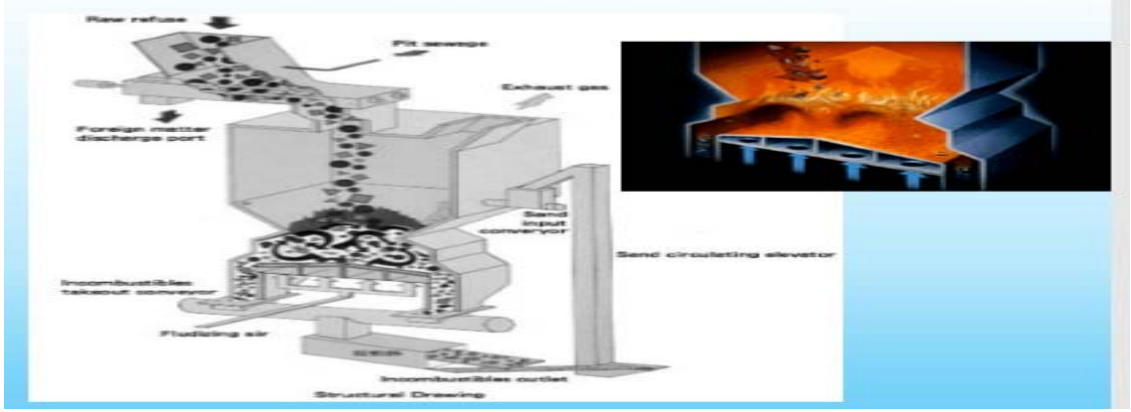


Şekil 3.22. Yanma Odası Detay Resmi

### b. Akışkan Yatak

Yanma odasının alt kısmında sıcak hava üflenerek uçurulan kum kullanılır.

- Atık yanma işleminden önce belli tane büyüklüğünü sağlayacak şekilde parçalanmak amacıyla bir ön işlemden geçirilir.
- Kızgın kum ile karışan atık fazla hava varlığında yanar.
- Sabit akışkanlar yatağı fırınlarının ortasında genellikle huni veya silindirik şekilde düzenlenmiş bir reaktör bulunur. Döner akışkanlar yatağı fırınları, sabit olanların geliştirilmiş şekilleridir. Burada, yakma sonucu oluşan küller, yakma hücrelerine geri aktarılır.



Şekil 3.23. Akışkan Yatak Detay Resmi

### c. Döner Tambur Fırın

Özellikle tehlikeli atık bertarafı için kullanılmaktadır.

- Yanma odasının ardında bir son yanma bölümü (afterburner) kullanılır. Yatay döner fırında yakılamayan baca gazları ve tozlar, afterburnerde daha yüksek sıcaklıkta yakılır.
- Atıklar döner silindir fırında tam yanma sağlayıncaya kadar kalmalıdır. Bu bekleme süresi atık cinsine, kullanılan teknolojiye ve işletme şartlarına bağlı olarak değişmektedir.
- Sıcaklık evsel atık için en az 850°C, tehlikeli ve tıbbî atık için ise en az 1200 °C'de tutulmalıdır.



Şekil 3.24. Döner Tambur Detay Resmi



#### d. Yakma Teknikleri Avantaj ve Dezavantajları

Çizelge 3.3. Yakma Teknikleri Avantaj ve Dezavantaj Tablosu

	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
<b>Izgaralı Sistemler (Grate, Stoker)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>o Ön işleme gerek yoktur.</li><li>o Yaygın kullanım</li><li>o Değişik kompozisyona ve kalorifik değere sahip atıklar için uyarlanabilir</li><li>o % 85'e varan termal verim değerleri elde edilebilir</li><li>o 1200 ton/gün kapasiteye kadar çıkılabilir</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tehlikeli atıkların bertafında kullanılamaz.</li><li>• Bakım ve İYM yüksek</li></ul>
<b>Akışkan Yataklı Sistemler (Fluidized Bed)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>o Değişik kompozisyona ve kalorifik değere sahip atıklar için uyarlanabilir</li><li>o %80' e varan termal verim değerleri elde edilebilir</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>o Atıklar ön işleme tabi tutulmalıdır.</li><li>o Daha az kullanılan bir teknik olduğu için işletmede sorunlar yaşanabilir.</li></ul>
<b>Döner Tambur Fırın (Rotary Kiln)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>o Sıvı ve katı her tür atık için kullanılabilir</li><li>o Ön işleme gerek yok</li><li>o %90 termal verim</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>o Az yaygın</li><li>o Maliyet bakım oldukça yüksek</li><li>o Daha az kullanılan bir teknik olduğu için işletmede sorunlar yaşanabilir</li><li>o 480 t/d</li></ul>

#### e. Enerji Geri Kazanımı

Atıkların yakılması sırasında ısı üretilir. Uygun yöntemlerle enerji giren atıkların kalorifik değerinin % 70'i ilâ % 80'i olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3.25. Enerji Geri Kazanım Detay Resmi



## f. Akışkan Yatak Kazanlarda Enerji Üretim Alternatifleri



Şekil 3.26. Akışkan Yataklı Kazanlarda Enerji Üretimi

### **3.7. Bursa Büyükşehir Belediyesi 400 Ton/Gün Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi**

#### **3.7.1. Proje Genel Tanıtımı**

Proje, Bursa ili sınırları dahilinde BUSKİ bünyesinde bulunan Atıksu Arıtma Tesislerinden elde edilen susuzlaştırılmış çamurun toplam 400 ton/gün yaş çamur kapasiteli Akışkan Yataklı Çamur Yakma Tesisinde direkt olarak yakılması ve bu tesisten elde edilecek atık ısı ile Elektrik Enerjisi üreten tesis kurulması ve çıkan atık gazın arıtılması işi sürecini kapsamaktadır.

Tesiste her biri 200 ton/gün yaş çamur kapasiteli 2 adet paralel çalışan yakma sistemi bulunacaktır. Her bir yakma sisteminin kendine ait çamur besleme sistemi, atık ısı kazanı ve atık gaz (egzoz gaz) arıtma sistemi ve emisyon kontrol ünitesi olacaktır. Her iki sistem için ortak 1 adet türbin sistemi ve 1 adet online emisyon izleme sistemi bulunan baca öngörülmüştür.

- Proses ve sistem tasarımı, proje gereksinimlerinin tamamını karşılayacak ve aşağıdaki avantajları sağlayacak şekilde akışkan yataklı kazan sistemi üzerine kurulmuştur:
- İyi bir enerji dengesi temin eden ve yönetmeliklerde istenen değerleri sağlayan verimli bir çamur yakma teknolojisi.
- Kazan içerisinde hiçbir hareketli parça olmadığından daha güvenilir bir proses ve daha az bakım maliyeti.
- Ortamın ısı ataletini artıran bir kum yatağı sayesinde, daha esnek bir yakma işlemi. (korozyon çamur bir bant veya hareketli bir zemin ile temas halinde değildir)
- Baca gazındaki enerjinin en iyi şekilde geri kazanımını temin ederek fosil yakıt kullanımını asgariye düşüren ve akışkanlaştırma havasının yaklaşık 670°C'de kazana beslenmesini sağlayan sıcak hava giriş odası.
- Kolayca başlatılabilen ve durdurulabilen bir sistem (örneğin hafta sonları).

#### **3.7.2. Temel Tasarım**

Atık çamur özellikleri sürekli değişkenlik gösterir. Bu durum dekantör çıkışında yansır. Uzun dönem gözlemlere göre çamur kuruluğu 0,20 – 0,26 ve ısı değeri 3200 – 4200 kcal/kg arasında değişkenlik gösterir. Akışkan yataklı kazanın her koşulda atık çamuru kabul edilebilir. İlave yakıt ile yakılması gerekir. Bu amaçla tasarımda üç farklı durum esas alınarak bütün çalışma durumları dikkate alınmıştır. Çizelge 3.4., 3.5., 3.6.'da tanımlanmıştır

### a. Ham Çamur Karakteristiği ( Dizayn Parametreleri )

Çizelge 3.4. Herbir Akışkan Yataklı Çamur Yakma ( AYÇY ) Sistemi Çamur Karakteristiği

Parametre	En Düşük İşletim Şartları (Senaryo 1)	Normal İşletim Şartları (Senaryo 2)	En İyi İşletim Şartları (Senaryo 3)
Kuru madde miktarı (ton/gün)	48	48	48
Toplam katı madde %	22	24	26
Toplam yaş çamur miktarı (kg/h)	9083	8333	7691
Üst ısıl değer (Kcal/kg)*	3400	3800	4200
Alt ısıl değer (Kcal/kg)*	3200	3600	3900
Kül %*	36,1	26,2	23,4
H, %*	3,9	4,5	4,4
C, %*	34,1	41,1	43,2
N, %*	5,4	6,1	7,5
O, %*	18,5	20,1	19,7
S, %*	1,2	0,9	0,6
Cl, %*	-	-	-

Çizelge 3.5. AYÇY sistemi işletme aralıkları

Parametre	Değer
Toplam çamur besleme miktarı (Katı madde cinsinden), kg/saat	1100-2000
Üst ısıl değer (Kcal/kg)	≥ 3400
Alt ısıl değer (Kcal/kg)	≥ 3200
Besleme kısma (turndown hızı) %	50

Çizelge 3.6. AYÇY sistemine beslenilecek çamur içindeki metal miktarı

Parameter	Max. Amount (mg metal/kg DS)
Antimon (Sb)	5
Arsenik (As)	15
Bakır (Cu)	250
Baryum (Ba)	400
Berilyum ( Be )	1
Cıva (Hg)	2
Çinko (Zn)	5000
Kadmiyum (Cd)	2
Kalay (Sn)	5500
Kobalt (Co)	10
Krom (Cr)	1000
Kurşun ( Pb )	25
Mangan (Mn)	350
Molibden (Mo)	7
Nikel (Ni)	200
Selenyum (Se)	5
Talyum (Tl)	0.5
Vanadyum (V)	30

### 3.7.3. Teknik Özellikleri

Yakma tesisine gelecek çamur, Yüksek Sıcaklıklı Akışkan Yataklı (HTFB) Yakma teknolojisi ile bertaraf edilecektir.

Çamurun bertarafına yönelik, tasarım konseptine ve üç parametreye (Sıcaklık, Zaman ve Türbülans) bağlı olarak, akışkan yataklı yakma tekniği en verimli termal tekniktir. Aşağıda verilenler de dahil olmak üzere, bu teknik, piyasadaki diğer seçeneklere göre çok daha fazla avantajlar sunmaktadır:

#### **Sınırlı miktarda ilave yakıt kullanımı:**

➤ Nispeten düşük ilave hava gereksinimine (stokiyometriden %40 daha fazla) ve yakma havasının baca gazından elde edilen atık ısıyla ısıtılmasına bağlı olarak yanma için sınırlı miktarda ilave yakıt gerekli olacaktır.

#### **Çamur beslemedeki değişiklikleri tolere edebilen esneklik:**

➤ HTFB'nin önemli bir avantajı da, verilen çamur besleme aralığında, değişik kimyasal içeriğe, neme ve uçucu maddelere sahip çamurun beslenmesindeki düzensizlikleri, özellikle kısa periyotlar için, tolere edebilmesidir. Bu avantaj, kum yatağında büyük miktarlarda ısı depolanabilmesine ve fırına beslenen çamur miktarının yatak içerisinde bulunan toplam malzeme miktarının yaklaşık sadece %1'i ne tekabül etmesi sayesinde ortaya çıkmaktadır.

#### **Kesintili işletmeye müsade eden esneklik:**

➤ Akışkan yatak içerisindeki katı maddeler termal bir rezervuar gibi davranarak, tesisin durdurulması durumunda sıcaklığın hızla düşmesini engeller. Bu sayede günlük veya hafta sonu yapılabilecek durdurmalar akabinde tesisin tekrar işletmeye alınması çok hızlı gerçekleşir.

#### **Kontrol ve otomasyonun kolaylıkla yapılabilmesi:**

➤ Akışkan yatak içindeki türbülans nedeniyle katıların hızla karışması yatak sıcaklığının homojenleşmesini sağlar, bu nedenle sıcaklık kontrolü temel olarak tüm ölçümlerin ortalaması olan sadece tek bir sıcaklık kontrolüne dönüşür.

#### **Daha az bakım maliyeti:**

➤ Yanma işlemine maruz kalan herhangi bir hareketli parça yoktur. Üstelik yataktaki katı maddelerin oluşturduğu termal rezervuar sayesinde sıcaklık değişimleri çok yavaş gerçekleştiği için, termal şoklar ortaya çıkmaz. Bu da refrakterin ömrünü uzatarak bakım maliyetlerinin azaltılmasını sağlar.

#### **Yanmada yüksek verim:**

➤ Kum yatağındaki yüksek türbülans çamur ile oksijen arasındaki temas yüzeyini artırarak yanma verimini yükseltir. Yanma işlemi çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. CO Emisyonları düşüktür.

### **Düşük NOx emisyonları:**

- İlave hava miktarındaki azlığa ve sıcaklığın yatağın tamamına homojen bir şekilde dağılmasına bağlı olarak NOx emisyonları düşüktür.



Şekil 3.27. Akışkan Yatak Fırını Örnek Resimler

Çizelge 3.7. Yakma Prosesi

	<b>Tasarım</b>	<b>Avantaj</b>
Üst hava payı bölümü	Genişleyen hava payı	Yanma işlemi için daha uzun kalma süresi
Su enjeksiyonu	Çatı spreyi	Daha iyi koruma için daha hızlı soğutma işlemi
Ön ısıtma	Daha yüksek ön ısıtma sıcaklığına dayanan sıcak hava odası	Yakıt kullanmadan nem içeriği daha fazla olan çamurun yakılabilmesi

### **7.3.1. Temel Özellikler**

#### **a. Yakma fırın tasarımı şu temel özellikleri içerir:**

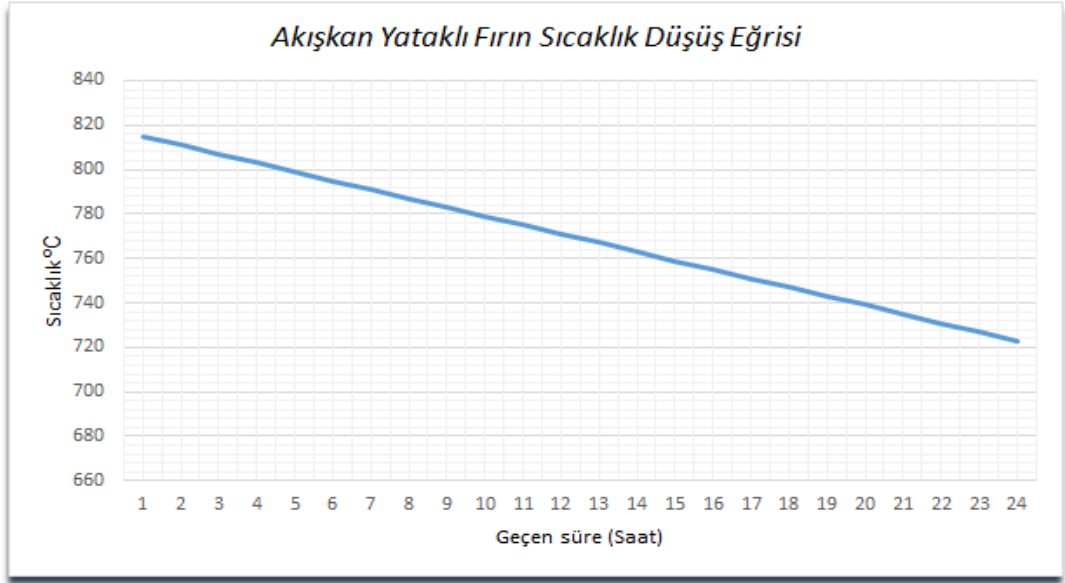
- Ters Gözyaşı şeklinde tasarlanan reaktör yapısı sayesinde üst hava payı bölgesinde genişlik oluşturularak, gazların artan hacmi tolere edilir. Aynı zamanda bu genişleme, hava hızını yavaşça düşürerek reaktörün kum kaybını azaltır.
- 5 saniyenin üzerinde bir kalma süresi ile tam yanma işlemi sağlanarak baca gazının daha temiz olması sağlanır.
- Tesisin durdurulması esnasında, enjeksiyon hatlarına yerleştirilmiş olan tüm gaz/su kapatma ve ayarlama vanaları sayesinde fırına sızıntı riski ortadan kaldırılmıştır.
- Güvenli bir işletme için alarmlı ve korumalı kontrol sistemi tesis edilmektedir.
- Metal plakalı distribütör tasarımına kıyasla refrakter kemer (taban çukuru) tasarımı, hem termal streslere karşı daha dirençlidir, hem de daha iyi bir ısı yalıtımı sağlar.

- Kemerin (taban çukuru) ve hava giriş odasının refrakterle kaplanmış olması, işletmeye alma aşamasında kullanılan brülörün, hava giriş odasına monte edilmesine olanak sağlar. Bu sayede ilk çalıştırma esnasında harcanan zaman ve yakıt miktarı yarı yarıya düşürülebilmektedir.
- Yatak gaz hızı (yaklaşık 1m/sn) iyi bir akışkanlığını sağlamak için yeterince yüksek, ancak aşınmaları önlemek için yeterince düşüktür.
- Çamur enjeksiyon noktasının (çamur beslemenin) kum yatağından daha yukarı değil de kum yatağı ile aynı hizaya yerleştirilmesi sayesinde "çamurun U-dönüş" yapma riski ortadan kaldırmıştır.
- Isınmış akışkan kumun çamur ile anında teması sayesinde daha yüksek yanma verimi elde edilerek yatağa daha az yakıt enjeksiyonunun yapılması ve daha temiz baca gazı elde edilmesi sağlanır.
- Yatağın ve üst havapayı bölümünün alevle temas eden duvarları refrakter tuğla (özel dayanımlı) ile kaplanmış olduğu için yapı genel olarak hem daha sağlamdır hem de ömrü daha uzundur. Yerinde döküm uygulaması sadece tuğla kullanımının pratik olmadığı durumlarda örneğin nozulların etrafında yapılmaktadır.



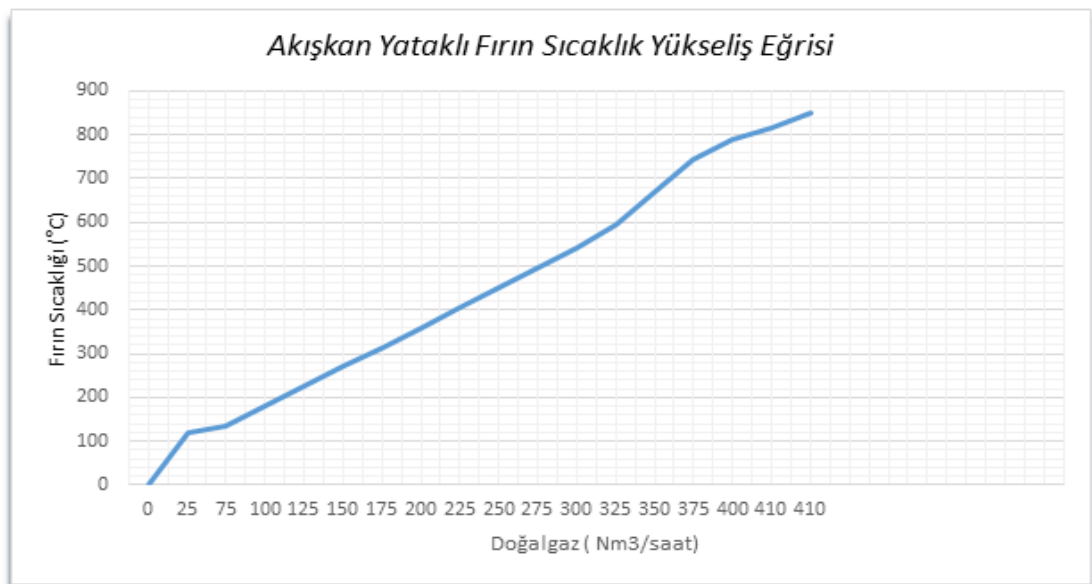
Şekil 3.28. Refraktör kemer ( Taban Çukuru ) ve kubbe

Çizelge 3.8.Akışkan Yataklı Fırın Sıcaklık Düşüş Eğrisi (Örnek Çalışma Çizelgesi )



Fırın durduğu zaman ortalama saat başı 4-5°C ısı düşüşü olur. Genel olarak sistem bekleme konumuna geçeceği zaman, fırın sıcaklığı öncelikli olarak 815°C'e yükseltilir sonrasında sistem durdurulur. Sistem sıcaklığı bir gün içerisinde yaklaşık 730°C sıcaklığa düşer ve sistem sıcaklığı bu sıcaklığın altına düşmemelidir. Sistem kendi sıcaklığını tekrardan 815°C'ye yükseltmek için ek yakıt tüketir. Eğer bu sıcaklığı altına düşer ise doğalgaz tabancası ile istenilen yatak sıcaklığı sağlanamaz ve sıcak hava odası ön ısıtma brülörü devreye girer. Soğut kapatmada ise akışkanlaştırıcı blower yatak sıcaklığını saat başı 25°C den fazla düşmemesi için kullanılır.

Çizelge 3.9.Akışkan Yataklı Fırın Sıcaklık Yükseliş Eğrisi (Örnek Çalışma Çizelgesi )



### 3.7.4. Akışkan Yatak Prosesinin Açıklaması

Bu bölümde, akışkan yataklı termal oksidasyon prosesinin temelleri, çamur yakma uygulaması açısından gözden geçirilmektedir. Bir akışkan yatak sisteminin etkili bir şekilde çalışması için,

**aşağıdaki yanma parametrelerinin göz önüne alınması gereklidir:**

- Yanabilen maddelerin ısı değerleri
- Yanabilen maddelerin su içeriği
- Sıcaklık
- Kalış süresi
- Oksijen
- Yüzey alanı

Yanma için gerekli potansiyelin mevcut ve kullanılabilir olması gerekir. Basit bir ifadeyle yanabilir bir maddenin mevcut olması zorunludur. Yanmanın olabilmesi için mevcut malzemelerin elemental komponentlerinin enerji seviyelerinin, bu malzemelerin yanma ürünlerinin enerji seviyelerinden daha yüksek bir düzeyde olması gereklidir. Fırına giren çamurun verimli bir şekilde yanmasını kısıtlayan bazı faktörler vardır. Ciddi işletme problemleri ortaya çıkmadan önce bu faktörler tam olarak anlaşılmalıdır ki bu sayede tasarım proses koşullarından oluşan sapmalar düzeltiler veya ayarlanabilir.

Bu faktörler şu alanlarda geliştirilebilir:

#### **a. Yanabilir malzemelerin ısı değeri:**

Isıl değer, sisteme beslenen katı malzemenin birim kütlesi başına ortaya çıkan ısı miktarı olup, yanma potansiyelinin en önemli göstergesidir. HTFB (Yüksek Sıcaklıklı Akışkan Yataklı) sistemini kullanan bir proses oksijenin, proses yakıtı ile (doğal gaz ya da çamur) kimyasal bir kombinasyonunu içerir. Bu beslenen maddede (çamur) kimyasal olarak bağlanmış olarak bulunan oksijenin, akışkanlaştırıcı havası içinde gaz halindeki bulunan oksijen ile birleşerek ısıyı serbest bırakma kabiliyeti vardır. Bazı atık malzemeler uzun süre depolandıklarında çürüyerek organik gazlar üretirler. Böylece kendi ısı değerleri azalır. Proses için beslenen malzeme içindeki inert katı maddelerin de benzer şekilde ısı değerleri üzerinde olumsuz etkileri vardır.

#### **b. Yanabilir malzemelerin su içeriği**

Fırına beslenen malzemenin (çamur) içerisindeki su miktarının HTFB sisteminin çalışmasında önemli bir etkisi vardır. Suyun herhangi bir ısı değeri yoktur ama hem buharlaştırılması için hem de fırının çalışma sıcaklığına çıkarılması için büyük miktarlarda enerji harcanması gerekir.



Bu suyu buharlaştırabilmek için gereken enerji ya beslenen çamur içerisindeki yanıcı maddelerden ya da takviye yakıtından (doğal gaz) sağlanır. Çamurun su içeriği miktarlarındaki değişiklikler HTFB sisteminin çalışma sıcaklığını ve kapasitesini etkiler. Katı maddelerin yüzde toplamları günlük olarak izlenmelidir.

Genel olarak, ısı değerindeki veya yanabilir katı maddelerin miktarlarındaki bir azalma ünitenin kapasitesini azaltır. Isı değerindeki veya yanabilir katı maddelerin miktarlarındaki bir artış ise ünitenin kapasitesini artırır.

#### **c. Sıcaklık**

Yanabilir maddeler, HTFB fırın içerisine, fırının işletme sıcaklığı yanabilir maddelerin alevlenme sıcaklığının üzerindeyse verilmelidir. Eğer fırın sıcaklığı, beslenen malzemeleri anında tutuşturmaya yetecek kadar yüksek değilse, tam yanma gerçekleşmez ve fırın sıcaklığını 850oC'nin üzerinde tutabilmek için takviye yakıtın kullanılması gerekir.

#### **d. Bekleme süresi**

Yanıcı maddelerin reaksiyona girebilmeleri için yeterli bir temas süresi olmalıdır.

HTFB fırını ve ilgili ön ısıtma ekipmanı beslenen çamurun ve takviye yakıtının yakma havası içerisindeki oksijenle yeterli bir şekilde reaksiyona girebilmesini olanak sağlamak için yaklaşık 6 saniyelik bir temas süresi sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu kalış süresi fırının özel olarak tasarlanmış gözyaşı damlası şeklindeki yapısından kaynaklanmaktadır.

#### **e. Oksijen**

Oksijen, HTFB sistemine akışkanlaştırılmış veya yanma havası formunda verilir. Bu hava, teorik olarak hesaplanan komple yanma için gereken hava miktarından biraz daha fazla olmalıdır. Fazla hava, baca gazıyla birlikte atmosfere salınan serbest oksijen miktarının yüzdesi ile saptanır. Yönetmeliklere göre, beslenen çamura ve yanma sıcaklığına bağlı olarak baca gazı içerisindeki oksijen miktarı her zaman %6 O<sub>2</sub>'nin (kuru bazda) üzerinde olmalıdır.

#### **f. Yüzey alanı**

Yanıcı maddeler, oksijenle temas edip reaksiyona girebilmeleri için yeterli yüzey alanlarına sahip olmalıdırlar. Akışkanlaştırma prosesi, akışkan yatak içerisindeki her bir partikülün alanını, akışkanlaştırılmış yanma havasıyla temas ettirerek nerdeyse sonsuza ulaşan bir yüzey alanına çıkarır.

Eğer sistem yanmayla ilgili 5 temel prensibin herhangi birine veya bazılarına uygun işletilmezse, yetersiz veya verimsiz bir yanma ortaya çıkar. Böyle bir durumda, yanmanın verimli olmadığına dair operatörleri uyarın şu göstergeler ortaya çıkar:

- Baca gazı içeriğindeki atık oksijen miktarındaki aşırı düşüklük
- Baca gazında ölçülen karbon monoksit seviyesi
- Bacada ölçülen karbon monoksit ve toplam organik karbon seviyesi
- Sürekli ilave yakıt verilse bile, yatak sıcaklığında gözlenen kesintisiz düşüş (SCADA üzerinden gözlenebilir)

### **3.7.5. Akışkan Yataklı Fırın**

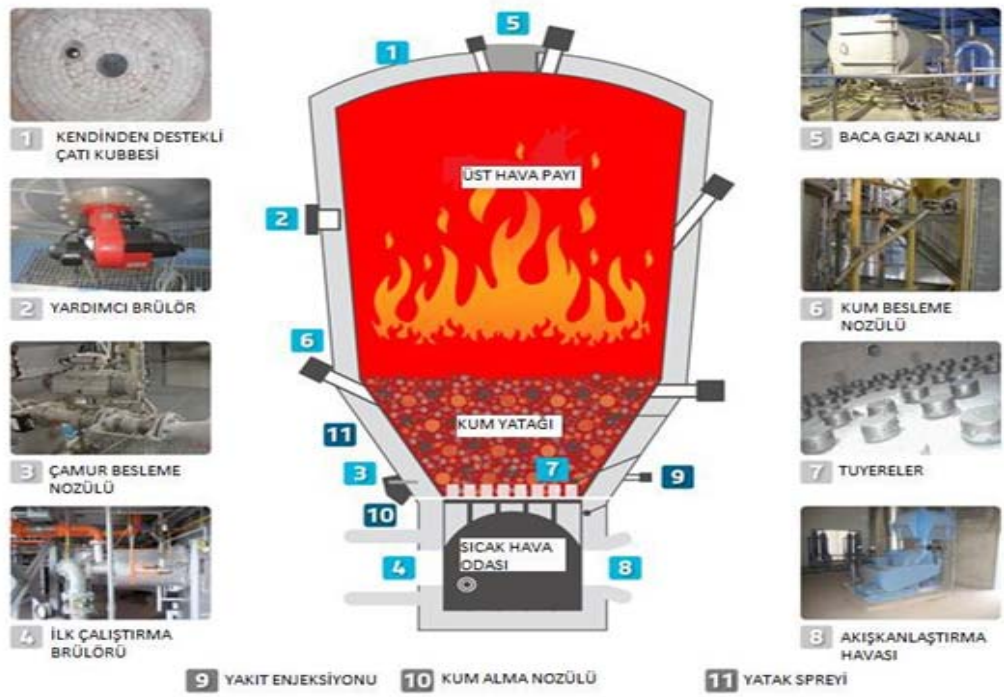
Akışkan yataklı reaktör, sıcak hava giriş odası, akışkan yatak bölümü ve üst hava payı bölümünden oluşan ters dönmüş gözyaşı damlası şeklinde olan bir fırındır.

Reaktör gövdesi ayrıca tüm gerekli erişim kapaklarını, izleme pencerelerini, enstrümantasyon bağlantılarını, çamur besleme nozullarını, yatak kum şarj etme ve boşaltma nozullarını, akışkan hava ve egzoz kanalını, flanş ve refrakter tuğladan astarı içerir.

#### **a. Fırın**

Reaktör minimum ~250-330mm kalınlıkta ısı yalıtımı ve ateştuğlası refrakter tabakaları ile kaplanmıştır. Kum yatağı kendi kendini taşıyan refrakter kemer üzerinde yer almaktadır. Reaktörün çatısı kendini taşıyan bir refrakter kubbe şeklindedir. Gelen çamur, reaktörün kum yatağında sıcak kum ve yanma havası ile karışır. Sıcak kum ve yanma havası çamuru yakarak inert bir küle dönüştürür. Reaktörde üretilen bu kül içeriği olan atık gaz önce atık ısı geri kazanım sistemine ve daha sonra da baca gazı arıtma sistemine gider.

Akışkan yataklı fırın kendi kendini taşıyan dikey bir yapı şeklinde tasarlanmıştır. Çamurun yanması sırasında ortaya çıkan yüksek ısıya dayanabilmesi için, haddelenmiş bir seri çelik levhadan oluşturulmuş olan dış yapı(kabuk), ısı yalıtımı ve refrakter tuğla ile kaplanmıştır. Harici çelik yapı (kabuk) ve refrakter astar, birlikte, reaktör gövdesini oluşturmaktadırlar. Bu gövde, sistemin düzgün çalışması için gereken bir dizi ekipman ile donatılmıştır.



Şekil 3.29. Yüksek Sıcaklıklı Akışkan Yataklı Fırın Örneği

### b. Sıcak Hava Giriş Odası

Hava ön ısıtıcısında ısıtılan akışkanlaştırıcı hava, sıcak hava giriş odasına alınır. Sıcak hava odasının dışına yerleştirilmiş olan ilk çalıştırma veya ön-ısıtma brülöründe denen brülör soğuk çalıştırma (ilk çalıştırma) için gerekli enerjiyi sağlar.

Sıcak hava odasının duvarları ateş tuğlası ve izolasyon ile kaplanmıştır. Nozulların ve menhollerin çevresi özel yerinde dökülebilen refrakter malzeme ile kaplanmıştır. Hava giriş odasının alt zemini döküm yalıtım mazlemesi ve ilave olarak özel döküm refrakter veya yüksek dayanımlı ateş tuğlası refrakter tabakası ile izole edilecektir.



Şekil 3.30. Sıcak Hava Giriş Odası Kesiti

### c. Akışkanlaştırma Yapısı ( Hava Dağıtımı )

Sıcak hava odasının üst kısmında bulunan hava dağıtım yapısı, akışkanlaştırma havasının tüm reaktörün içerisine eşit olarak dağıtılmasını sağlar. Bu yapı yakma fırınının en önemli bileşenidir. Özel olarak imal edilmiş ve otomatik kilitlenen refrakter tuğladan oluşan bu yapı sıcak hava odasının üst kısmını teşkil eder. Bu yapı refrakter kemer (taban çukuru) veya kubbe olarak da bilinir. En dışta yatay konumda yer alan tuğla sırası yakma fırınının refrakter tuğla duvarına ankre edilmiştir. Diğer sıralar da kendi kendini taşıyan bir komple oluşturacak şekilde refrakter tuğladan özel şekillerde imal edilmişlerdir. Her bir tuğla üzerinde sıcak hava odasındaki havayı kum yatağına besleyen ve tuyere denilen nozulları yer aldığı bir boşluk vardır.



Şekil 3.31. Akışkanlaştırma Yapısı – Tuyere Detayı

Tuyerelerin global kesitleri açık kesiti oluşturur. Fırının toplam kesitinin açık kesite olan oranı akışkanlaştırma yapısının neden olduğu yük kaybını verir. Bu yük kaybı değeri akışkanlaştırma kalitesini ve dolayısıyla yakma işlemi sırasında yanma işleminin verimini belirler. Tuyerele yüksek ısıya dayanıklı çelikten imal edilmişlerdir. Her bir tuğlada bir adet olacak şekilde tuğlalara gömülmüşlerdir. Tuyerelelerin kum yatağına bakan tarafları üzerinde tuyarenin merkezindeki kanala bağlı hava çıkış orifisleri olan mantar şeklinde bir şapka ile örtülmüştür. Bu tasarım sayesinde, akışkan yatak bekleme halindeyken (sistem durduğunda), yatak kumunun orifislerden sıcak hava odasına kaçması engellenmiştir.

### d. Kum Yatağı

Reaktörün yatak bölümünün iç duvarı ateş tuğlası ile kaplanacak ve yalıtkan bloğun yerine döküm yalıtım ile desteklenmiş olacaktır. Akışkanlaştırma yatak malzemesi, boyutları özel olarak seçilmiş kumdan oluşmaktadır.

Yatak, akışkanlaştırma havası tarafından genişletilir (genleştirilir) ve daha sonra yoğun olarak akışkan halde tutulur. Hava akış hızı, yoğun akışkanlaştırmayı sürekli tutacak, fırındaki kumun daha sonraki baca gazı arıtma ünitelerine taşınmasını engelleyecek ve enerji dengesini optimize edecek şekilde belirlenir.

### **e. Sekonder (Son) Yanma veya Üst Hava Payı Bölgesi**

Bu bölüm yanma reaksiyonlarının tamamlandığı ve yanma sonucu ortaya çıkan ısının transfer edilerek refraktör kaplamasının tolere edebileceği limitler dahilinde tutulduğu, hacimce de oldukça büyük bir bölümdür.

Bu üst hava payı bölgesinin tavanı, ortasında yanma sonrası ortaya çıkan gazların dışarı atılabileceği bir egzoz boşluğu olan ve refrakter tuğladan yapılmış, kendi kendini taşıyan bir kubbe şeklindedir. Üst hava payı bölümünün duvarları, kendini taşıyan, ateşe dayanıklı tuğlalar ve izolasyon blokları olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır.

### **f. Akışkanlaştırma Hava Bloveri**

Yanma ve yatağın akışkanlaştırılması için gereken havayı sağlamak üzere, özel bir akışkanlaştırıcı hava bloweri tesis edilecektir. Bu blower aynı zamanda devreye alma esnasında ilk çalıştırma brülörünün ihtiyacı olan havayı da temin edecektir.

Akışkanlaştırma havası, sıcak hava odasına gönderilmeden önce ısı eşenjöründen geçirilerek sıcaklığı 588°C'ye yükseltilecektir. Bu sayede baca gazındaki ısı geri kazanılmak suretiyle yanma için gereken ilave yakıtın en az miktarda olması temin edilecektir.

Bu blower aynı zamanda kompensatörler ve basınç bağlantılarına soğutma havasını, kum ve külün temizlenmesi için gereken havayı ve muhtelif benzer ihtiyaçları karşılayacaktır.



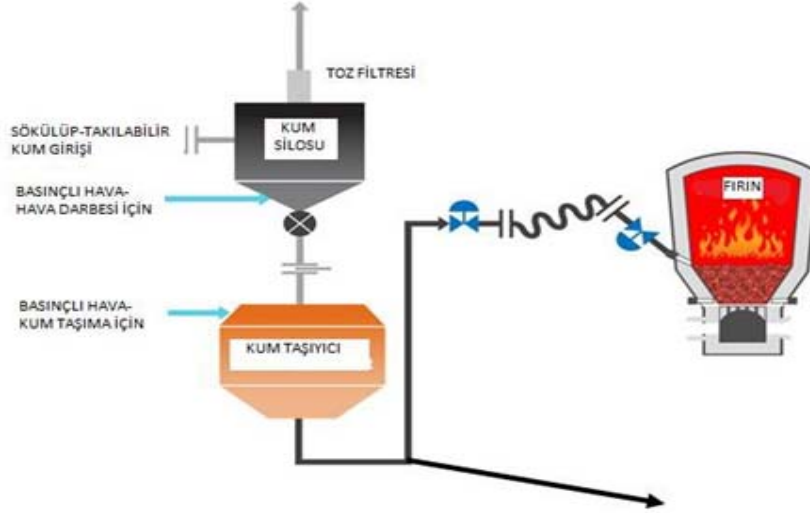
Şekil 3.32. Akışkanlaştırma Hava Bloweri

### **g. Kum Depolama ve Besleme Sistemi**

Bazı kum partikülleri boyutunun gittikçe küçülerek baca gazları ile fırından atılması ile yatak içerisindeki aşınma meydana gelir.

Bu kumlar mutlaka yenileri ile değiştirilmelidir. Gerektiğinde fırına silika kumu ilave etmek amacıyla, özel bir silo tesis edilerek fırın bağlantısı yapılacaktır. Kum beslemesi bir pnömomatik konveyör aracılığıyla gerçekleştirilir.

Silo, bir toz filtresi ve basınç emniyet vanası da dahil olmak üzere yardımcı ekipmanlar ile donatılmıştır. Kum, pnömomatik taşıma sistemi olan kamyonlar tarafından taşınacaktır. Bu nedenle zemin seviyesinde özel bir transfer bağlantısı sağlanacaktır. Silonun aşırı yüklenmesini önlemek için, silo yüksek seviye alarmı, sürücülere ışıklı uyarı vs. gibi gerekli güvenlik ekipmanları öngörülmüştür. Fırın bir kum yükleme nozulu ile donatılacaktır. Her bir hat için birer silo kum besleme sistemi temin edilecektir.



Şekil 3.33. Kum Besleme Sistemi

#### **h. Çamur Enjeksiyon (Besleme) Sistemi**

Çamur besleme, kum yatağının üzerinde değil de kum yatağı ile aynı seviyeden yapıldığında, beslenen çamurun sıcak akışkan kum ile anında temas etmesi sayesinde daha verimli bir yanma gerçekleşir, yatak içerisine daha az ilave yakıt beslenir ve daha temiz baca gazı oluşur. Çamur, dairesel bir enjeksiyon borusunun uzunluğu boyunca, birbirinden eşit uzaklığa yerleştirilmiş besleme noktalarından refrakter tuğlanın içinden geçerek fırına beslenir. Çamurun enjeksiyon (besleme) noktalarında otomatik izolasyon vanaları tesis edilmiştir.

#### **Yatak seviyesinde yapılan çamur beslemenin avantajları:**

- Akışkan halde olan sıcak kumun çamur ile anında teması,
- Çamur beslemede kısa devre oluşmaması,
- Daha uzun temas süresi,
- Daha iyi yanma verimi,





Şekil 3.34. Çamurun fırına enjeksiyonu (beslenmesi)

#### 1. Yardımcı Yakıt Sistemi, Brülörler ve Soğutma Havası

Yakma sistemi bir yardımcı yakıt destek sistemi ile donatılmıştır: yakıt enjeksiyon memeleri, ilk çalıştırma ve yardımcı brülörler.

Devreye alma-ilk çalıştırma aşamasında (İlk çalıştırma brülörü ve yakıt enjektörleri ile) yatak sıcaklığını, gerekli yanma sıcaklığına çıkarmak için ilave yakıt gereklidir.

Buna ek olarak, üst hava payı bölgesindeki sıcaklığını min. 850°C’de tutabilmek için bu bölgede 7 noktadan doğalgaz enjeksiyon sistemi ile ilave yakıt verilecektir.

Bu projede şartnamede tanımlandığı gibi ilave yakıt olarak doğal gaz kullanılacaktır.

Ayrıca, termal reaktör, çamurun yanması esnasında, üst hava payı bölgesindeki sıcaklığı 850°C – 870°C’de sabit tutabilmek için tavana sabitlenmiş su sprej sistemi ile teçhiz edilmiştir.



Şekil 3.35. Yatağa yapılan yakıt enjeksiyonu



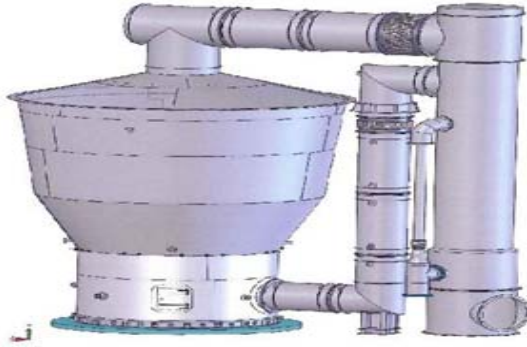
Şekil 3.36. Ön-ısıtma brülörü

#### **k.Tavan Su Sprey Sistemi**

Fırın sonrasındaki ekipmanları yüksek sıcaklıklardan korumak ve NOx emisyonlarını azaltmak amacıyla, Egzoz gazına (çıkış gazı) su enjekte eden bir su püskürtme sistemi yakma fırınının tavanına monte edilmiştir. Servis suyu tesis şebeke suyundan temin edilecektir.

#### **l.Akışkanlaştırma Havaasının Baca Gazıyla Isıtılması**

Fırından çıkan sıcak baca gazları primer ısı eşanjörüne, bir kanal/baca içinden geçerek ulaşır.



Şekil 3.37. Hava ön ısıtıcılı HTFB

Primer eşanjör, konvektif, dikey, karşı-akışlı bir tipte olup baca gazları tüplerden aşağı yönde dolaşımındadır. Her bir tüp/boru, bir metalik genleşme körüğü ile donatılacaktır. Eşanjör tamamı iç kısmından refrakter tuğla ile izole edilecektir.

Sıcak baca gazı giriş tarafında bulunan borulu plaka refrakter tuğla ile kaplanacaktır. Prosesin daha düşük bir akışkanlaştırma hava sıcaklığı gerektirmesi durumunda, eşanjörün bir kısmını by-pass edebilmek için 2 adet hava girişi tesis edilmiştir.



### **Her bir eşanjör;**

- Minimum ve maksimum işletme basınçlarına ve belirtilen işletme şartlarına uygun olarak her iki devre arasındaki basınç farkına uygun sağlamlık,
- Farklı malzemeler arasındaki farklı genleşmeleri dikkate alan yapı,
- Baca gazı hızının külün birikmesine ve tıkanmaya engel olacak şekilde yeteri kadar yüksek olacak şekilde tasarlanmıştır.



şekil 3.38. Hava ön ısıtıcısı

### 3.7.6. Akışkan Yataklı Fırın Tasarım Bilgileri

#### 7.6.1. Tasarım Felsefesi

Bu tesiste, Akışkan yataklı fırının tasarımıyla ilgili genel yaklaşım aşağıda verildiği şekildedir:

- Fırın en az enerji tüketecek şekilde tasarlanacaktır (harici yakıt kullanımı mümkün olduğunca düşük). Ayrıca oluşacak fazla ısı elektrik enerjisi üretmek için kullanılacaktır.
- Herbiri toplam kapasitenin %50 kapasitesinde, birbirinden bağımsız iki yakma hattı tesis edilecektir.
- Her bir yakma sisteminde şunlar olacaktır:
  - Bağımsız çamur besleme pompa sistemi,
  - Bağımsız çamur yakma sistemi,
  - Bağımsız primer ısı geri kazanım sistemi,
  - Bağımsız baca gazı arıtma sistemi,
  - Bağımsız buhar kazanını da ihtiva eden bağımsız enerji geri kazanım sistemi,
  - Her iki hatta ortak bir adet türbin,
  - Fırınları beslemek için yüksek basınçlı, mono pompalar tesis edilecektir.
  - Yapımda kullanılan malzemeler, çamurun aşındırıcı özellikleri dikkate alınarak seçilecektir.

Çamur yakma sistemi olarak, enerji geri kazanımını en iyi şekilde sağlayan, sıcak hava odalı, akışkan yataklı yakma sistemi seçilmiştir. Sıcak hava odalı teknolojinin kullanımı, mühendislik çözümümüzün en önemli avantajlarından birisidir.

#### **Bu teknoloji birçok işletme ve performans avantajları sunar, bunlar:**

- Ön ısıtma brülörünün sıcak hava odasına yerleştirilmesi sayesinde, hem devreye alma süresi çok kısalmış ve hem de daha az yakıt kullanılır.
- Bu tesis için gerekli fırın boyutu göz önüne alındığında, refrakter kemer ve sıcak hava odalı tasarım dünyada kullan örnek tesisler olduğu için kanıtlanmış bir tasarımdır. Bu teknoloji hiçbir ek araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duymaz. Yapımı gerçekleştirilen benzer ve daha yüksek kapasitedeki yakma tesisleri, halen çalışmakta olduğu için, ilk günden itibaren beklenen performansı verecektir.

### 7.6.2. Akışkan Yataklı Fırın

Şartnamede istendiği gibi üç farklı senaryo karşılaştırılmaktadır. Her üç senaryoda da yakılacak kuru madde miktarı aşağı yukarı birbirine yakındır. Temel fark, susuzlaştırılmış çamur içerisinde mevcut olan su miktarından kaynaklanmaktadır.

Bu nedenle, çeşitli seçenekler arasındaki en temel fark, çamur içerisinde mevcut olan suyu buharlaştırabilmek için ilave olarak kullanılması gereken doğal gaz miktarıdır. Çamur yakmayla ilgili Avrupa yönetmeliğinde belirtildiği şekilde 2 saniye boyunca 850 °C'yi koruyabilmek için, çamur içinde daha fazla su (Çamurdaki KM miktarı en düşük) varsa, daha fazla doğal gaz kullanılması gerekecektir.

Bu, kuruluk miktarları değişken olan çamurun yakılabilmesi için, fırının, doğal gaz ile kontrol ediliyor olması demektir.

Primer eşanjörden sonra çıkacak atık gazın ısı enerjisi ve içeriğindeki ağır metal kirliliği, beslenen çamurun içeriğine ve kuruluk oranına bağlıdır. Çamurdaki kuruluk oranı, primer eşanjör sonrası elde edilecek atık ısı enerji miktarı ile ters orantılı, baca gazında bulunan ağır metal konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Bir başka deyişle, daha az kuruluk, daha fazla enerji ve daha düşük ağır metal konsantrasyonu veya tam tersi.

### 7.6.3. Enerji Geri Kazanımı

Akışkan yataklı kazanda çıkan duman gazlarının enerjisini sistemde kullanılarak yakıt tüketiminin azaltılması ve verimin artırılması hedefine uygun olarak kullanılan enerji kazanım ekipmanları aşağıda verilmiştir.

#### Isı Geri Ekipmanları olarak;

- Bağımsız primer ısı geri kazanım sistemi,
- Bağımsız buhar kazanını da ihtiva eden bağımsız enerji geri kazanım sistemi,
- Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eşanjörü)
- Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi
- Bağımsız baca gazı arıtma sistemi,
- Atık ısı geri kazanım sistemi

Enerji geri kazanım sisteminin aşınmaya karşı iyi bir şekilde korunması ve özel kül boşaltma üniteleri ile donatılmış olması gerekir.

Bir hattan elde edilebilecek enerji miktarı sınırlı olduğundan, her iki hatta hizmet eden ortak bir türbin kullanılacaktır. Böylelikle daha iyi bir verimlilik sağlanacak ve yatırım maliyeti de düşecektir.

Geri kazanım sistemi atık ısı kazanı ve buhar türbini baz alınarak tasarlanmıştır. Primer ısı eşanjöründen çıkacak atık gaz (egsoz gazı), kızgın buhar elde etmek amacı ile atık ısı kazanına gönderilecektir. Buradan üretilen buhar, enerji elde etmek amacı ile Buhar Türbinine gönderilirken, soğutulan atık gaz, baca gazı arıtma sistemine gönderilecektir.

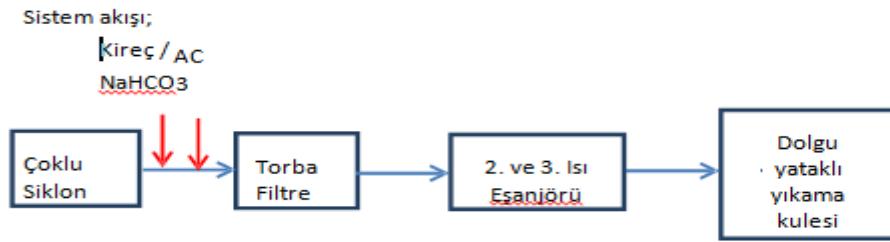
### 3.7.7. Tasarım Kapasitesi

Toplamda 2 adet yakma hattı tesis edilecektir.

#### 7.7.1. Hava Kirliliği Kontrol Sistemi (Egzoz Gazı Arıtma Sistemi)

Her bir fırın çıkışına birer adet egzoz gazı arıtma sistemi dikkate alınmıştır. Bu sistemlerde; egzoz baca gazı öncelikli olarak çoklu siklondan sonrasında ise torba filtreden geçirilecektir. Torba filtre öncesinde Aktif karbon ve kireç dozajı yapılarak istenilen çıkış emisyon kirlilik değerleri sağlanmış olacak.

Torba filtre çıkışında emniyet amaçlı dolgu yataklı yıkama kulesi tasarlanmıştır. Bu kulede şartname gereği sadece SO<sub>2</sub> ve toz giderimi planlanmaktadır.



Şekil 3.39. Egzost Gazı Arıtma Sistemi

Dolgu yataklı yıkama kulesi öncesinde, baca gazındaki atık ısıdan yararlanmak amacı ile atık gaz önce ikincil eşanjörden geçirilecek, sonrasında baca gazı sıcaklığı 50 °C in altına düşürmek için üçüncü bir ısı eşanjöründen geçirilecek ve yıkama kulesine verilecek.

Yıkama kulesinden çıkacak baca gazı 140°C nin altında olacaktır. Ancak yönetmelik ve şartname gereği, baca gazı 140 °C'e yine bu ikincil eşanjör ile ısıtılarak bacaya verilecektir. Baca öncesinde, her bir baca gazı arıtma sistemi için birer adet fan temin edilecektir. Bu fan frekans invertör ile kontrol edilerek, farklı seneryolarda oluşacak gazı çekebilecek kapasitededir.

Fırın bacası çıkışından, torba filtre çıkışından ve ortak bacadan numune alımı sağlanarak yönetmeliğe uygun olarak gerekli emisyon kontrollerini yapabilmek için online ölçüm yapan gaz analiz sistemi tesis edilecek.

Dünyada yapılmış pek çok benzer tesislerde, yakma reaktöründen çıkan egzoz baca gazı kompozisyonundaki NO<sub>x</sub> konsantrasyonları, normal olarak, Avrupa Yönetmelikleri emisyon sınır değerleri içinde kalmaktadır.

Şimdiye kadar yapımı gerçekleştirilen ve işletilen pek çok yakma tesislerinde üre enjeksiyon sistemleri kurulmuş olmasına rağmen şu ana kadar çalıştırılmamışlardır. Bununla beraber çamur kuruluğunun çok yüksek olması üre enjeksiyonunu gerekli kılar (De-NO<sub>x</sub> sistemi). Her ne kadar kullanılmayacağını düşünsekde, emniyet amaçlı üre enjeksiyon sistemide dikkate alınmıştır.

Çoklu siklon filtre çıkışındaki külleri depolamak için 2 adet 125 m<sup>3</sup> kapasiteli ve torba filtre çıkışındaki külü depolamak için 2 adet 25 m<sup>3</sup> kapasiteli kül depolama tankları öngörülmüştür. Bina dışında hemen ünite yanında olacak olan bu kül depolama siloları için, silo altına kamyon girecek şekilde gerekli platformlar dikkate alınmıştır.

Çoklu siklon filtre çıkışındaki külleri depolamak için 2 adet 125 m<sup>3</sup> kapasiteli ve torba filtre çıkışındaki külü depolamak için 2 adet 25 m<sup>3</sup> kapasiteli kül depolama tankları öngörülmüştür. Bina dışında hemen ünite yanında olacak olan bu kül depolama siloları için, silo altına kamyon girecek şekilde gerekli platformlar dikkate alınmıştır.

Koruma amaçlı olarak, tüm gaz arıtma ekipman ve bağlantı hatlarında ısı izolasyonu yapılacaktır.

#### **a. Sürekli Ölçüm Sistemi;**

Sürekli emisyon kontrolü için bacaya bir set Sürekli Emisyon İzleme Sistemi (SEİS) kurulacaktır. Bu sistem emisyon sınır değerlerini denetlemek için aşağıdaki ölçümleri gerçekleştirecektir:

Baca gazı sıcaklığı, baca gazı basıncı, debisi/hızı, O<sub>2</sub> içeriği, nem içeriği, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, toz, CO, CO<sub>2</sub>, toplam organik karbonlar, HCl, HF, NH<sub>3</sub>, Hg.

Ayrıca bu sisteme ilave olarak torba filtre çıkışında ve yakma fırını sonrasında analizörlerle aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilecek ve bu ölçümler SEİS'te izlenebilir olacaktır. Isıtılabilir gaz taşıma hortumları ile sürekli emisyon izleme sistemine numuneler taşınacaktır. Torba filtre çıkışı, SO<sub>2</sub> ve toz ölçümü sürekli yapılacaktır. Yakma fırını sonrası NO<sub>x</sub> ölçümü sürekli yapılacaktır.

#### **7.7.2. Egzoz Gazı (Baca Gazı) Kompozisyonu**

Baca gazı kalitesi, fırında yakılan ham çamurun içeriğine bağlıdır ve fırının işletme parametreleriyle de ilişkisi vardır.

### **7.7.3. Toz**

Toz, ham çamur içerisinde bulunan ve yanma gazıyla birlikte taşınan katı parçacıklardan oluşmaktadır. Bu toz şunlardan oluşur:

### **7.7.4. Mineral kül**

### **7.7.5. Yanmamış haldeki yanıcı partiküller**

Bu toz, yanmamış karbon, metal oksitler, silikatlar, alüminatlar veya tuzlarının yanı sıra, gaz fazındaki maddelerin yoğunlaşmasından elde edilen çok sayıda madde de içerebilir.

Toz, aynı zamanda, akışkan yataktan gelen kumuda içerebilir; Yatakta bulunan kumun ortalama parçacık boyutu yaklaşık 1 mm'dir. Kum parçacığının boyutu aşınma yoluyla yavaş yavaş azalarak 500µm'in altına düştüğünde, bu kum baca gazıyla birlikte fırından dışarı sürüklenir.

### **7.7.6. Hidrojen klorür**

HCl normal olarak (organoklorürler veya mineral klorürler örneğin NaCl gibi şeklinde) çamur içindeki klor ve yanma sırasında ortaya çıkan buharlardan (Cl<sub>2</sub> şeklinde) oluşur. Bu, asidik bir kokuya ve akciğeri boğucu, tahriş edici bir yapıya ve son derece higroskopik özelliklere sahip olan bir gazdır. Çamur içerisindeki klorür konsantrasyonu bilinmemektedir.

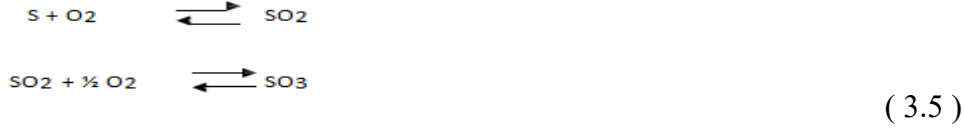
### **7.7.7. Hidrojen florür**

Çamur içerisinde bulunan florürden oluşan hidrojen florür, hidrojen klorüre kıyasla daha reaktiftir. Bu yüzden çamurun yakılması sonucunda oluşan gazlar içinde çok küçük miktarlarda bulunur. HCl'ye benzer olarak, çamur içerisindeki Florür konsantrasyonu bilinmemektedir.

### **7.7.8. Kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>)**

SO<sub>x</sub> kısaltması bir arada hem kükürt dioksiti, SO<sub>2</sub> (veya kükürtlü anhidrit) hem de kükürt trioksit'i, SO<sub>3</sub> (ya da sülfürik anhidrit) tanımlar; bununla beraber yanma esnasında, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>'e kıyasla (Yaklaşık %90'a %10 oranlarında) daha büyük miktarlarda ortaya çıkar.

Yanma sırasında ortaya çıkan kükürt bileşikleri, ham çamur içerisinde organik biçimde ya da sülfatlar şeklinde bulunan kükürte dayanmaktadır. SO<sub>2</sub>, çamur içindeki kükürtün 250° C'de başlayan oksidasyonundan ortaya çıkarken, SO<sub>3</sub>, 300°C'de başlayan oksidasyonundan oluşur.



SO<sub>2</sub> suda kısmen çözünür.

SO<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub> bazlı korozyon fenomeninden sorumlu temel bir maddedir.

Su buharı ile temas ettiğinde, SO<sub>3</sub>, çelik ve plastik üzerinde yüksek ölçüde korozif olan sülfürik asiti oluşturur. Asit çiy noktası gaz içinde bulunan SO<sub>3</sub> konsantrasyonu ile belirlenir; bu sıcaklık, çamur yakmadan gelen gaz için, yaklaşık olarak 160°C'dir.

Bunun bir sonucu olarak, gaz sıcaklığının, kuru arıtma tipi uygulandığında, hava enjeksiyonu yoluyla yapılan sekonder soğutma sonrasında bile, her zaman için min. 180°C olması gerekir. Tesisin düşük sıcaklıklarda (örneğin, ıslak arıtma yapılması durumunda) çalışmasını gerektiren durumlarda, ekipmanlar (Soğutma ve yıkama kuleleri, Venturi yıkayıcı) korozyona karşı dayanıklı malzemeden seçilmelidir.

#### 7.7.9. Azot oksit

Yanma esansında ortaya çıkan primer tipteki azot oksitler şunlardır:

- NO: Azot oksit (ya da nitrik oksit)
- NO<sub>2</sub>: Azot dioksit (veya azot peroksit)

Söz konusu karışımdaki en yüksek miktar NO olmasına rağmen, NO<sub>x</sub> kısaltması topluca NO ve NO<sub>2</sub> bileşikleri anlamına gelir.

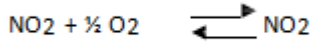
Azot oksit, veya NO aşağıdakilerin dönüşümünden oluşmaktadır:

- Çamurdaki azot ("yanıcı" NO olarak adlandırılır)
- Yanma havasındaki moleküler azot ("termal" NO olarak adlandırılır)

Havadaki moleküler nitrojen N<sub>2</sub>'den termal NO'nun oluşumu, yakmanın gerçekleştiği koşullara bağlıdır. Genel olarak, sıcaklıklar çok yüksek olduğunda ve fazla hava miktarı daha fazla olduğunda daha yüksek miktarlarda oluşmaktadır.

Ayrıca, NO<sub>x</sub> oluşumu, çamur içerisindeki yanıcı maddelerin oranı arttığında, örneğin eş zamanlı olarak kuru katı madde içeriği % 28-30'un üzerindeyse ve organik madde miktarı % 70'in üzerindeyse yoğunlaşmaktadır.

Yanıcı NO düzeyi öncelikle çamurun azot içeriğine, daha az bir ölçüde de sıcaklığa bağlıdır. Bununla birlikte, azot dioksit ya da NO<sub>2</sub>, min. 600°C'lik bir sıcaklıkta, azot oksitinin veya NO'nun oksidasyonu ile oluşmaktadır.



( 3.6.)

NO, su içinde çok az çözünürken, NO<sub>2</sub> yüksek derecede asidik (pH <2) ortamlar dışında saf su içinde çözünür.

Nitrojen dioksit veya NO<sub>2</sub>, solunum yolu için güçlü bir tahriş edici maddedir. Azot oksit (NO) aynı zamanda tahriş edici bir gazdır ancak NO<sub>2</sub>'den daha az tehlikelidir.

**Yanma işlemlerinde NO<sub>x</sub>'i oluşturan üç ana mekanizma vardır:**

- Yanma sıcaklıklarının 1200°C'yi aşması durumunda, yanma havasındaki azotdan termal NO<sub>x</sub>'in oluşması,
- Yanma havası içindeki azot ile C<sub>x</sub>-radikalleri arasındaki reaksiyon sonucu ani NO<sub>x</sub> oluşumu,
- Çamur içinde kimyasal bağlı azottan NO<sub>x</sub>'in oluşumu,

Oluşan NO<sub>x</sub> miktarı, yanma sıcaklığı, yanma bölgesinde kullanılabilir oksijen miktarı ve proses kontrolü ile ilişkilidir.

Proses performansını etkileyen iki önemli parametre; gaz sıcaklığı ve kimyasal maddelerin dağılımıdır. NO<sub>x</sub> indirgeme reaksiyonu sıcaklığa duyarlıdır. Yan ürün emisyonları optimum sıcaklık aralığından daha düşük sıcaklıklarda daha önemli hale gelirken, kimyasal kullanımı ve NO<sub>x</sub> indirgenmesi de en uygun değerden daha yüksek sıcaklıklarda azalır.

Optimum sıcaklık aralığı her uygulama için özeldir. En iyi performansı elde edebilmek için kimyasalların, optimum sıcaklık aralığı içinde uygulanması gerekmektedir. Tipik olarak, uygulama, büyük üniteler ve yüksek baca gazı hızına sahip üniteler için daha zordur. Kimyasal madde uygulaması basınçlı havayı kullanan enjektörler tarafından yapılır. Bu enjektörler kimyasalları atomize ederek yanma gaz yoluna püskürtürler. Damlacık boyutu, dağılımı ve enjektörlerin gerçekleştirdiği püskürtme alanı, baca gazı içindeki NO<sub>x</sub> ile kimyasal maddeler arasında etkin bir temas olmasını sağlar.

NO<sub>x</sub> emisyon miktarlarını azaltmak amacıyla fırın, sıcaklığı göreceli olarak düşük ve ilave hava miktarı da asgari olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlara ilaveten, standart gerekliliklerini karşılayabilmek amacıyla NO<sub>x</sub>'i, seçici bir katalitik olmayan redüksiyon (SNCR) yöntemiyle indirgeyen bir sistem tesis edilecektir. Bu sistem sadece gerektiği zaman kullanılacaktır.



Yanma bölgesinde (yatak bölgesi), kum, çamur ve yanma havası uygun bir şekilde karıştırılarak, sıcaklığı ve oksijen miktarı yüksek olan alanların oluşması önlenir.

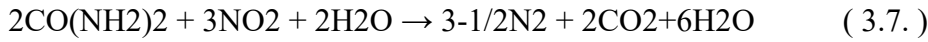
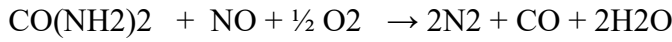
Atık içindeki nitrojenden NO<sub>x</sub> oluşumu, stoikiometri altında gerçekleşen bir yakma ve akışkan yatak bölgesinde 650°C'lik eşdeğer bir sıcaklık oluşturulması vasıtasıyla azaltılır. Üst hava bölgesindeki yüksek yanma sıcaklıkları, yanma sıcaklığının sürekli olarak 900°C'nin altında tutulması ile önlenir.

Bu projede yakma odasına enjekte edilecek sıvı üre için SNCR prosesi seçilmiştir. Katı üre kullanılacak ve %40-45'lik bir çözelti yerinde hazırlanacaktır. Üre kullanım kolaylığı için seçilmiştir (tehlikeli olmayan ürün).

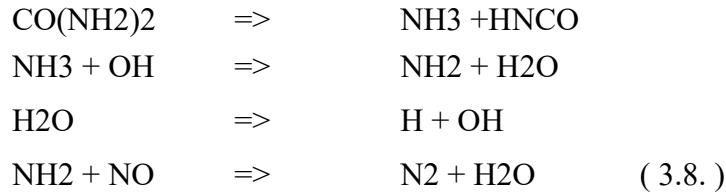
Üre, basınçlı hava kullanan nozullar aracılığıyla bir sulu çözelti olarak enjekte edilir.

Enjeksiyon noktalarının yerleşimi ve sayısı, yakma fırınının sıcaklık profiline, üst hava payı bölgesinin alanına ve yanma sonucu ortaya çıkan NO<sub>x</sub> değerine bağlıdır.

Üre enjeksiyonuyla NO<sub>x</sub>'in azaltılmasına yönelik geçerli genel reaksiyonlar şunlardır:



Esasında aşağıdakiler de dahil olmak üzere çok sayıda bağımsız gaz fazı reaksiyonu gerçekleşir:



Artan sıcaklığa bağlı olarak paralel reaksiyonun  $\text{NH}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$  etkisi daha yüksektir. Bu nedenle, tepkime sıcaklığının ( $> 1000^\circ \text{C}$ ) artışından kaçınılmalıdır. Düşük bir tepkime sıcaklığı ( $< 850^\circ \text{C}$ ), reaksiyon hızını azaltır. Her halükarda, reaksiyon sıcaklığı uygun bir sıcaklık aralığı içinde olsa bile, baca gazındaki amonyak miktarı tamamen yok edilemez. Fırına yapılacak üre enjeksiyon miktarının artırılması ile NO<sub>x</sub> giderim verimliliği de artırılır. Ancak, buna bağlı olarak amonyak miktarı da artacaktır. Amonyak miktarının 10 mg/Nm<sup>3</sup> geçmemesi durumunda, maksimum giderim verimi yaklaşık olarak %60 olacaktır ve bu giderim verimliliği, NO<sub>x</sub> emisyon değerini, emisyon sınır değerli içinde tutmak için yeterli olacaktır. Seyreltilmiş üre çözeltisi, üst hava payı bölgesinin üst kısmının enine kesiti boyunca yer alan atomize püskürtme nozulları ile enjekte edilir. Enjeksiyon nozulları, azot oksitler ve indirgeme kimyasalları arasındaki reaksiyonun uygun sıcaklıkta gerçekleşmesini sağlayacak şekilde yerleştirilmişlerdir.

Üre enjeksiyonu, fırının dış çevresinde dairesel olarak yer alan bir kollektöre bağlı ve fırın çevresi boyunca eşit aralıklarda yerleştirilmiş sekiz adet üre enjeksiyon nozulu aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

Sıvının damlacık boyutu, fırın içinde sabit bir noktada ölçülen sıcaklığa bağlı olarak, seyreltme su miktarını değiştirmek suretiyle ayarlanır. Gaz fazındaki reaksiyon, sıvıların buharlaşır, katı maddelerin ayrışmasından sonra, azot oksitler ve kimyasal maddeler arasında gerçekleşir.

### **3.7.8. Isı Geri Kazanım Ekipmanları**

Yakma sisteminin ihtiyacını karşılamak için tesise kurulacak olana doğalgaz temin ünitesinin kapasitesi en kötü işletim şartlarında yani en çok yakıt tüketiminin olduğu şartlara göre belirlenecektir. Ancak ileride yakma ünitesinde artış öngörülüyor ise, artış miktarına göre bir yaklaşım yapılarak doğalgaz temin ünitesi boyutlandırması yapılabilir.

#### **7.8.1. Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eşanjörü)**

Sistemin ana felsefesi baca gazının enerjisinin optimum olarak kullanılması üzerine kurulmuştur. Bu amaçla fırından çıkan sıcak baca gazları öncelikle birincil ısı eşanjörüne gönderilir. Bu sayede akışkanlaştırıcı hava blowerlerinden ve ileriki ısı kazanım sistemlerinden gelen 140 °C sıcaklığındaki hava Birincil Isı Eşanjöründe 850 °C sıcaklıktaki fırın baca gazının ısısı ile 600 °C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra fırındaki kum yatağın altına beslenir. Bu sayede yanma işleminin devamlılığı sağlanmış olur.

#### **7.8.2. Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi**

Bu sistem 3 adet farklı Isı Eşanjöründen oluşacaktır. Bunlar akışkanlaştırıcı hava ısıtma, baca gazı duman önleme ve ön ısıtma eşanjörüdür. Bu ısı değiştiricilerinin kullanılmasındaki amaç sistemin ısı verimliliğini artırırken bir yandan da gerekli ısıtma işlemlerini gerçekleştirmektir. Bu ekipmanlar sayesinde blower çıkışında 60 °C derece olan akışkanlaştırma havası 140 °C dereceye çıkarılır ve baca gazı sıcaklığı kademeli olarak önce 85 °C dereceye düşürülüp sonra 120 °C dereceye çıkartılır. Böylece ANA EMİŞ FANI sonrası 120 °C dereceden 140 °C dereceye çıkan baca gazının, bacadan çıkarken yoğunlaşma kaynaklı ve estetik olmayan duman görüntüsü de önlenmiş olacaktır.

### 3.7.9. Atık Isı Geri Kazanım Ekipmanları

Akışkan yataklı fırından çıkan egzoz gazından kızgın buhar üretecek 2 adet atık ısı kazanlarına gelecektir. Atık ısı kazanlarında 40 Bar / 450°C’de kızgın buhar üretilerek buhar türbinine gönderilecektir. Degazör için gerekli buhar, buhar domlarından alınacaktır. Buhar türbininden çıkan kondens suyu kondenserde soğutularak degazöre gönderilecektir.

Buhar türbininde sorun çıkması durumunda prosesin kesintiye uğramaması için atık ısı kazanlarında üretilen buhar, basınç düşürme vanası ve atemperatör kullanılarak by-pass hattından kondensere gönderilecektir.

Kondenser ve soğutma kulesi kapasitesi by-pass hattına göre belirlenmiştir. Atık ısı kazanları, su borulu ve cebri sirkülasyonlu tiptedir. Su hacminin az olması devreye girme süresini minimuma indirecektir.

Çizelge 3.10. Türbin Teknik Bilgileri ( Senaryo 1-2-3 )

	<u>Seneryo-1</u>	<u>Seneryo-2</u>	<u>Seneryo-3</u>
Kazan sayısı	2	2	2
Türbin Adet	1	1	1
Buhar Türbini Buhar Debisi (kg/h)	12,000	11,800	10,000
Buhar Türbini Giriş Buhar Basıncı (bar)	40	40	40
Buhar Türbini Giriş Buhar sıcaklığı (°C)	450	450	450
Buhar Türbini Jeneratör Çıkışı (kWh)	2600	2500	2000
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	20-30	20-30	20-30
Soğutma Kulesi Besi Suyu (m3/h)	15	15	15

### 3.7.10. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi Ekipmanları

Tesiste kullanılacak ana ekipmanlar ile ilgili açıklamalar aşağıda belirtildiği gibidir. Ayrıca Ekipman listelerinde tesiste kullanılacak tüm ekipman ve enstrümanlarla ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

#### 7.10.1. Yaş Çamur Kabul Ünitesi (Yer Altı Çamur Depo Tankı)

Bursa Doğu AAT ve diğer BUSKİ AAT’lerinden gelen dekantörde susuzlaştırmış %22-26 kuruluktaki susuzlaştırılmış çamur, kantarda tartıldıktan sonra kamyonlar vasıtası ile bir adet 4 bölmeli ve her bir bölmesi 750 m3 kapasiteli ve toplam 3.000 m3 hacimli bir yer altı silosuna boşaltılacaktır. Bölmelerin altında yer alan hidrolik kayar taşıma sistemi, çamuru orta kısımlardaki burgulu konveyörlere iletecek, konveyörler ise her bir bölmenin altında yer alan burgulu pompaları besleyecektir. Çamur, bu pompalar vasıtası ile ara yer üstü depolama silolarına basılacaktır.

### 7.10.2. Yer Üstü Siloları

Yer altı silosundan pompalanan çamurlar, 2 adet paralel çalışan 118 m<sup>3</sup>'lük yer üstü silolarında depolanacaktır. Çamur siloları tabanında da hidrolik kayar çerçeve bulunacak ve her bir silo altında yer alan 2 asıl burgulu pompa ile beslenecektir. Bu pompalar vasıtası ile çamur Akışkan Yataklı Fırın çevresinde birbirinden eşit uzaklıktaki enjektörle fırın içerisine gönderilecektir. Çamur deposu ve silolarından kaynaklanan kirli hava toplanacak ve biofiltre ile koku giderimine tabi tutulacaktır.

### 7.10.3. Fırın Besleme Pompaları

Her bir fırın için 2 asıl pompa öngörülmüştür. Her çamur pompası yakma tesisinin her birinin ihtiyacı olan çamuru, gerekli besleme hızında, pompalama kapasitesine sahiptir. Her bir çamur pompasından çıkan bir adet basınçlı çamur borusu, yakma fırını üzerinde yer alan, çamur enjeksiyon portunu besleyecektir; Borulama sistemi, gelen çamurun, fırının her enjeksiyon portunda düzgün ve eşit bir şekilde dağılımını temin edecek şekilde tasarlanmıştır.

**Fırınları beslemek için yüksek basınçlı, mono pompalar tesis edilecektir.**

### 7.10.4. Fırın Besleme Boru Hatları

Bu boru hatları, mevcut hacimde en kolay imal edilecek, tıkanmaları engelleyecek ve basınç kaybını azaltacak şekilde en az maliyetli olarak ve 50 barda çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Fırınlara giden iki ana besleme hattı vardır. Akışkan yatağın dengeli bir şekilde beslenmesini temin etmek için, çamur, fırın çevresinde birbirinden eşit uzaklıkta iki adet enjektörle fırın içerisine verilecektir.



Şekil 3.40. Fırını besleyen çamur boru hatları

### 7.10.5. Akışkan yataklı fırın

Çizelge 3.11. Akışkan Yataklı Fırın Teknik Bilgileri

Fırın sayısı	2
Sıcak hava giriş odasındaki sıcaklık	650°C
Yanma odasındaki sıcaklık	> 850°C
Toplam yükseklik (m)	~ 11
Azami dış çap (m)	~ 6

Akışkan Yataklı Fırın çelik bir gövde ve uygun kalınlıkta ısı yalıtımı ve ateş tuğlası refrakter tabakaları ile kaplanmış bir yapıdan oluşur. Yanma işlemi fırının içinde bulunan kum üzerinde gerçekleşir. Sıcak hava blowerlerinin yatağın altında yer alan sıcak hava odasına gönderdiği ve atıl ısı ile ısıtılan 500 °C – 650 °Cderecedeki sıcak hava, tuyerler (hava besleme nozulları) yolu ile refrakter kemer üzerinde yer alan kum yatağını kabartır ve akışkan hale getirir.

Fırına beslenen ve ortalama 3.600 kcal/kg kalorifik değere sahip çamur, reaktörün kum yatağında sıcak kum ve yanma havası ile karışır ve 5 saniyenin üzerinde bir kalma süresinde tam olarak yanarak inert bir küle dönüştürür. Reaktörde üretilen 850 °C sıcaklıktaki ve kül içerikli atık gaz önce atık ısı geri kazanım sistemine ve daha sonra da baca gazı arıtma sistemine gönderilir. Fırının ilk devre alınmasında ve işletme sırasında brülörde ek yakıt olarak doğalgaz kullanılır. Yanma sırasında atık gaz bünyesinde kaybolan yatak kumu miktarı otomatik olarak tespit edilir ve takviye edilir. Sistem soğutma amacıyla gerekli durumlarda su spreylemesi ile sıcaklık kontrolünü de otomatik olarak yapar.

### 7.10.6. Akışkan yataklı fırın Bloweri

Akışkanlaştırıcı hava bloweri aşağıdaki ana özelliklere sahip çok-kademeli, santrifüj tiptir.

Çizelge 3.12. Temiz Hava Blowerleri Teknik Bilgileri

	Birim	Değer
Normal tasarımda hava debisi	Nm <sup>3</sup> /h	16.000
Çıkış basıncı	kPa	27

Eşanjörün çıkış tarafında yer alan bloverin, çıkış borusundan ayrılan tali bir boru aracılığıyla, sıcak hava giriş odasına monte edilmiş olan, ilk çalıştırma brülörünün ihtiyacı olan yanma havası temin edilir.

Temiz hava bloveri, aşağıdaki ana özelliklere sahip santrifüj tip bir blower ünitesidir:

Çizelge 3.13. Santrifüj Tip Blowerleri Teknik Bilgileri

	Birim	Değer
Normal tasarımda hava debisi	Nm <sup>3</sup> /h	252
Çıkış basıncı	kPa	60

Bu blover, yakıt enjeksiyon nozullarının tıkanmasını ve aşırı ısınmayı önlemek için fırın içerisinde çok sayıda noktayı beslemektedir.

#### 7.10.7. Kum Depolama + Besleme Sistemi

Fırın içindeki sürtünme nedeniyle, kumun küçük bir bölümü, baca gazları ile birlikte dışarı atılır. Bu nedenle fırın içerisinde kum kaybı olmaktadır. Fırında yaklaşık 600 µm ebadında tanecik boyutuna sahip nehir kumu kullanılır. Bu kum klorürleri, sodyum tuzlarını, potasyum ya da demir bileşiklerini içermeyecektir.

Kamyonlarla getirilen kum silolara pnömatik sistemle nakledilecektir. Fırın içindeki yaklaşık kum miktarı 25.000 Kg

**Depolama hacmi: 1 x reaktor hacmi = 25 ton / 1,6 = 16 m<sup>3</sup> Seçilen depo hacmi: 20 m<sup>3</sup> / fırın verilecek kum pnömatik taşıma sistemi ile transfer edilecektir.**

### 3.7.11. Atık Isı Kazanı ile Buhar Türbini ve Jeneratörü

#### (Elektrik Üretim Bölümü)

Akışkan yataklı fırından çıkan egzoz gazından kızgın buhar üretecek 2 adet atık ısı kazanlarına gelecektir. Atık ısı kazanlarında 40 Bar / 450°C'de kızgın buhar üretilerek buhar türbinine gönderilecektir. Degazör için gerekli buhar, buhar domlarından alınacaktır. Buhar türbininden çıkan kondens suyu kondenserde soğutulurak degazöre gönderilecektir.



Şekil 3.41. Atık Isı Kazanı ile Buhar Türbini Detay Resmi

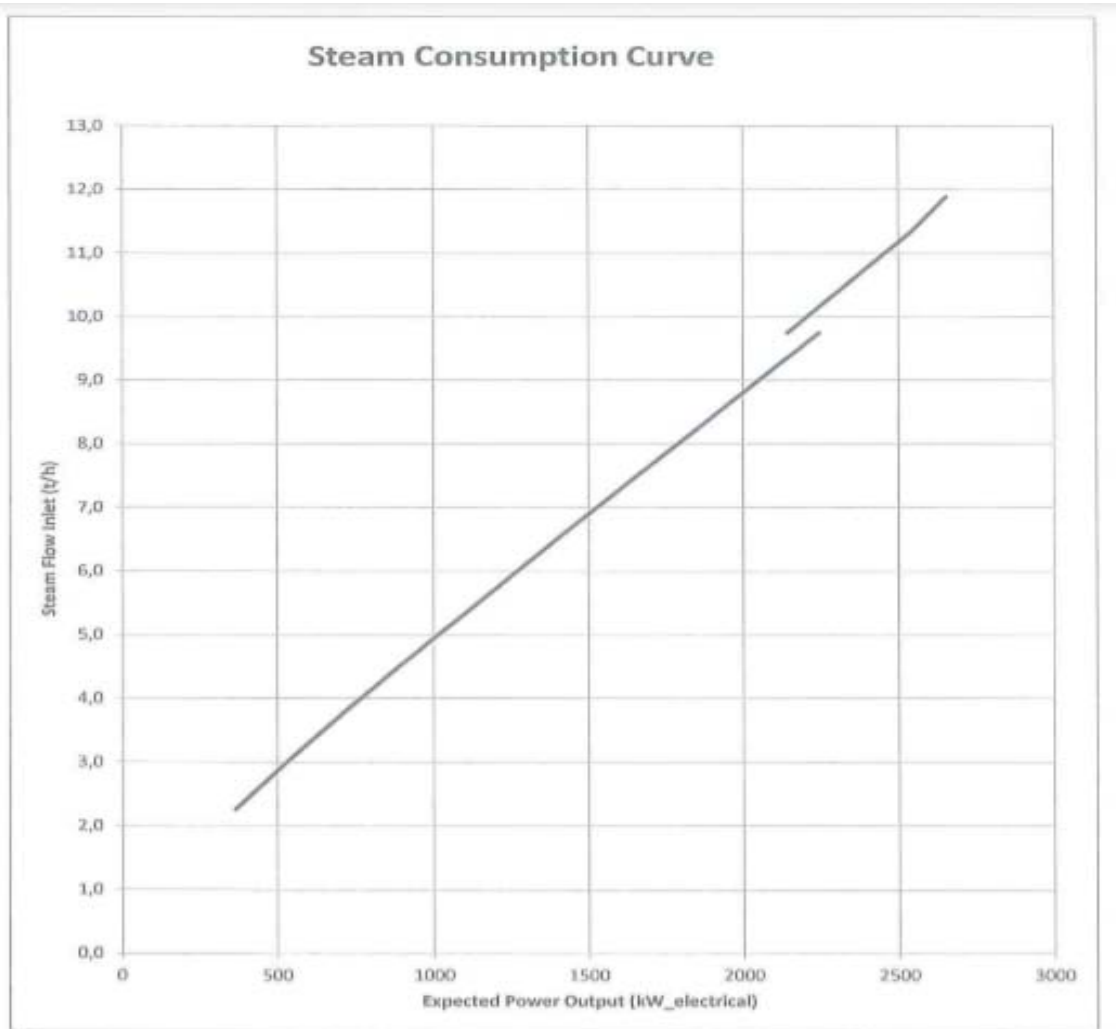
- Yakma fırının çıkan egzoz gazı birincil ısı eşanjörü vasıtasıyla atıkısı kazanının kızgın buhar üretmesi için gerekli olan ısı transferini sağlayacaktır.
- Atıkısı kazanında üretilen 450°C'de 41 bar 12 ton kızgın su buharı buhar türbinine gönderilecek ve **türbinde saatte 2,5 MW'lık elektrik üretimi sağlanacaktır.**
- Tesiste buhar türbinine gerekli olan suyu sağlayacak olan demineralize su tesisi, soğutma için soğutma kulesi ve yoğuşmayı sağlayacak olan kondenser yer alacaktır.
- Atıkısı kazanında buhar üretiminde kullanılan egzoz gazı arıtım için emisyon kontrol sistemine yönlendirilecektir.

Buhar türbininde sorun çıkması durumunda prosesin kesintiye uğramaması için atık ısı kazanlarında üretilen buhar, basınç düşürme vanası ve atemperatör kullanılarak by-pass hattından kondensere gönderilecektir. Kondenser ve soğutma kulesi kapasitesi by-pass hattına göre belirlenmiştir. Atık ısı kazanları, su borulu ve cebri sirkülasyonlu tiptedir. Su hacminin az olması devreye girme süresini minimuma indirecektir.

Çizelge 3.14. Buhar Türbini Teknik Bilgileri

	<u>Seneryo-1</u>	<u>Seneryo-2</u>	<u>Seneryo-3</u>
Kazan sayısı	2	2	2
Türbin Adet	1	1	1
Buhar Türbini Buhar Debisi (kg/h)	12,000	11,800	10,000
Buhar Türbini Giriş Buhar Basıncı (bar)	40	40	40
Buhar Türbini Giriş Buhar sıcaklığı (°C)	450	450	450
Buhar Türbini Jeneratör Çıkışı (kWh)	2600	2500	2000

Çizelge 3.15. Buhar Türbini Eğrisi ( Örnek Buhar Türbini Seçim Eğrisi)





### 3.8. Termik Degazör

#### a. Termik Degazör:

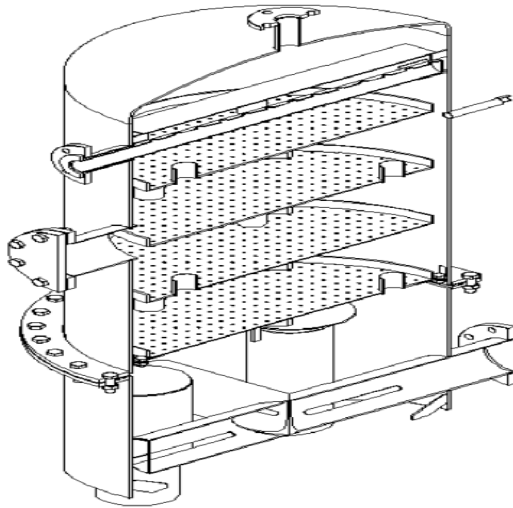
Buhar kazanına gönderilecek besi suyunun içerisinde Oksijen ve Karbondioksit in olmaması istenir. Kondens suyunda olan Oksijen ve Karbondioksitin alınması için degazörler kullanılır. Genellikle 0,2 bar da çalışırlar.

Degazörler, tank ve üzerine monte edilen domdan oluşur. Pompaların kavitasyon yapmaması için degazör eksenini 4,5 mt yüksekte olmalıdır. Bu nedenle ve yerden kazanmak için genellikle degazörler kondens tankı üzerine çelik konstrüksiyon üzerine konulurlar.

**b. Tank;** Suyun 102 C de tutulmasını sağlar. İçerisinde ısıtıcı serpantin grubu olur. Tankı sıcak tutmak için bu serpantin grubuna buhar verilir,

**c. Dom:** Üstten kondens suyu tavalara çarptırılıp ,alttan verilen buharla karşılaşıldığı yerdir. Burada buharın ısısından yararlanılarak kondens suyu içindeki oksijen ve karbondioksit gazlarının ayrıştırılması sağlanır. İçerisinde delikli tavalar vardır. Tavalar genellikle oksijen korozyonuna mukavemet sağlamak için Paslanmaz malzemeden üretilirler.

**d. Tavalar;** Belli debide akan suyun tanecik şekilde dağılması sağlarlar.



Şekil 3.42. Degazör Dom Kesiti

Degazörler aynı zamanda suyun kimyasal ile şartlandırıldığı kısımdır.



Şekil 3.43. Degazör Detay Resimleri

Degazörlerde Sıcaklık, basınç ve seviye kontrolü yapılır. Vakuma karşı vakum kırıcı ile vakum kontrolü yapılır.

### **3.9. Kızdırıcı/ Buhar Üretici ve Ekonomizer:**

Kızdırıcı, buhar üretici ve ekonomizer aynı gövde içerisine monte edilip modüler yapı olarak tek parça sahaya gönderilecektir.

Kızdırıcı doymuş buhar sıcaklığı 450°C'ye çıkarmak için sisteme eklenmiştir. Kızdırıcı yüzeyleri karbon çeliği dikişsiz kanatlı borulardan imal edilmiştir. Kızdırıcı boruları yatay olarak yerleştirilecektir. Gaz akışı borulara dik olacaktır. Kızdırıcı kollektörleri ünite tamamen dreyn edilecek şekilde monte edilecektir.

#### **a. Kazan İçi Borulaması:**

Bütün buhar ve su boru hatları üzerinde vent ve dreyn bağlantıları bulunacaktır. Buhar ve su hatları tasarım basıncının 1.5 katı değerinde basınç altında hidrostatik teste tabi tutulacaktır. Boru hatları ASME standartına göre tasarlanacaktır. Boru hatları gerekli görülen yerlerde supportlanacaktır.

Vanalar operator tarafından bakım ve işletme açısından ulaşılabilir ve sökülebilir olacaktır. Kontrol vanaları flanş bağlantılı olacaktır.

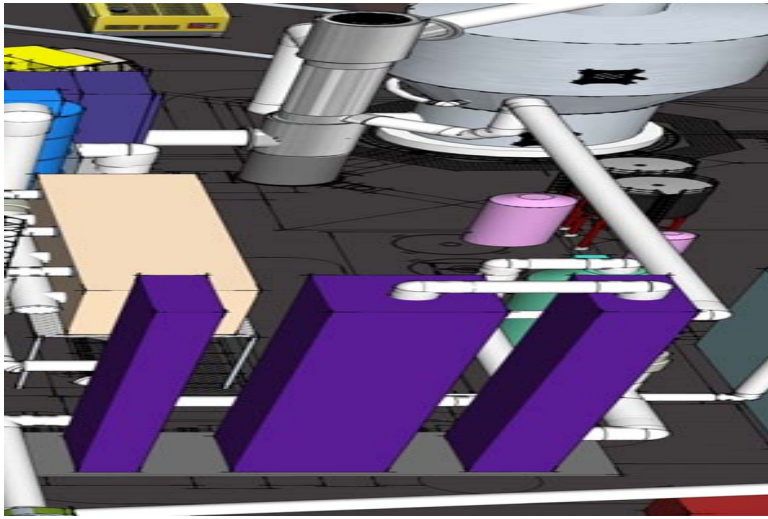
Kızdırıcı üzerinde ve buhar domu üzerinde emniyet vanası bulunacaktır. Emniyet Vanaları yaylı tip olacaktır.

Atık Isı Kazanı ve Buhar Domu için gerekli platformlar ve merdivenler bulunacaktır. Platformlar bütün hatlardaki vanalara ve kazan bakım kapaklarına ulaşılabilir şekilde yerleştirilecektir. Operatörler ayrıca ölçüm noktalarına ve bakım gerektiren ekipmanlara ulaşabileceklerdir. İzolasyon malzemesi kalınlıkları; dış yüzey sıcaklığı 60°C'yi aşmayacak şekilde hesaplanıp seçilecektir.

### 3.10. Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi

#### 3.10.1. Isı Eşanjör Sistemi

Bu sistem 3 adet farklı Isı Eşanjöründen oluşacaktır. Bunlar akışkanlaştırıcı hava ısıtma, baca gazı duman önleme ve ön ısıtma eşanjörüdür.



Şekil 3.44. Isı Eşanjörleri ve Blower Detay Resimleri

- Tesiste ilk ateşleme ve akışkan yataklı fırının gerekli sıcaklığa ulaşması brülörler ile sağlanacaktır.
- Fırın gerekli sıcaklığa ulaştıktan sonra brülör devreden çıkacak ve çamur besleme başlayacaktır.
- Tesiste yer alan 2 adet birincil ısı eşanjörü vasıtasıyla fırınlara sıcak hava sağlanarak ısı geri kazanımı sağlanır.
- Birincil ısı eşanjörü ek olarak tesisin elektrik üretimi için çok önemi olan atıkısı kazanına da sıcak baca gazını sağlar.
- Tesiste her hat için ek olarak 3 adet daha ısı eşanjörü bulunmaktadır. Bu eşanjörlerde emisyon arıtım ünitelerinden çıkan sıcak gazların ısı geri kazanımında kullanılır.

➤ Akışkan yataklı fırında gerekli olan fazla hava, kompensatörler ve basınç bağlantılarına soğutma havasını, kum ve külün temizlenmesi için gereken hava blowerlar ile sağlanacaktır.

Bu ısı değiştiricilerinin kullanılmasındaki amaç sistemin ısı verimliliğini arttırırken bir yandan da gerekli ısıtma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu ekipmanlar sayesinde blower ıkışıında 60 C derece olan akışkanlaştırma havası 140 C dereceye çıkarılır ve baca gazı sıcaklığı kademeli olarak önce 85 C dereceye dūřürölüp sonra 120 C dereceye çıkartılır. Bōylece ANA EMİŐ FANI sonrası 120 C dereceden 140 C dereceye çıkan baca gazının, bacadan çıkarken yoğuşma kaynaklı ve estetik olmayan duman gōrüntüsü de önlenmiş olacaktır.

### **3.11. Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eřanjōrü)**

Sistemin ana felsefesi baca gazının enerjisinin optimum olarak kullanılması üzerine kurulmuştur. Bu amaçla fırından çıkan sıcak baca gazları öncelikle birincil ısı eřanjōrüne gōnderilir.

Bu sayede akışkanlaştırıcı hava blowerlerinden ve ileriki ısı kazanım sistemlerinden gelen 140 °C sıcaklığındaki hava Birincil Isı Eřanjōründe 850 °C sıcaklıktaki fırın baca gazının ısısı ile 600 °C – 650 °C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra fırındaki kum yatağın altına beslenir. Bu sayede yanma işleminin devamlılığı sağlanmış olur.

### 3.12. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi Emisyon Kontrol Sistemleri

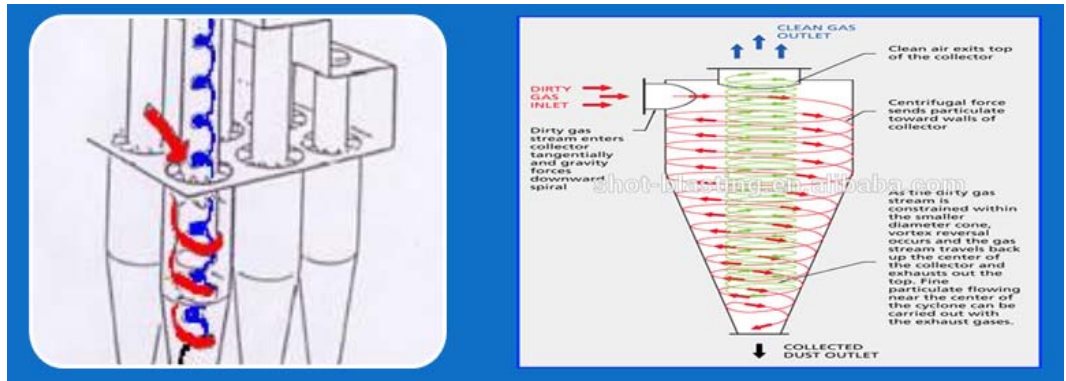


Şekil 3.45. Emisyon Kontrol Sistemi Akış Şeması

#### 3.12.1. Çoklu Siklon

Atık ısı kazanından çıkan yüksek sıcaklıktaki atık gaz ( $180 - 210 \text{ }^\circ\text{C}$ ) siklondan geçerek öncelikli olarak büyük partiküllerden arındırılacaktır. Her bir çoklu siklon filtre 2 paralel hattan oluşacak ve her birinin atıkgaz girişi ayrı olacaktır.

Atık Isı Kazanından çıkan toz yüklü baca gazı partikül tutulması için seçilen 81 adet küçük siklondan oluşan çoklu siklon gövdesine girer. Baca gazının dairesel bir hareket içine girmesini sağlar. Bu akış nedeniyle oluşan santrifüj kuvvet etkisi ile dış çeperlere doğru itilen 4 mikron üzerindeki partiküller yerçekimi ile her bir siklonun konik olan alt kısmına doğru yönlendirilir. %75-%85 oranında tozdan ayrılan gaz ise siklon iç çıkış borusundan üst hücreye geçer ve ana gövde üzerindeki gaz çıkış ağzından Ana Fan tarafından emilir. Siklonun alt haznesinde biriken toz partikülleri pnömatik taşıma sistemi yolu ile kül silolarına yönlendirilir ve kamyonlar ile sistemden uzaklaştırılır.



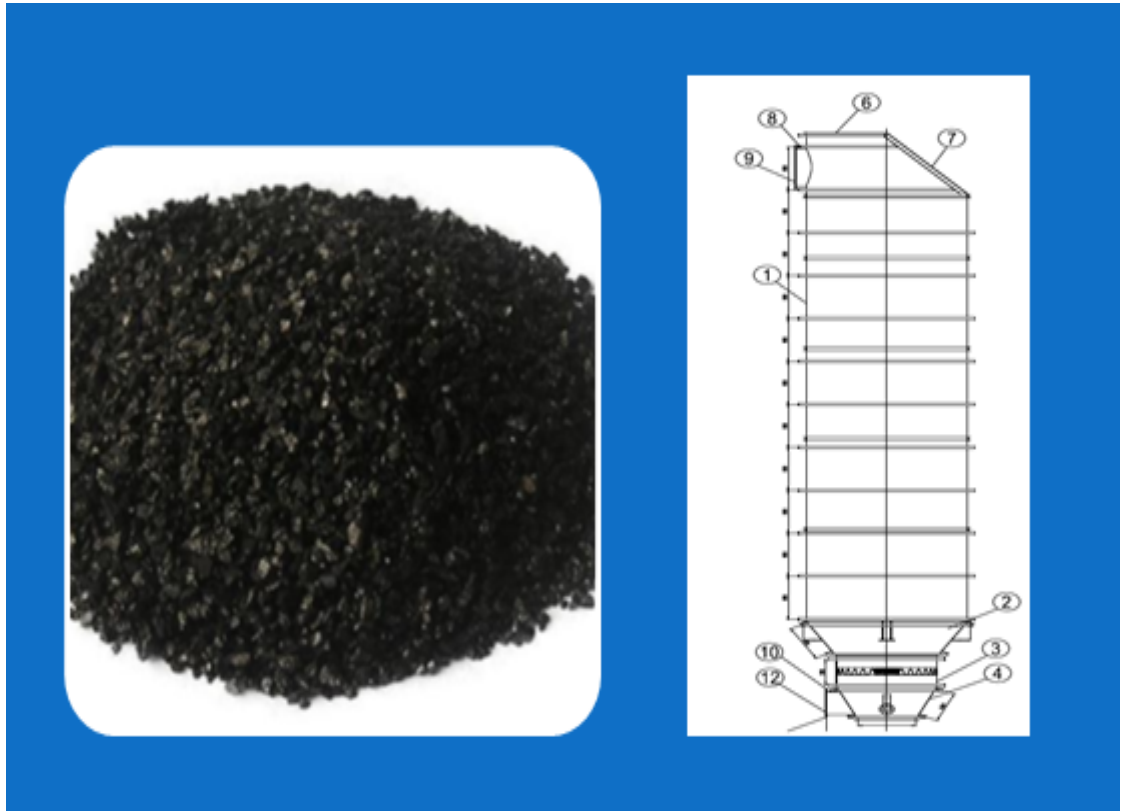
Şekil 3.46. Çoklu Siklon Detay Resimleri

### 3.12.2. Aktif Karbon ve Kireç Reaktörü

Çoklu siklon filtre çıkışında torba filtreye girmeden önce baca gazına aktif karbon dozajı yapılarak, gaz içerisindeki civa ve diğer ağır metaller ile, olası dioksin, furanlar ve poli aromatik hidrokarbonların giderimi sağlanacaktır. Bu noktada aktif karbonun yanı sıra kireç dozajı da yapılarak, gaz içerisindeki asidik karakterli bileşiklerin (SO<sub>2</sub>, vb.) giderimi da sağlanacaktır.

Toz olarak enjekte edilecek aktif karbon ve kireç iki gün depolama kapasitesine sahip silolarda depolanacak ve havalı taşıma sistemi ile karışım reaktörüne enjekte edilecektir. Karışım reaktörü yapısı gereği girişte kesit daralması ile baca gazı hızını artıracak ve kimyasalların püskürtme ile tam karışımını sağlayacak ve burgusal hava akımı oluşturarak reaksiyonlar için gerekli teması artıracaktır.

Baca gazı arıtma sisteminde gerekli olacak aktif karbon ve tesiste gerekli olan kimyasallar, atölye binası ile ortak yapılan kimyasal depolama binasında depolanacaktır. Aktif karbon dışında, kazan kimyasalları, asit, kostik ve polimer kimyasalları bu depoda uygun şartlarda muhafaza edilebilecektir.



Şekil 3.47. Aktif Karbon Dozlama Sistemleri Detay Resimleri

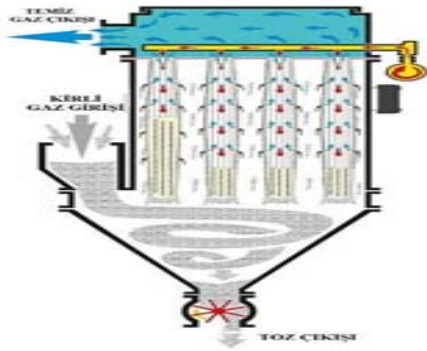
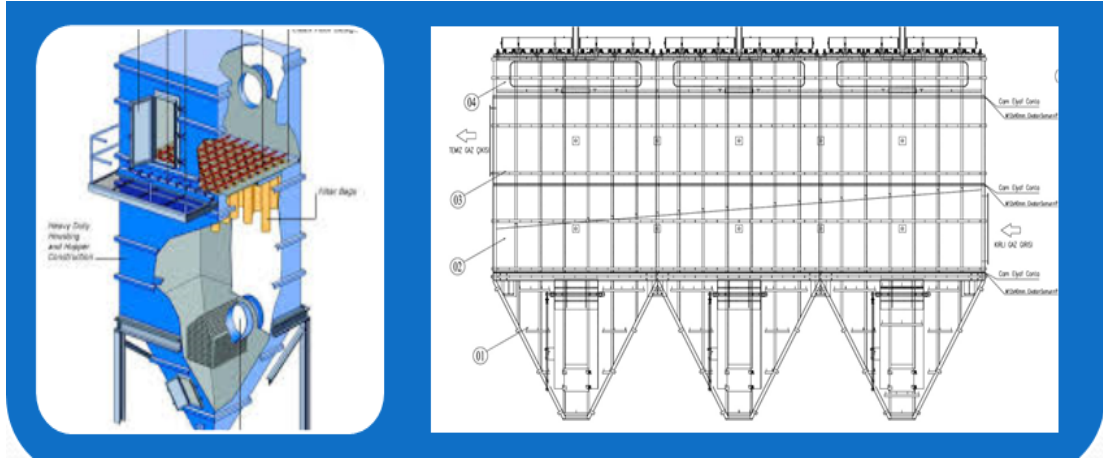
### 3.11.3. Jet Pulse Torba Filtre

Aktif karbon ve kireç dozajı yapılan baca gazı torba filtreye gelecektir. Kimyasal dozajı ile oluşan partiküller ve siklondan geçen diğer partiküller torba filtre ile tutulacaktır.

Her bir baca gazı arıtımı için 3 kompartmanlı (2 asil ve 1 online bakım kompartmanı) torba filtre öngörülmüş ve her birinin atıkgaz girişi diğerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır.

Torba filtre jet pulse tipte olacaktır ve 528 adet (352 adet asil ve 176 adet online bakım) torbadan oluşacaktır. Filtrelerde toz tutmadan dolayı zamanla oluşabilecek fark basınca göre, hava ile temizleme yapılacaktır. Tıkanan bir filtre kompartmanı temizlenirken aynı anda sistem durmadan diğer filtre kompartmanları arıtmaya devam edecektir. Torba filtrede zamanla yoğunlaşmayı önlemek ve sistem durduğunda, partiküllerin zamanla katılaşarak yıkanmaya sebep olmaması için, filtre çıkış hunisinde ısıtıcılar bulunacaktır. Gerektiği durumlarda torba filtrede ısıtma yapılacaktır

Filtre altı bunkerlerinde biriken toz partikülleri pnömatik taşıma sistemi yolu ile kül silolarına yönlendirilir ve kamyonlar ile sistemden uzaklaştırılır.



Şekil 3.48. Torba Filtre - Jet Pulse Torba Filtre Detay Resmi

### 3.11.4. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi

Her ne kadar istenilen emisyon değerleri torba filtre çıkışında sağlanacak olsa da baca gazı emisyon kontrolünün son halkası olarak emniyet amaçlı olarak Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi (DYYK) tesis edilecektir.

Atık ısı geri kazanım sisteminden 85 C derecede ayrılan baca gazı dolgu yataklı kule öncesinde venturi soğutucudan geçirilerek son bir kez partikül tutuma ve soğutma işlemine tabii tutulur. Sıcaklığı 50 C dereceye düşen baca gazı dikey olarak dolgu kulesine hareket eder. Partiküllerin nihai giderimi ve aynı zamanda kostik sıvısı ile SO<sub>2</sub> giderimi bu bölgede gerçekleşir. Gazın nihai ısı düşümünün sağlandığı bu üniteden elde edilen sıcak su, tesis içinde dekantör öncesi çamurun ısıtılması gibi farklı amaçlarla kullanılacaktır. NO<sub>x</sub> arıtımı ile ilgili ise gerekli durumlarda yakma fırınına Üre beslemesi yapılacaktır.

Dolgu yataklı yıkama kulesi gaz içindeki SO<sub>2</sub> ve partikül kirleticileri giderecek şekilde dizayn edilecektir. Gazların ve partiküllerin giderimi için Venturi Siklonik Dolgu yataklı yıkama kuleleri kullanılır.

Sistemde gazın soğutulacağı göz önüne alınarak partikül giderici verimini artırmak için Soğutucu Venturi monoblok olarak düşünülmüştür.

Gaz öncelikle 4 adet Venturiye aynı zamanda gaz soğutma görevi yapacak bölüme dikey olarak aşağıya doğru girer. Saatte 40 ton 20°C su nozullardan gaz içine püskürtülür. Su ve gaz venturi boğazından hızla düşey hareket eder. Partiküller venturi zemininden kule haznesine yönelirken temizlenmiş gaz siklonik olarak venturi gövdesi iç cidarına dairesel dönüş ve yüksek santrifüj kuvvetiyle temizlenir. Gaz ise içinde dikey olarak dolgulu kuleye hareket eder. Nihai temizlik kulede gerçekleşir. Aynı zamanda kostik sıvısı ile SO<sub>2</sub> giderimi bu bölgede gerçekleşir.

Dolgu yataklı yıkama kulesi, kazan çalışması ile otomatik devreye girer. Yıkama suyuna daha önce ayarlanmış pH değerlerine ulaşınca kadar NaOH tankı, yıkama nozulları ile kimyasal enjekte eder. pH değeri ayarlanan 9-10 değerlerine ulaştığında kimyasal kesilir. Gaz yıkama sıvısı tesisten gelen yaklaşık 70-80 m<sup>3</sup>/saat debideki kostikli suyun 40 m<sup>3</sup>/saat soğutucuya, 30 m<sup>3</sup>/saat olarak dolgu üzerine püskürtülür.



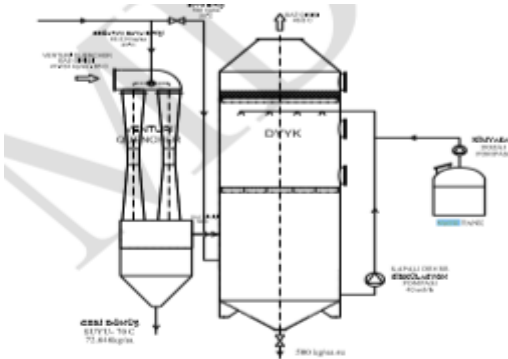
Dolgu içerisinde aşağı kule haznesine yıkama suyu dökülür. Yukarıya doğru ise baca gazı DYYK üst noktadan ana sistem fanı tarafından emilir. DYYK 500ppm SO<sub>2</sub> ve 10gr/m<sup>3</sup> partikül baca gazı konsantrasyonu Çevre Bakanlığı Yönetmeliği'ne uygun olarak dizayn edilmiştir.



Şekil 3.49. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi Detay Resmi

#### 11.4.1. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi Dizayn Özellikleri

Gaz öncelikle venturi soğutucudan geçirilecek soğutucuya gönderilen su gazı soğuttuktan sonra yoğuşma suyu ile birlikte tesise geri dönecektir. Venturi soğutucu aynı zamanda toz ayırıcı olarak da kullanılacaktır. Venturi soğutucudan çıkan 50 °C sıcaklıktaki gaz DYYK ya girecektir. DYYK altında kapalı devre çalışan ve dahili sirkülasyon pompası bulunan yaklaşık 9m<sup>3</sup> hacimli su tankı bulunacaktır. Tanka 20 °C de su beslenecek tesis rejime girdikten sonra yaklaşık 500kg/saatte su deşarjı yapıp tanka yeni su alınacaktır.



Şekil 3.50. Venturi Soğutucu -DYYK Akım Şeması ve Genel Görünümü

### 3.11.5. Kül Nakil Sistemleri

#### 11.5.1. Multisiklon Çıkışı Pnömatik Nakil Sistemi Dizayn Özellikleri

Pnömatik nakil sistemi maksimum kapasite olan kum nakil sistemi esas alınarak dizayn edilmiştir. Pnömatik nakil yoğun faz (Dense phase) prensibi ile çalışacağı için kapasite düşük olan noktalarda sadece saatteki sevk adedi değişecektir.

**Tip:** DP600

**Tank Çapı:** 600mm

**Tank Hacmi:** 0,2 m<sup>3</sup>

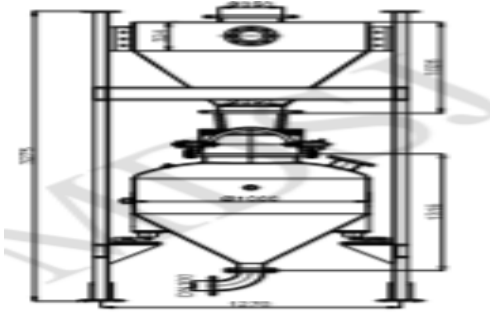
**Tank Malzemesi:** St 37

**Multisiklondan çıkan kül miktarı:** 433kg/sa

**Gönderim Başına Miktar:** 200 kg

**Saatlik Gönderim Adedi/Aralığı:** 2-3 kez / 20-30 dak

**Gönderim Basıncı:** 3-4 bar



Şekil 3.51. Pnömatik nakil sistemi genel görünümü(Taslak)

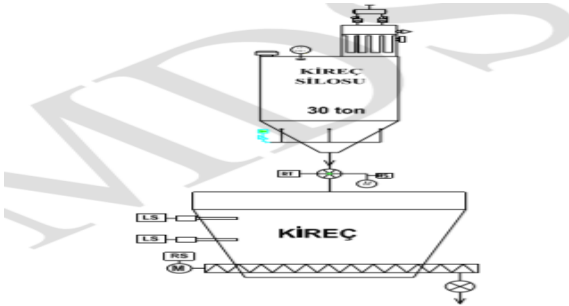
### 3.11.6. Kireç Dozlama Sistemi ve Dizayn Özellikleri

**Tip:** KÇD-30/140

**Hacmi:** 1 m<sup>3</sup> Gövde

**Malzemesi:** Karbon Çelik -3mm

**Kapasite:** 60-140 kg/saat



Şekil 3.52. Kireç Dozaj Sistemi Tasarımı

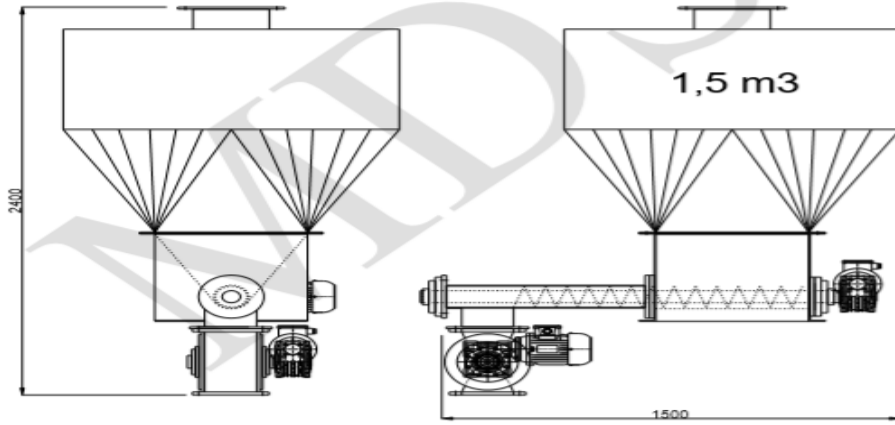
### 3.11.7. Aktif Karbon Dozlama Sistemi ve Dizayn Özellikleri

**Tip:** KBD-1/6

**Hacmi:** 1,5 m<sup>3</sup>

**Gövde:** Malzemesi Karbon Çelik-3mm

**Kapasite:** 3-17,3 kg/saat



Şekil 3.53. Aktif karbon dozaj sistemi tasarımı

### 3.11.8. Dioksin ve Furanların Giderilmesi

Toz şeklinde aktif karbon reaktör içine enjekte edilecektir. Kullanılacak aktif karbon kömür 0,3 ile 0,4 mm den küçük olacaktır.

Reaksiyon absorpsiyon süresi reaktörden başlamak üzere filtre yüzeyine kadar devam eder ve filtre yüzeyinde oluşan kek tabakası da absorbe görevine devam eder.

**Aktif Karbon özellikleri Yüzey Alanı :** 500-900 m<sup>2</sup>/gr

**Gözenek Hacmi :** 30m<sup>3</sup>/100gr

**Gözenek Genişliği :** 0,3nm – 900nm

Karbon yüzeyi bir ince film tabakası oluşturur ve gazları absorbe eder.

### 3.11.9. Siklon Kül Silosu

#### 15.10.1. Siklon Kül Silosu Dizayn Özellikleri

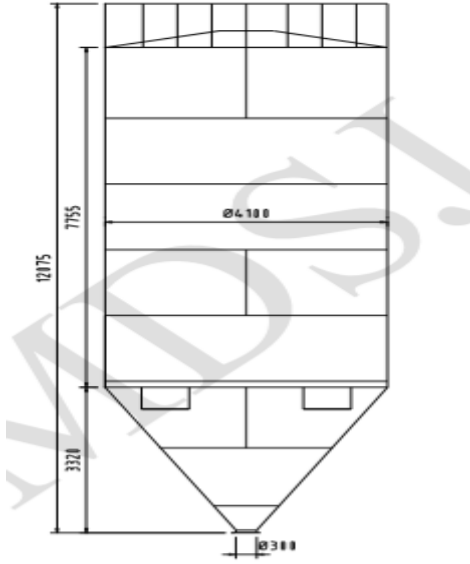
**Silo Hacmi:** 125 m<sup>3</sup>

**Silo Kapasitesi:** 105 ton

**Silo Yüksekliği:** 12.075 mm

**Silo Çapı:** Ø4100 mm

**Silo Malzemesi:** Karbon Çelik



Şekil 3.53. Siklon kül silosu tasarımı

### 3.11.10. Filtre Altı Kül Silosu ve Dizayn Özellikleri

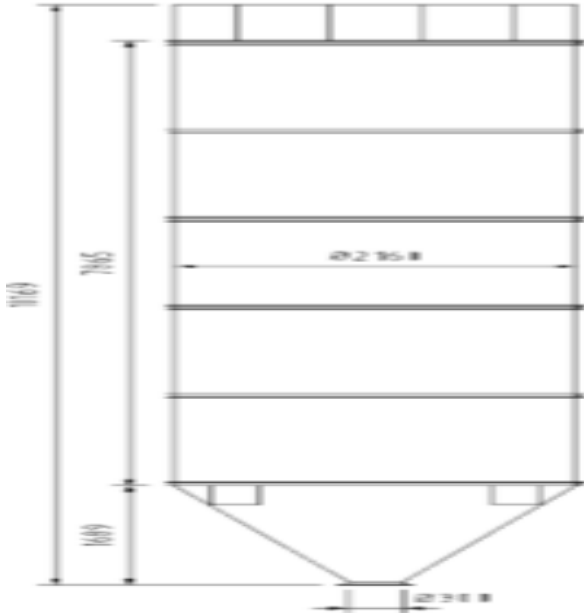
**Silo Hacmi:** 30 m<sup>3</sup>

**Silo Kapasitesi:** 26 ton

**Silo Yüksekliği:** 10.169 mm

**Silo Çapı:** Ø2160 mm

**Silo Malzemesi:** Karbon Çelik



Şekil 3.54. Filtre altı kül silosu tasarımı

### 3.11.11. Kireç Silosu ve Dizayn Özellikleri

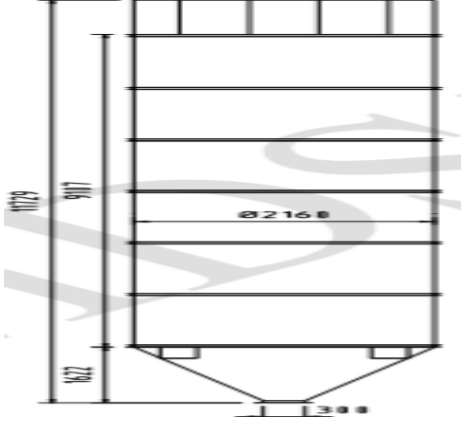
**Silo Hacmi:** 30 m<sup>3</sup>

**Silo Kapasitesi:** 30 ton

**Silo Yüksekliği:** 11.729 mm

**Silo Çapı:** Ø2160 mm

**Silo Malzemesi:** Karbon Çelik



Şekil 3.55. Kireç silosu tasarımı

### 3.11.12. Kum Silosu ve Dizayn Özellikleri

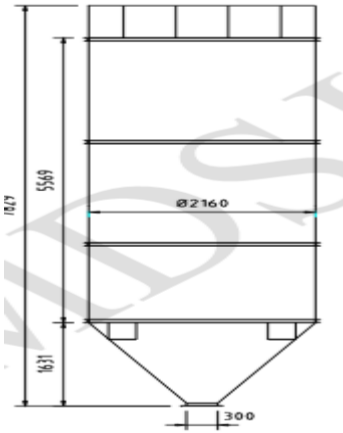
**Silo Hacmi** 22 m<sup>3</sup>

**Silo Kapasitesi** 35 ton

**Silo Yüksekliği** 7.829 mm

**Silo Çapı** Ø 2160 mm

**Silo Malzemesi** Karbon Çelik



Şekil 3.55. Kum silosu tasarımı

### **3.11.13. Sistemin Çalışması**

#### **11.13.1. Sistemin Çalışma Prosedürü**

Kazandan çıkan gaz ve partiküller, multisiklon (1) gövdesine girer. Giren gaz ve partiküller teğetsel girişli 81 adet multisiklon iç yüzeyinde santrifüj ve yerçekimi kuvveti ile düşey hareket eder. Ayrılan gaz, siklon iç çıkış borusundan üst hücreye geçip gaz çıkış ağzından ana fan (7) tarafından emilir, partiküller ise alt hazneye düşer.

##### **11.13.1.1. Kül Deşarjı**

Ana bunker altında toplanan kül bunker altına monte edilmiş olan hava kilidi (3) marifeti kül hopperine boşalır.

##### **11.13.1.2. Siklon basınç kontrolü**

Siklon (1) giriş ve çıkışına bağlanan fark basınç transmitteri (23) ile siklon giriş ve çıkış basıncını kontrol ederek pano (38) üzerinde değerleri görülür. Fark basıncın ayarlanan değerinin değişmesi pano üzerinde ikaz edilir.

##### **11.13.1.3. Kül transferi**

Multisiklon (1) bunkerindeki kül, yoğun faz prensibi çalışan Densporter (15) ile paketler halinde siklon kül silosuna (13) yaklaşık 3 bar basınçlı hava ile sevk edilir.

##### **11.13.1.4. Sevk Prensibi**

- Sevk tankına (Densportera(15)) kül dolar. Tank üzerinde ki üst limit seviye sensörü doluluk limitini algılar. Ürün dolun valfi kapanır.
- Tank içi basınçlı valfi açılır. Tank basınçlandırılır ve sevk işlemi başlar.
- Sevk işlemi tamamlandıktan sonra, alçak basınç svici ayarlanan (0,3) basınç değerine inince tank boş sinyali verir ve ürün dolun klapesi aç komudu ile tekrar açılır ve böylece sistem yeniden sevke hazır hale gelir.
- Sevk operasyonları dijital ekranda izlenir. Sevkin arızası durumunda ekranda arıza sinyali görülür.

➤



Şekil 3.58. Sevk Sistemi

#### **11.13.1.5. Silo üstü Filtre**

Multisiklon altı kül sevkinde her sevk sonrası silo üstü filtre (20) tarafından otomatik zamana bağlı olarak basınçlı hava ile temizleme yapılır.

#### **11.13.1.6. Silo Seviye Kontrolü**

Kül silosunun (13) iç kül seviye kontrolü, silo 4 noktasına yerleştirilen yük hücresi (40) ile silo kül miktarı kontrol edilir. Silo doluluk kapasitesi maksimum ayarlanan değerine ulaşınca ekranda silo ikazı görülür.

#### **11.13.1.7. Kül Silosunun (13) Boşaltılması**

Silo boşaltma noktasına monte edilmiş olan silobas dolum körüğü (30) ile tozuma yapmayacak şekilde silobas dolum ağzına teleskopik körük indirilir. Tartımın indikatöre yükleme yapılacak miktar girilir. Dolum klapesi (29) açılır. Dolum tamamlanınca dolum vanası otomatik kapanır. Körük kapalı pozisyona getirilir.



Şekil 3.59. Silobas Körüğü Genel Görünümü

#### **11.13.1.8. Körük Filtresi**

Kül dolumu yapılırken Silobas Körüğü Emiş Filtresi (31), körük (30) silobas ağzına teleskopik açılırken toz emme filtresi (31) otomatik devreye girer. Dolum işlemi süresince tozumanın önlenmesi sağlanır. Dolum işlemi bittikten sonra ayarlanan zamana kadar filtre çalışmaya devam eder ve otomatik olarak durur (Yaklaşık 10dk).

#### **11.13.1.9 Kireç Dozajı**

Multisiklon ile Jet Pulse filtre arasına yerleştirilecek olan reaktörün (2) gövdesine, kireç dozaj ünitesi (11) ile kireç dozajlanır.



Şekil 3.60. Kireç Dozajlama Genel Görünümü

Dozajlama saatlik harcama miktarları kireç dozajlama paneline manuel olarak girilir. Kireç Dozajlama otomatik olarak Dozajlama götürücüsü (25) tarafından liner olarak kireç miktarına göre ayarlayarak pnömatik sevk hattına gönderir. Dozajlanmış olan kireç dozajlama devam ederken blower (12) ile pnömatik olarak reaktör (2) girişine entegre edilir. Enjeksiyon kesilmesi veya durması halinde ekran üzerinde arıza pozisyonu görülür. Kireç dozaj sistemi kazan ünitesinin çalışmasına göre başlatılır. Kazan devre dışı kaldığı anda otomatik olarak durur.

#### 11.13.1.10. Aktif Karbon Enjeksiyonu



Şekil 3.61. Aktif Karbon Dozajlama Genel Görünümü

Aktif Karbon Dozajlama saatlik harcama miktarları Aktif Karbon Dozajlama paneline manuel olarak girilir. Aktif Karbon Dozajlama (10) otomatik olarak Dozajlama götürücüsü (25) tarafından liner olarak aktif karbon miktarına göre ayarlayarak pnömatik sevk hattına gönderir.

Dozajlanmış olan aktif karbon dozajlama devam ederken blower (12) ile pnömatik olarak reaktör girişine entegre edilir. Enjeksiyon kesilmesi veya durması halinde ekran üzerinde arıza pozisyonu görülür. Aktif karbon dozaj sistemi kazan ünitesinin çalışmasına göre başlatılır. Kazan devre dışı kaldığı anda otomatik olarak durur.



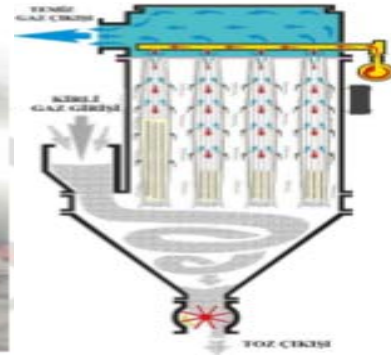
### 3.12. Jet Pulse Filtre(4)

Filtre giriş çıkış basıncı DP 12 ile 15 mbar a ayarlanacaktır. Pulse valfler 12 mbar fark basıncında devreye girmeyecek torbaların kirliliği 15 mbara ulaşınca temizleme sıra ile başlayacaktır.

Bu sınır değerler içerisinde torba kirliliği valflerin puls ve inpuls aralığı ile işletme şartlarında ayarlanır. Temizleme sistemi, 2 tarzda çalışmaktadır: \*Sürekli tip: Temizleme sırası durmaksızın çalışmaktadır. \*Otomatik tip: Temizleme sırası, diferansiyel basınç değerine göre başlamaktadır.



Şekil 3.62. Jet Pulse Filtre Genel Görünüm



Şekil 3.63. Filtre içi Gaz Akış Şekli

#### a. Çalışma Şekli

Sistem Fark Basınç Transmitteri (DP1) değerini okur, şayet okunan değer, ayarlanan değere ulaşmışsa (DP1=15mbar); sistem temizleme işlemine başlayacaktır. PLC, ilk kompartmanın PSD01 damperini kapatır, sonra temizleme başlama sinyalini verir. PLC kapalı damperin (PSD01) yaklaşım sensörlerinden (PRXC) gelen sinyalleri kontrol eder. 30 saniye sonra (süre HMI vasıtasıyla ayarlanabilir) yaklaşım sviçlerinden sinyal (PRXO veya PRXC) gelmeyişi bir alarm oluşturur fakat temizleme sırasını durdurmaz.

#### b. Bakım Modu:

Bakımı yapılacak damperin MD01 kapatılır ve ekranda kapandı sinyali verir. PSD01 damperi kapatılır, hücre devre dışı bırakılır. Puls valflerin enerjisi kesilir. Ayrıca bakım tamamlandıktan sonra manuel damper (MD01) açılır. Ekranda açıldı sinyali görülür. Pnömatik damper açılır ve sistem devreye girer. Bu sistem 3 hücreden herhangi birisi için geçerlidir.

#### c. Filtre Altı Kül Transferi:

Filtre altı kül transferi 25m<sup>3</sup> lük Filtre altı kül silosuna (14) yapılmaktadır. Filtre altı kül nakli ile diğer ürün nakil işlemleri Multisiklon kül transferinde yapıldığı gibidir.

### **3.13. Ana Emiş Fanı ve Baca**

200 ton/günlük her iki sistemde tüm baca gazının emilmesini 40 m yüksekliğindeki 1 adet bacaya verilmesini sağlayan her bir hatta ait emiş fanı bulunacaktır. Bacaya verilen gazların emisyon kontrolü “**Sürekli Emisyon Kontrol Sistemi**” ile gerçekleştirilecektir.

#### **3.13.1. Çamur Depolama Siloları Koku Giderimi**

Yaş çamurun depolanacağı silolar için koku arıtma sistemi olarak biyofiltre tasarlanmıştır. 4 bölmeden oluşacak yer altı silosunun (çamur kabul tankı) her bir bölmesine ve yer üstü silolarına koku kontrol amaçlı olarak birer adet CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S ve CO dedektörleri eklenmiştir. Bu siloların üstü kapalıdır ancak yeraltı silosuna kamyon ile çamur dökümü yapılacağı zaman, tankın üstünde bulunan hidrolik kapak açılarak çamur dökümü yapılabilecektir. Dedektörlerden gelecek sinyale göre depo içerisindeki tehlikeli gaz seviyeleri takip edilebilecektir. Silolardan kötü hava frekans invertör ile çalıştırılan fanlar ile çekilerek yakma fırınına ya da biyofiltre ünitesine basılacaktır.

### **3.14. 400 Ton/Gün Kapasiteli Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisinde Kullanılan Pompa, Fan, Blower, Kompresörlere ait Teknik Bilgileri**

#### **3.14.1. Pompa Kullanım Yerleri ve Pompa Teknik Bilgileri:**

Akışkan yataklı fırının tasarımıyla ilgili genel yaklaşım aşağıda verildiği şekildedir:

➤ Fırın en az enerji tüketecek şekilde tasarlanacaktır (harici yakıt kullanımını mümkün olduğunca düşük). Ayrıca oluşacak fazla ısı elektrik enerjisi üretmek için kullanılacaktır.

➤ Her biri toplam kapasitenin %50 kapasitesinde, birbirinden bağımsız iki yakma hattı tesis edilecektir.

➤ Her bir yakma sisteminde şunlar olacaktır:

- Bağımsız çamur besleme pompa sistemi,
- Bağımsız çamur yakma sistemi,
- Bağımsız primer ısı geri kazanım sistemi,
- Bağımsız baca gazı arıtma sistemi,
- Bağımsız buhar kazanımı da ihtiva eden bağımsız enerji geri kazanım sistemi,
- Her iki hatta ortak bir adet türbin,

**Fırınları beslemek için yüksek basınçlı, mono pompalar tesis edilecektir.**

#### **a. Yaş Çamur Kabul Ünitesi (Yer Altı Çamur Depo Tankı)**

Bursa Doğu AAT ve diğer BUSKİ AAT'lerinden gelen dekantörde susuzlaştırmış %22-26 kuruluktaki susuzlaştırılmış çamur, kantarda tartıldıktan sonra kamyonlar vasıtası ile bir adet 4 bölmeli ve her bir bölmesi 750 m<sup>3</sup> kapasiteli ve toplam 3.000 m<sup>3</sup> hacimli bir yer altı silosuna boşaltılacaktır. Bölmelerin altında yer alan hidrolik kayar taşıma sistemi, çamuru orta kısımlardaki burgulu konveyörlere ileticek, konveyörler ise her bir bölmenin altında yer alan burgulu pompaları besleyecektir. Çamur, bu pompalar vasıtası ile ara yer üstü depolama silolarına basılacaktır.

#### **b. Yer Üstü Siloları**

Yer altı silosundan pompalanan çamurlar, 2 adet paralel çalışan 118 m<sup>3</sup>'lük yer üstü silolarında depolanacaktır. Çamur siloları tabanında da hidrolik kayar çerçeve bulunacak ve her bir silo altında yer alan 2 asıl burgulu pompa ile beslenecektir. Bu pompalar vasıtası ile çamur Akışkan Yataklı Fırın çevresinde birbirinden eşit uzaklıktaki enjektörle fırın içerisine gönderilecektir. Çamur deposu ve silolarından kaynaklanan kirli hava toplanacak ve biofiltre ile koku giderimine tabi tutulacaktır.

### **c. Fırın Besleme Pompalar**

Her bir fırın için 2 asıl pompa öngörülmüştür. Her çamur pompası yakma tesisinin her birinin ihtiyacı olan çamuru, gerekli besleme hızında, pompalama kapasitesine sahiptir.

Her bir çamur pompasından çıkan bir adet basınçlı çamur borusu, yakma fırını üzerinde yer alan, çamur enjeksiyon portunu besleyecektir; Borulama sistemi, gelen çamurun, fırının her enjeksiyon portunda düzgün ve eşit bir şekilde dağılımını temin edecek şekilde tasarlanmıştır.

### **d. Servis Suyu Temini**

Tesis içerisinde farklı üniteler için farklı kalitelere kullanım suyuna ihtiyaç olacaktır. Fırın spreyleme suyu, kazan besleme suyu, soğutma kulesi suyu, egzoz gazı arıtma sistemleri besleme suyu gibi. Bu kapsamda, mevcut tesis çıkış suyunun depolandığı depodan su emişi hamsu terfi pompaları ve arıtma üniteleri ön görülmüştür. Arıtılacak su başta soğutma kulesi besleme suyu, kazan besleme suyu ve scrubber yıkama suyu olarak kullanılacaktır.

Aşağıda da belirtildiği gibi, soğutma kulesi ihtiyacı olan su kalitesi, tesis çıkış suyu değerlerinin çok üstündedir. Ancak kazan besleme suyu kalitesi ise, demineralize su kalitesindedir. Bu yüzden ana arıtma ekipmanları tortu giderimi için kum filtresi, klor (yıkama kuleleri için) ve organik giderimi için aktif karbon ünitesi temin edilecektir.

### **3.14.2. Fan Kullanım Yerleri ve Pompa Teknik Bilgileri:**

#### **a. Hava Kirliliği Kontrol Sistemi (Egzoz Gazı Arıtma Sistemi)**

Her bir fırın çıkışına birer adet egzoz gazı arıtma sistemi dikkate alınmıştır. Bu sistemlerde; egzoz baca gazı öncelikli olarak çoklu siklondan sonrasında ise torba filtreden geçirilecektir. Torba filtre öncesinde Aktif karbon ve kireç dozajı yapılarak istenilen çıkış emisyon kirlilik değerleri sağlanmış olacak. Torba filtre çıkışında emniyet amaçlı dolgu yataklı yıkama kulesi tasarlanmıştır. Bu kulede şartname gereği sadece SO<sub>2</sub> ve toz giderimi planlanmaktadır.

#### **b. Çoklu Siklon**

Atık Isı Kazanından çıkan toz yüklü baca gazı partikül tutulması için seçilen 81 adet küçük siklondan oluşan çoklu siklon gövdesine girer. Baca gazının dairesel bir hareket içine girmesini sağlar.

Bu akış nedeniyle oluşan santrifüj kuvvet etkisi ile dış çeperlere doğru itilen 4 mikron üzerindeki partiküller yerçekimi ile her bir siklonun konik olan alt kısmına doğru yönelir. %75-%85 oranında tozdan ayrılan gaz ise siklon iç çıkış borusundan üst hücreye geçer ve ana gövde üzerindeki gaz çıkış ağzından Ana Fan tarafından emilir. Siklonun alt haznesinde biriken toz partikülleri pnömatik taşıma sistemi yolu ile kül silolarına yönlendirilir ve kamyonlar ile sistemden uzaklaştırılır.

### **c. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi**

Dolgu yataklı yıkama kulesi, kazan çalışması ile otomatik devreye girer. Yıkama suyuna daha önce ayarlanmış pH değerlerine ulaşıncaya kadar NaOH tankı, yıkama nozulları ile kimyasal enjekte eder. pH değeri ayarlanan 9-10 değerlerine ulaştığında kimyasal kesilir.

Gaz yıkama sıvısı tesisten gelen yaklaşık 70-80 m<sup>3</sup>/saat debideki kostikli suyun 40 m<sup>3</sup>/saat soğutucuya, 30 m<sup>3</sup>/saat olarak dolgu üzerine püskürtülür. Dolgu içerisinde aşağı kule haznesine yıkama suyu dökülür. Yukarıya doğru ise baca gazı DYYK üst noktadan ana sistem fanı tarafından emilir.

## 4. TEORİK ESASLAR ( BULGULAR VE TARTIŞMA )

### 4.1. Termodinamik Kanunları

Termodinamiğin birinci yasası genel olarak enerjinin korunduğunu işaret etmektedir. Bu yasaya göre enerji yok edilemez fakat şekil değiştirebilir. Enerjinin şekil değiştirmesi bir enerji türünün bir diğer enerji türüne dönüşümünü ifade eder. Hatta bazı süreçlerde bu dönüşümler zincirleme sürmektedir. Örneğin bir kömür yakan termik santralde kömür yakılarak kömürün kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Sonrasında bu ısı enerjisi hareket enerjisine, hareket enerjisi de mil işine dönüşür. Daha sonrasında ise nihai ürün olarak elektrik enerjisi üretilir. Enerjinin korunması ilkesinden yararlanılarak birçok makine ve cihaz üretilmektedir.

Termodinamiğin birinci yasası deneysel gözlemlere dayanarak, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular. (Çengel ve Boles, 2012).

#### 4.1.1. Sürekli akışlı açık sistemler (Kontrol hacmi) için enerji dengesi

Bir kontrol hacminde var olabilen enerji transferi ve yapılan işe ek olarak bir kütle akışıyla enerji bu sisteme girer ve ayrılır. Bu sistemde depolanan enerji miktarı sıcaklıktaki değişimler ve sisteme giren kütle miktarındaki artış veya azalışa bağlı olarak değişebilir. Sonuç olarak yine de toplam enerji korunur. Bu çalışmada incelenen kısımlar sürekli akışlı açık sistemlerdir.

Bu bilgiler ışığında bir sürekli akışlı kontrol hacmi için kütle dengesi (kütlenin korunumu) Eşitlik 4.1'deki gibi oluşturulur,

$$\frac{d}{dt} m_{sis} = \sum_i \dot{m}_{g,i} - \sum_j \dot{m}_{ç,j} \quad (4.1)$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde kütle birikimi gerçekleşmemektedir. Böylece Eşitlik düzenlendiğinde,

$$\sum_i \dot{m}_{g,i} = \sum_j \dot{m}_{ç,j} \quad (4.2)$$

Sürekli akışlı açık sistemler için enerji dengesi (enerjinin korunumu),

$$\frac{d}{dt} E_{sis} = \sum_i \dot{E}_{g,i} - \sum_j \dot{E}_{ç,j} \quad (4.3)$$

$\frac{d}{dt} E_{sis}$ , ifadesi sistemdeki iç, kinetik, potansiyel vb. enerji değişimlerini,  $\sum_i \dot{E}_{g,i} - \sum_j \dot{E}_{\zeta,j}$ ,

ifadesi ise birim zamanda ısı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişini belirtmektedir.

Eşitlik 4.4 daha açık bir şekilde ifade edildiğinde,

$$\frac{d}{dt} E_{sis} = \sum \dot{Q}_g - \sum \dot{Q}_\zeta + \sum \dot{W}_{sis,g} - \sum \dot{W}_{sis,\zeta} + \sum_i m_{g,i} \left( h + \frac{v_i^2}{2} + gz \right) - \sum_j m_{\zeta,j} \left( h + \frac{v_j^2}{2} + gz \right) \quad (4.4)$$

sadeleştirildiğinde,

$$\dot{Q}_g - \dot{W}_\zeta + \dot{m} \left( \Delta h + \frac{\Delta v^2}{2} + g \Delta z \right) = 0 \quad (4.5)$$

Sistemden iş çıkışının olmadığı biliniyorsa ve ayrıca kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilirse Eşitlik 4.5 aşağıdaki gibi düzenlenecektir,

$$\dot{Q} = \dot{m}(\Delta h) \quad (4.6)$$

Sabit basınçtaki özgül ısının ( $C_p$ ) sıcaklıktan bağımsız olduğu koşullarda, entalpi değeri Eşitlik 4.7 kullanılarak hesaplanabilir,

$$h = c_p(T - T_0) \quad (4.7)$$

Atığın yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisi değeri Eşitlik 4.8 kullanılarak hesaplanır,

$$\dot{Q}_{\text{kömür}} = \dot{m}_{\text{kömür}} H_u \text{ kömür} \quad (4.8)$$

#### 4.1.2. Birinci yasa verimi

Bu çalışmada analizi yapılan buhar kazanının birinci yasa verimi genel olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir,

$$\eta_1 = \frac{\text{Üretilen enerji}}{\text{Verilen enerji}} = \left( \frac{\dot{Q}_g - \dot{Q}_\zeta}{\dot{Q}_g} \right) \quad (4.9)$$

$$= \frac{W_{net} + \sum Q_{faydalanılan}}{Q_g}$$

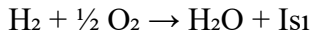
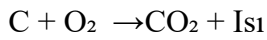
## 4.2. Evsel Atık Yakma Tesisi Kütle Dengesi

### 4.2.1. Kütle Dengesi Hesabı

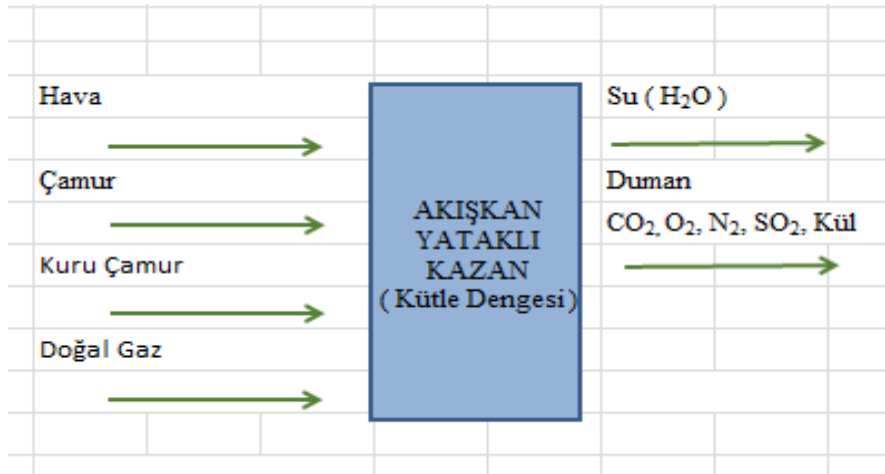
Genel ilişki sürekli akışlı bir sistemde

$$\sum m_{\text{çıkış}} = \sum m_{\text{giriş}} \quad (4.10.)$$

olarak yazılabilir. Akışkan yataklı kazanda normal çalışma rejiminde hava, çamur, ve doğalgaz girecektir. Hava ve ve çamur karışım olduklarında hava için yaklaşık olarak  $N_2$ ,  $O_2$ , nem ( $H_2O$ ) veya kuru hava olarak  $N_2$ ,  $O_2$ , dikkate alınır. Atık Çamur ise su ve kuru çamurdan oluşur. Çamur içerisinde ise organik bileşenler olarak C, H, S, O, N ile mineral ve tuzlardan oluşan kül bulunur. Akışkan yatakta oluşan reaksiyon sonucunda ideal yanma halinde



Reaksiyonları beklenir. Ancak bunların yanında çok az miktarda eksik yanma ürünleri ve diğer reaksiyonlar oluşur. Buna göre akışkan yatak için;



Şekil 4.1. Evsel Atık Kütle Dengesi Diyagramı

yazılabilir. Buna göre madde cinslerinin giriş ve çıkışta sabit kalmayacağından

$$m_{g_{n2}} + m_{g_{o2}} + m_{g_{h2}} + m_{g_s} + m_{g_c} = m_{ç_{H_2O}} + m_{ç_{C_2O}} + m_{ç_{N_2}} + m_{ç_{S_2O}} + m_{ç_N} \quad (4.12.)$$

olacaktır.

Elementel analizi verilen yakıtın 100 kg. için analiz ek alınırsa kuru yakıt içindeki 1 kmol 100 kg yakıt için;

$$m_y = n_y * M_y = 100 = 1 * M_y \rightarrow M_y = 100 \text{ kg. olur.}$$

$$M_i = n_i * M_i \rightarrow n_i = m_i / M_i \text{ olduğundan olduğundan yakıtın molekülü}$$



$$\eta = mc / 12 = 100 / 12 = 8,333$$

$$\eta = mH / 1 = 100 / 1 = 100$$

$$\eta = mS / 32 = 100 / 32 = 3,125$$

$$\eta = mO / 16 = 100 / 16 = 6,25$$

$$\eta = mN / 14 = 100 / 14 = 7,142$$

Hesabından;

$C_{nc}$ ,  $H_{nh}$ ,  $S_n$ ,  $O_{no}$ ,  $N_{nn}$ ,  $K_nK$  Kuru çamur kapalı formülü olarak yazılarak yanma için gerekli  $O_2$  minimum değeri ;

$$\eta_{o_2min} = \eta_{o_2min} = \eta_c + \eta H/4 + \eta s + \eta_o / 2 \quad (4.13.)$$

olarak hesaplanır. Yanma için hava kullanıldığından

$$4,76 * \eta_{kuru\ hava} = 3,76 * \eta_{N_2} + O_2 \quad (4.14.)$$

Olduğundan gerekli minimum hava miktarı

$$\eta_{kuru\ hava\ min.} = 4,762 * \eta_{o_2min} \text{ olur.} \quad (4.15.)$$

Mol miktarları hacimlerle orantılı olduğundan

$$v_{HK\ min.} = 4,762 * v_{O_2min} \text{ yazılabilir.} \quad (4.16.)$$

Gerçek yanmada fazla hava vermek gerektiğinden

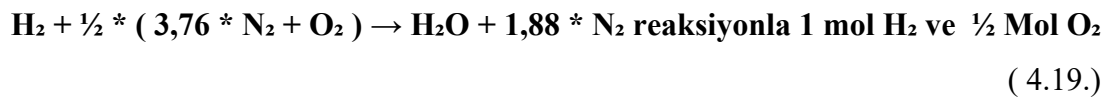
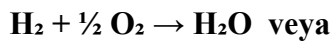
$\lambda$  Hava Fazlalık katsayısı olmak üzere

$$v_{H.K.} = \lambda * v_{H.K.min} \text{ bulunur.} \quad (4.17.)$$

İlave olarak havanın izafi neminden dolayı az miktarda su buharı gelir. Mol sayıları molekül kütlesi ile çarpılarak kütleler bulunur.

$$4,762 * \eta_{hk} ( 1 + 1,602 * W ) = 3,762 * N_2 + O_2 + 7,76 * W * \eta_{hk} \quad (4.18.)$$

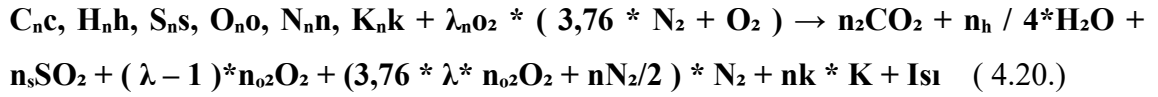
Nemli hava içinde Su Buharı olan havadır. Yanma sırasında H'den dolayı yanma sonucu su meydana gelir. Buna göre;



Reaksiyonu ile 1 mol  $H_2O$  çıkar veya  $\frac{1}{2}$  mol  $O_2$  reaksiyonu ile 1 mol  $H_2O$  çıkar veya 1 kg. Hidrojen ile 8 kg. Oksijenle reaksiyona girecek 9 kg. suyu oluşturur. Buna göre kuru hava için  $\lambda$  fazla hava kullanıldığından;

$C_{nc}$ ,  $H_{nh}$ ,  $S_{ns}$ ,  $O_{no}$ ,  $N_{nn}$ ,  $K_nk$  çamur yakıt molekülü ve  $(CH_4)$  doğalgaz molekülünün yanması gözönüne alınarak

Giren Hava;



Yazılarak buradan kütle dengesi yazılır.

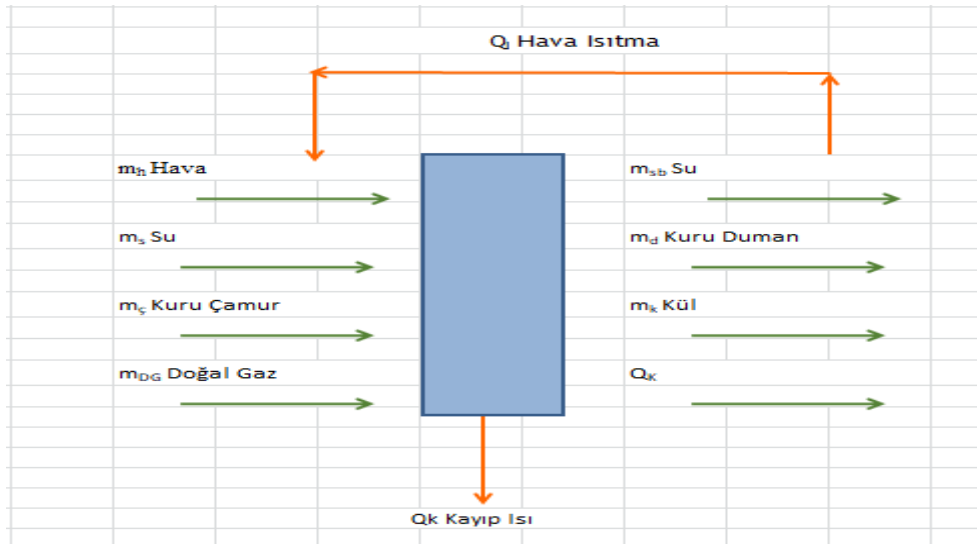
Isı değiştiricilerinde giriş ve çıkışta madde cinsi reaksiyon olmadığından, madde miktarı madde girişi ve çıkışı yoksa sabit kalır.( Kl Hariç ).

Buna karşılık sıcaklıklar değiştiğinden hacimler değişir. Ancak normal şartlar için htop. tanımlanırsa buda sabit kalır.

#### 4.2.2. Enerji Dengesi Hesabı

Olay genel olarak düşünülürse giren ve çıkan kütlelerin enerjileri yanında reaksiyonlar ısı kayıp ve ilaveleri gözönüne alınmalıdır. Buna göre Akışkan Yataklı Kazan için enerji dengesi TDI kanununda iş akış verişi olmadığından kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilebileceğinden

$$\sum Qi = \sum m * h - \sum m * h \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (4.21.)$$



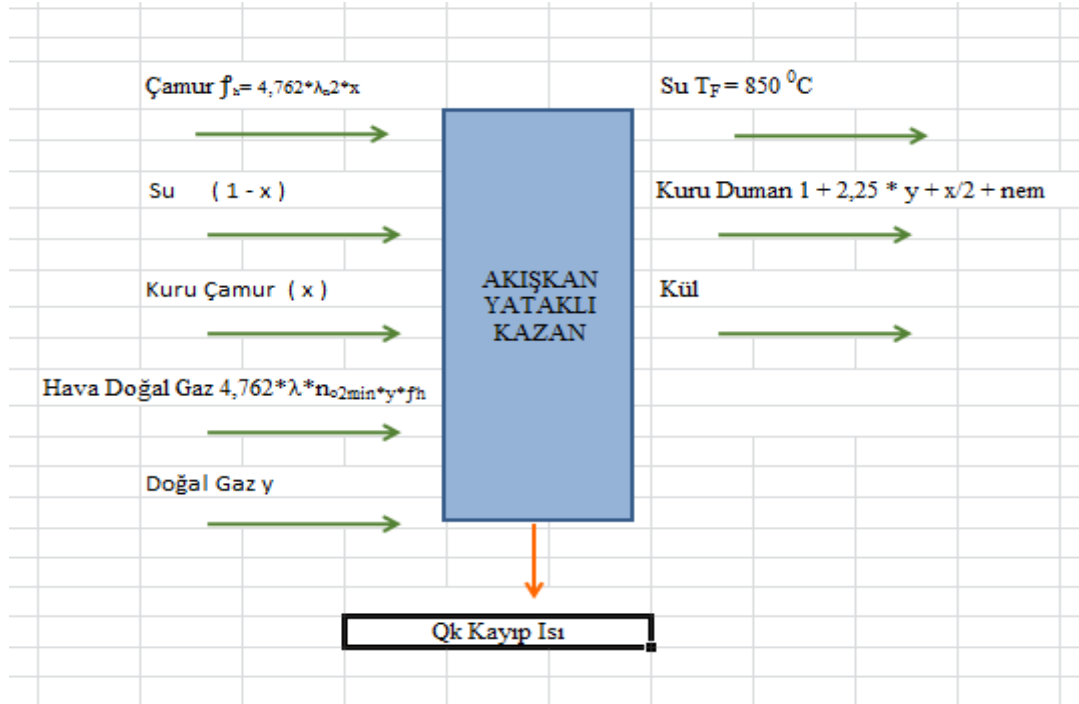
şekil 4.2. Enerji Dengesi Akış Diyagramı

Hesaplar birim atık çamur için yazılabilir. Buna göre 1 kg. amurdan **X ( kuruluk derecesi )** oranında kuru madde vardır. Doğrudan yanma için atık çamurun enerjisi yeterli olmadığından ilave enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun için ilave yakıt gerekir. Bu Doğal Gaz seçilmiştir. Ayrıca giren hava ve atık çamurun enerjisi ile ısıtılması ile ilave yakıt miktarı azaltılabilir. nemli katkı sağlar. Bunun için hava ısıtması yaygın olarak kullanılır. Bu durum giren havanın sıcaklığını arttıracaktır.

Diğer bileşenler normal çevre şartlarında ( 25 °C ) kabul edilerek hesap yapılabilir. X kg. çamurun yanması için  $4,762 * \lambda_{nO_2} * X$  kadar hava gerekir. Ayrıca Y kadar doğal gaz ve bunun yanması içinde  $4,762 * \lambda_{nO_2} * Y$  kadar hava gerekir. Akışkan yataklarda gerekli hava ihtiyacı genelde 1,4 altındadır. Isıl verim için düşük olması istenir. Ancak iyi bir yanma için değerler büyür. Burada  $\lambda = 1,4$  alınmıştır. Isıl verim için düşük olması istenir. Ancak iyi bir yanma için değerler büyür. Burada  $\lambda = 1,4$  alınmıştır. İncelenen çamur için  $n_{O_2} = H_o * ( \text{Üst Isıl Değer} )$  orantılı alınabilir. Bununla birlikte çamurun analizinden alınan değerlerde kullanılabilir. Doğalgaz elemntel analizi ve ısıl değeri sabit olarak düşünülmüştür. Ancak değişkende alınabilir.

Akışkan Yataklı Kazanlarda ocak sıcaklığı 800 – 850 °C aralığında değişsede 850 °C civarında olması beklenir. Bu çalışmada duman sıcaklığı 850 °C alınmıştır.

Bu kabullere göre genel halde enerji denklemi ( sıcak hava  $T_h$  ) için;



Şekil 4.3. Akışkan Yataklı Kazan Akış Diyagramı

Çıkan su miktarı çamurdaki su ( 1 – x ) yanma sonucu oluşan su ( çamur için = X /2, Doğalgaz için = 2,25 \* y ) ve hava nemi olarak alınabilir. Hava nemi ihmal edilerek hesap yapılırsa hata kabul edilebilir. ( < %1 ) Yanma kaybı ile karşılanabilir.

Buna göre enerji korunumundan;

$$\sum m g * h_g = \sum m c * Q_k$$

$$4,762 * f_h * \lambda * ( n_{O_2} m_a * X + n_{O_2} m_a * y ) * C_{pO} * ( (T_h - T_{zi}) + (1 - X) * C_{pO} * (T_{si} - T_n) + X * H_{uc} + Y * H_{u1g} = (1 + 2,25 * Y - X/2) * h_{s850} + ((4,762 * f_h * \lambda * (n_{O_2} \text{ min. çamur} + n_{O_2} \text{ min. doğalgaz}) + X/2 - 2,25) * C_{pOd} * T_{fmax} + Q_k \quad (4.22.)$$

Burada  $H_{o2}$  çamurun  $H_{o,dg}$ . Doğalgazın Üst Isıl değerleri olup bunlar ölçümle elde edilen değerlerdir. Doğalgaz gaz halinde olup hacimsel olarak tanımlandığında

$Y = f_{dg} \cdot v_G$  olarak yazılarak gaz hacmi cinsinden hesaplanır. Burada  $f_{dg}$ . Norm şartlarda gaz yoğunluda hesaplanır. ( 0 °C, 1atm. ). Duman gazının 850 °C sıcaklıkta entalpisi 1000 kJ/kg. civarındadır. Girişte hava hariç sıcaklık 25 °C,  $\lambda = 1,4$  alınarak hesap yapılır. Düzenlenirse 1000 kg. çamur için

$$v_G = \frac{280 - (0,28 + H_{UG} + 0,147 \cdot n_{o2} \cdot T_{SH} - 134 \cdot n_{o2 \min} + 110) \cdot X}{1 + 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot T_{SH}} \quad (4.23.)$$

elde edilir. Burada  $n_{o2}$  ve  $H_{uc}$  kabul edilirse

$$v_G = \frac{280 - (0,146 + H_{UG} + 0,147 \cdot 10^{-3} \cdot H_{SC} \cdot T_{SH} + 110) \cdot X}{1 + 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot T_{SH}} \quad (4.24.)$$

yazılabilir. Eğer hava ısıtması yapıyor ise yani ısı geri kazanım yok ise

$$v_G = 280 - (0,146 \cdot H_{uc} + 110) \cdot X \quad (4.25.)$$

olur. Çamur doğalgaz ve ilave yakıt kullanmadan yanabilmesi halinde  $v_G = 0$  alınacağından

**Isı Geri Kazanmalı Sistemlerde;**

$$X = \frac{1000}{H_{OC} + 0,525 \cdot n_{O2} \cdot T_{SH} - 480 \cdot n_{O2} + 393} \quad (4.26.)$$

veya

$$X = \frac{2000}{H_{OC} + 10^{-3} \cdot n_{O2} \cdot T_{SH} + 760} \quad (4.27.)$$

**Isı Geri Kazanımsız Sistemde ise;**

$$X = \frac{1000}{H_{OC} - 480 \cdot n_{O2} + 393} \quad (4.28.)$$

veya

$$X = \frac{2000}{H_{UC} + 760} \quad (4.29.)$$

sonucu elde edilir. Diğer yandan geri kazanımlı ısı için ise ısı değiştiriciden;

$$Q_T = 4,762 \cdot f_n \cdot \lambda \cdot (n_{O2 \min,c} \cdot X + n_{O2 \min,d} \cdot Y) \cdot C_{po,h} \cdot (T_{SH} - T_{2T}) \quad (4.30.)$$

Yazılabilir.

$$Q_T = 8,54 * (n_{o2min.c} * X + n_{o2min.d} * Y) * (T_{SH} - T_{2T}) \quad (4.31.)$$

$$Q_T = 8,54 * (n_{o2min.c} * X + n_{o2min.d} * V) * (T_{SH} - T_{2T}) \quad (4.32.)$$

Yaklaşık olarak;

$$n_{o2min.} = X * H_{OC} \quad (4.33.)$$

Yaklaşımı ile

$$Q_T = 8,54 * \dot{u} * H_{OC} * (X * 0,7 * vG) * (T_{SH} - T_a) \quad (4.34.)$$

1 kg/saat çamur debisi için ısıtma kapasitesi elde edilir.

Enerji dengesi daha genel formda bütün değişiklikleri dikkate alarak

$$\text{Gerekli doğal gaz miktarı; } \quad V_G = \frac{A}{B} \quad (4.35.)$$

Formunda yazılabilir.

$$A = \frac{2210 + 2,23 * T_F - 4 * T_C}{X} +$$

$$+ (200 + 0,11 * T_F) * n_H + (1,4 * T_F - 1,38 * T_H) * \lambda * n_{o2} + 3,15 * T_C - 1,21 *$$

$$* T_F - 4 * H_{UG} + (10 * T_F - 8,7 * T_H) * q * \lambda * n_{o2} * T_H^2 * 10^{-5} - 2210 \quad (4.36.)$$

$$B = \frac{H_{UG}}{3650} +$$

$$+ 36 * (T_{SH} - T_F) * \lambda * 10^{-4} - 0,00075 * T_F + (22 * T_{SH} - 25,5 + 2300) * q * \lambda * T_H^2 * 10^{-8} - 1 \quad (4.37.)$$

Olacaktır. Çevre hava sıcaklığı, nemi, yakıtın elementel analizi, çamur sıcaklığı, gibi bilgilerde dahil edilebilir.

Bu genel yaklaşımda gaz tüketiminin olmaması hali için  $vG = 0$  yazılarak

$$vG = \frac{(200 + 0,11 * T_F) * n_H + (1,4 * T_F - 1,38 * T_H) * \lambda * n_{o2} + 3,15 * T_C - 1,21 * T_F - 4 * H_{UG} + (10 * T_F - 8,7 * T_H) * q * \lambda * n_{o2} * T_H^2 * 10^{-5} - 2210}{2210 + 2,23 * T_F - 4 * T_C} \quad (4.38.)$$

Sonucu elde edilir.

Çizelge 4.1. Çamur Kuruluk Derecesi % 20'e göre Termodinamik Hesaplar

TERMODİNAMİK HESAPLARI : ( Çamur kuruluk derecesi : 0,20 )			
Çamur kuruluk derecesi	X	0,2	
Fırın yanma odası sıcaklığı	T <sub>F</sub>	850	°C
1. Eşanjörden çıkan ısıtılmış hava sıcaklığı	T <sub>SH</sub>	900	°C
Çevre hava sıcaklığı	T <sub>H</sub>	15	°C
Çamur giriş sıcaklığı	T <sub>C</sub>	15	°C
Kuru çamur üst ısıl değeri	H <sub>UC</sub>	3.000,0	kcal/kg
Doğalgaz üst ısıl değeri	H <sub>UG</sub>	34.518,0	kJ/Nm <sup>3</sup> (8250 kcal/Nm3)
Çamur içindeki Hidrojen oranı	Y <sub>H</sub>	4,6	
Çamur içindeki Karbon oranı	Y <sub>C</sub>	43,4	
Çamur içindeki Kükürt oranı	Y <sub>S</sub>	0,6	
Çamur içindeki Oksijen oranı	Y <sub>O</sub>	19,8	
Hava fazlalık katsayısı	λ	1,45	
İzafi nem	φ	0,5	
Çamurdaki kül miktarı	m <sub>k</sub>	0,29333	kg/sn
Yakma fırını ve bağlantılarında beklenen ısı kayıpları	Q <sub>k</sub>	80	kW
1 kmol çamurun teorik yanması için gerekli oksijen miktarı	N <sub>O2</sub>	4,17	kmol
	A	7.073,7	
	B	8,18	
Gaz tüketimi	V <sub>G</sub>	865,2	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam
Emniyet Faktörü		1,00	
Gaz tüketimi-düzeltilmiş		865,2	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam
Herbir fırın için gaz tüketimi		432,6	Nm <sup>3</sup> /h

Çizelge 4.2. Çamur Kuruluk Derecesi % 22'ye göre Termodinamik Hesaplar

TERMODİNAMİK HESAPLARI : ( Çamur kuruluk derecesi : 0,22 )			
Çamur kuruluk derecesi (DS ratio)	X	0,22	
Fırın yanma odası sıcaklığı (Furnace combustion room temperature)	T <sub>F</sub>	850	°C
1. Eşanjörden çıkan ısıtılmış hava sıcaklığı (Fluidized air temperature)	T <sub>SH</sub>	649	°C
Çevre hava sıcaklığı (Ambient temp.)	T <sub>H</sub>	15	°C
Çamur giriş sıcaklığı (Sludge design temp)	T <sub>C</sub>	15	°C
Kuru çamur üst ısıl değeri (Sludge calorific value)	H <sub>UC</sub>	3.400,0	kcal/kg
Doğalgaz üst ısıl değeri (NG Calorific value)	H <sub>UG</sub>	34.518,0	kJ/Nm <sup>3</sup> (8250 kcal/Nm3)
Çamur içindeki Hidrojen oranı (Hydrogen ratio in sludge)	Y <sub>H</sub>	4	
Çamur içindeki Karbon oranı (carbon ratio in sludge)	Y <sub>C</sub>	34,2	
Çamur içindeki Kükürt oranı (Sulphur ratio in sludge)	Y <sub>S</sub>	1,3	
Çamur içindeki Oksijen oranı (oxygen ratio in sludge)	Y <sub>O</sub>	18,7	
Hava fazlalık katsayısı (excess air ratio)	λ	1,5	
İzafi nem (relative humidity)	φ	0,5	
Çamurdaki kül miktarı (ash amount in sludge)	m <sub>k</sub>	0,3233	kg /sn
Yakma fırını ve bağlantılarında beklenen ısı kayıpları (heat loss resulted from furnace and its connections)	Q <sub>k</sub>	80	kW
miktarı (Stoichiometric oxygen amount needed for 1kmol sludge combustion)	N <sub>O2</sub>	3,31	kmol
	A	4.906,6	
	B	6,82	
Gaz tüketimi (NG consumption)	V <sub>G</sub>	719,6	Nm <sup>3</sup> /h
Emniyet Faktörü		1,04	
Gaz tüketimi-düzeltilmiş		748,4	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam
Herbir fırın için gaz tüketimi		374,2	Nm <sup>3</sup> /h

Çizelge 4.3. Çamur Kuruluk Derecesi % 24'e göre Termodinamik Hesaplar

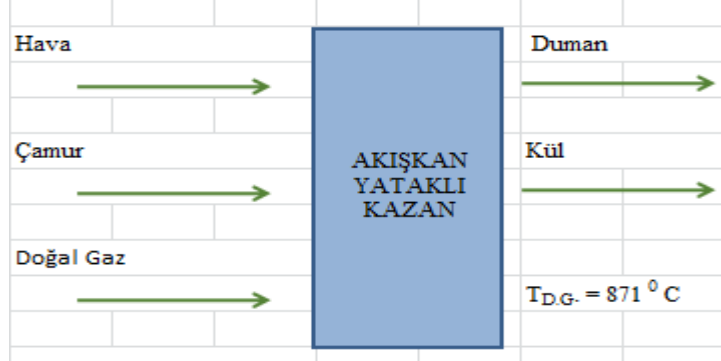
TERMODİNAMİK HESAPLARI : ( Çamur kuruluk derecesi : 0,24 )					
Çamur kuruluk derecesi	X	0,24			
Fırın yanma odası sıcaklığı	T <sub>F</sub>	850	°C		
1. Eşanjörden çıkan ısıtılmış hava sıcaklığı	T <sub>SH</sub>	596	°C		
Çevre hava sıcaklığı	T <sub>H</sub>	15	°C		
Çamur giriş sıcaklığı	T <sub>C</sub>	15	°C		
Kuru çamur üst ısıl değeri	H <sub>UC</sub>	3.800,0	kcal/kg		
Doğalgaz üst ısıl değeri	H <sub>UG</sub>	34.518,0	kJ/Nm <sup>3</sup> (8250 kcal/Nm <sup>3</sup> )		
Çamur içindeki Hidrojen oranı	Y <sub>H</sub>	4,7			
Çamur içindeki Karbon oranı	Y <sub>C</sub>	41,3			
Çamur içindeki Kükürt oranı	Y <sub>S</sub>	1			
Çamur içindeki Oksijen oranı	Y <sub>O</sub>	20,3			
Hava fazlalık katsayısı	λ	1,45			
İzafi nem	φ	0,5			
Çamurdaki kül miktarı	m <sub>k</sub>	0,29333	kg/sn		
Yakma fırını ve bağlantılarında beklenen ısı kayıpları	Q <sub>k</sub>	80	kW		
1 kmol çamurun teorik yanması için gerekli oksijen miktarı	N <sub>O2</sub>	4,01	kmol		
	A	2.309,5			
	B	6,58			
Gaz tüketimi	V <sub>G</sub>	351,1	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam		
Emniyet Faktörü		1,14			
Gaz tüketimi-düzeltilmiş		399,9	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam		
Herbir fırın için gaz tüketimi		200,0	Nm <sup>3</sup> /h		

Çizelge 4.4. Çamur Kuruluk Derecesi % 26'ya göre Termodinamik Hesaplar

TERMODİNAMİK HESAPLARI : ( Çamur kuruluk derecesi : 0,26 )					
Çamur kuruluk derecesi	X	0,26			
Fırın yanma odası sıcaklığı	T <sub>F</sub>	850	°C		
1. Eşanjörden çıkan ısıtılmış hava sıcaklığı	T <sub>SH</sub>	565	°C		
Çevre hava sıcaklığı	T <sub>H</sub>	15	°C		
Çamur giriş sıcaklığı	T <sub>C</sub>	15	°C		
Kuru çamur üst ısıl değeri	H <sub>UC</sub>	4.200,0	kcal/kg		
Doğalgaz üst ısıl değeri	H <sub>UG</sub>	34.518,0	kJ/Nm <sup>3</sup> (8250 kcal/Nm <sup>3</sup> )		
Çamur içindeki Hidrojen oranı	Y <sub>H</sub>	4,6			
Çamur içindeki Karbon oranı	Y <sub>C</sub>	43,4			
Çamur içindeki Kükürt oranı	Y <sub>S</sub>	0,7			
Çamur içindeki Oksijen oranı	Y <sub>O</sub>	19,8			
Hava fazlalık katsayısı	λ	1,45			
İzafi nem	φ	0,5			
Çamurdaki kül miktarı	m <sub>k</sub>	0,29333	kg/sn		
Yakma fırını ve bağlantılarında beklenen ısı kayıpları	Q <sub>k</sub>	80	kW		
1 kmol çamurun teorik yanması için gerekli oksijen miktarı	N <sub>O2</sub>	4,17	kmol		
	A	-686,5			
	B	6,41			
Gaz tüketimi	V <sub>G</sub>	-107,0	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam		
Emniyet Faktörü		1,00			
Gaz tüketimi-düzeltilmiş		-107,0	Nm <sup>3</sup> /h/ toplam		
Herbir fırın için gaz tüketimi		-53,5	Nm <sup>3</sup> /h		

Verilen kütle ve ısı denge esaslarına göre BUSKİ arıtma tesisinin hesapları % 24 kuruluk 3.800 kcal / kg. ısı değerinde çamur için normal hava şartları alınarak yapılmıştır. Akışkan Yataklı Kazan hattı için hesapta dökümü aşağıda verilmiştir.

**a ) Akışkan Yataklı Kazan:**



Şekil 4.4. Akışkan Yataklı Kazan Giren – Çıkan Ürün Akış Diyagramı

Çizelge 4.5. Akışkan Yataklı Kazan ( Reaktör ) Isı Kütle Dengesi Hesapları

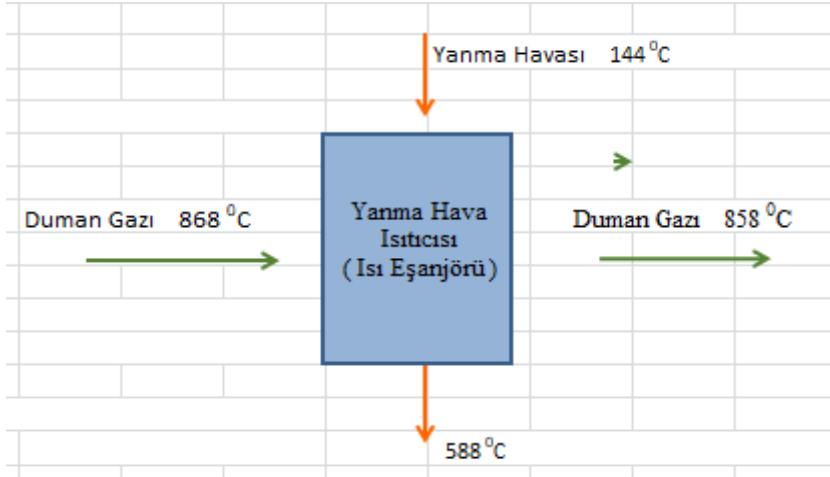
ISI KÜTLE DENGESİ HESAPLARI			
HANKIN ENVIRONMENTAL SYSTEMS INC.			
Proje:	Bursa	(AKIŞKAN YATAKLI REAKTOR)	
<b>Giriş Materyalleri:</b>			<b>KG/SA</b>
	Atık Besleme Çamuru (kuru)		2.000
	Atık Besleme Çamuru içindeki su		6.333
	Yanma Havası (kuru)		18.516
	Atık Yanma Havası içindeki Su		186
	Yakıt (Doğalgaz)		136
	Boşaltma Havası		505
	Sprey Suyu		0
		<b>TOPLAM:</b>	<b>27.677</b>
<b>Çıkış Materyalleri:</b>			<b>KG/SA</b>
	O2		1.337
	N2		14.742
	CO2		3.380
	SO2		40
	HCL		0
	HF		0
	PARTİKÜL MADDE		528
	H2O		7.651
		<b>TOPLAM:</b>	<b>27.678</b>



Giren Isı:		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
Atık Besleme Çamuru (kuru)		2.000	0	0
Atık Besleme Çamuru içindeki su		6.333	0	0
Yanma Havası (kuru)		18.516	143	2.655.108
Atık Hava içindeki Su		186	850	158.090
Yakıt (Doğalgaz)		136	0	0
Boşaltma Havası		505	25	12.517
Sprey Suyu		0		0
Atıktaki Yanıcıların Yanması		1.472	5.345	7.867.033
Yakıtın Yanması		136	12.128	1.650.000
			<b>TOPLAM:</b>	<b>12.342.747</b>
Çıkan Isı:		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
871 C	O2	1.337	208	277.858
	N2	14.742	228	3.363.219
	CO2	3.380	221	745.623
	SO2	40	159	6.370
	HCL	0		0
	HF	0		0
	PARTİKÜL MAC	528	214	112.947
	H2O	7.651	1.016	7.775.015
	R&C			61.714
			<b>TOPLAM:</b>	<b>12.342.747</b>

#### b) Birincil Is Değiştirici:

Kazan çıkışında ısı değiştiriciye girişe kadar ısı kayıpları nedeniyle 3 °C sıcaklık düşümü olduğu kabul edilerek ısı değiştiricide 658 °C ye çıktığı kabul edilerek hesap yapılmıştır. Bu arada yanma havası 144 °C girip 588 °C çıkmaktadır. Isı – Kütle denge hesapları aşağıda verilmiştir.



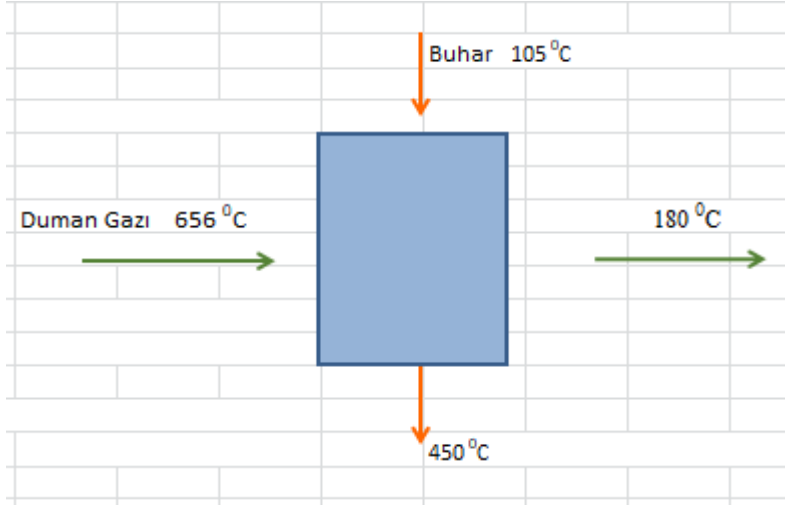
Şekil 4.5. Birincil Isı Değiştirici Akış Diyagramı

Çizelge 4.6. Birincil Isı Eşanjörü Isı Kütle Dengesi Hesapları

Proje:	Bursa	(BİRİNCİL ISI EŞANJÖRÜ)		
				(KG/SA)
<b>Giriş Materyalleri (Baca Gazı):</b>				
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller		O2		1.337
Giriş 100.410 Am3/sa		N2		14.742
Çıkış 83.583 Am3/sa		CO2		3.380
		SO2		40
		HCL		0
		PARTİKÜL MADDE		528
		H2O		7.651
		TOPLAM		27.678
<b>Giriş Materyalleri (Ön-Isıtılmış Hava):</b>				
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller		Kuru Hava		18.331
Giriş 17.881 Am3/sa		Havadaki Su		185
Çıkış 37.845 Am3/sa		TOPLAM		18.516
				<b>TOPLAM: 46.194</b>
<b>Giren Isı (Baca Gazı):</b>				
868 C		(KG/SA)	KCAL/KG	KCAL/SA
	O2	1.337	209	279.063
	N2	14.742	226	3.328.155
	CO2	3.380	227	767.182
	SO2	40	158	6.352
	HCL	0	168	0
	PARTİKÜL MADD	528	298	157.263
	H2O	7.651	999	7.647.026
	TOPLAM			12.185.040
<b>Giren Isı (Ön-Isıtılmış Hava):</b>				
144 C	Kuru Hava	18.331	31	564.784
	Havadaki Su	185	645	119.368
	TOPLAM			684.152
				<b>TOPLAM: 12.869.192</b>
<b>Çıkan Isı (Baca Gazı):</b>				
658 C		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
	O2	1.337	154	205.420
	N2	14.742	166	2.447.095
	CO2	3.380	164	552.899
	SO2	40	116	4.637
	HCL	0	125	0
	PARTİKÜL MADD	528	224	118.540
	H2O	7.651	882	6.749.574
	TOPLAM			10.078.164
<b>Çıkan Isı (Ön-Isıtılmış Hava):</b>				
588 C	Kuru Hava	18.331	143	2.629.180
	Havadaki Su	185	859	159.060
				2.788.240
	R&C Kaybı			2.794
				<b>TOPLAM: 12.869.198</b>

**c ) Buhar Üretecek Isı Değiştirici:**

Yanma hava ısıtıcısından çıkan duman fazlası buhar üretmek üzere Atık Isı kazanına ( Buharlı Isı Değiştiricisi ) girmektedir. Buraya gelinceye kadar ısı kayıplarından dolayı 2 °C sıcaklık düştüğü kabul edilmiştir. Çıkışta ise filtre yapısı ve asit yoğuşması dikkate alınarak 180 °C kabul edilmiştir. Kütle kaybı bulunmadığı kabul edilmiştir. Hesaplar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.6. Buhar Üretecek Isı Değiştirici Akış Diyagramı

Türbinde kullanılacak buhar 450 °C sıcaklıkta ve 40 Bar basınçta olacaktır. Çıkış buna göre belirlenmiştir. Girişte ara buhar ile ısıtılmaktadır.

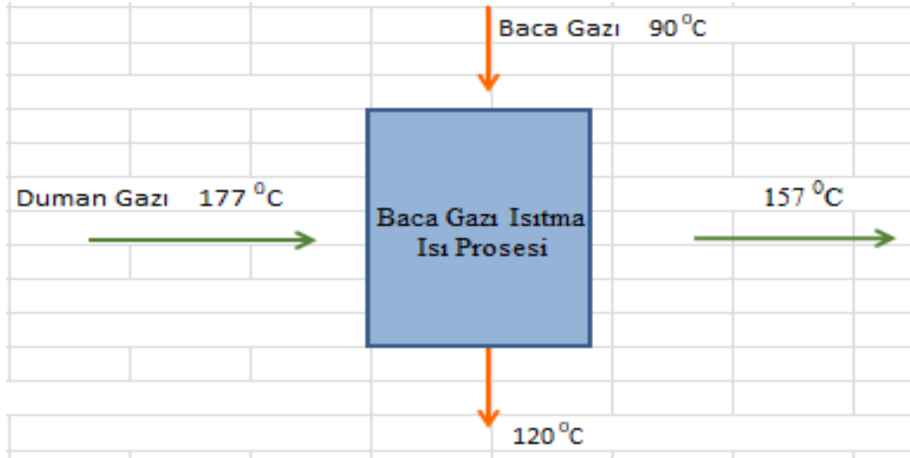
Çizelge 4.7. Atık Isı Kazanı Isı Kütle Dengesi Hesapları

Proje:	Bursa	[ATIK ISI KAZANI]		
<b>Giren Materyaller (Baca Gazı):</b>				(KG/SA)
		O2		1.337
656 C		N2		14.742
		CO2		3.380
		SO2		40
		HCL		0
		PARTİKÜL MADDE		528
		H2O		7.651
			TOPLAM:	27.678
<b>Giren Materyaller (Kazan Besleme Suyu):</b>				
105 C		H2O		6.056
			TOPLAM GİREN:	33.734
<b>Çıkan Materyaller (Baca Gazı)</b>				(KG/SA)
		O2		1.337
180 C		N2		14.742
		CO2		3.380
		SO2		40
		HCL		0
		PARTİKÜL MADDE		528
		H2O		7.651
			TOPLAM:	27.678
<b>Çıkan Materyaller (Kazan)</b>				
		Buhar		6.008
		İstim Boşaltma Suyu		61
			TOPLAM:	6.068
			TOPLAM ÇIKAN:	33.746

			TOPLAM:		
Giren Isı (Baca Gazı):		KG/SA	KCAL/KG		KCAL/SA
656 C	O2	1.337	153		204.454
	N2	14.742	165		2.435.535
	CO2	3.380	163		550.087
	SO2	40	115		4.614
	HCL	0	125		0
	PARTİKÜL MADD	528	224		118.027
	H2O	7.651	881		6.737.956
			TOPLAM:		10.050.672
Giren Isı (Kazan İlave Suyu):		KG/SA	KCAL/KG		KCAL/SA
105 C	H2O	6.056	89		541.584
			TOPLAM:		541.584
				TOPLAM GİREN:	10.592.256
Çıkan Isı (Baca Gazı):		KG/SA	KCAL/KG		KCAL/SA
180 C	O2	1.340	37		49.090
	N2	14.773	41		604.763
	CO2	3.387	36		122.263
	SO2	40	26		1.049
	HCL	0	31		0
	PARTİKÜL MADD	529	57		30.389
	H2O	7.667	661		5.070.135
			TOPLAM:		5.877.688
Çıkan Isı (Kızgın Buhar):		KG/SA	KCAL/KG		KCAL/SA
450 C	Buhar	6.008	777		4.668.991
	İstim Boşaltma	61	433		26.306
	R&C				40.287
			TOPLAM:		4.735.583
				TOPLAM ÇIKAN:	10.613.271

#### d ) Baca Gazı Isıtma Isı Değişiricisi:

Baca çıkışında duman gazı sıcaklığının 120 °C üzerinde olması ve su buharı yoğunlaşmasının olmaması istenmektedir. Bunun yanında duman gazı içindeki su buharının buharlaşma enerjisinden istifade edilmek istenmektedir. Ayrıca emiş kontrolü için duman gazları yıkama prosesinden geçmekte bu nedenle sıcaklığı düşmektedir. Duman gazının filtrede ısı kaybı nedeniyle 3 °C düştüğü kabul edilerek 177 °C girip, 157 °C çıkmakta, baca gazı ise 90 °C girip 120 °C çıkmaktadır. Enerji – Kütle dengesi aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.7. Baca Gazı Isıtma Isı Değişiricisi Akış Diyagramı

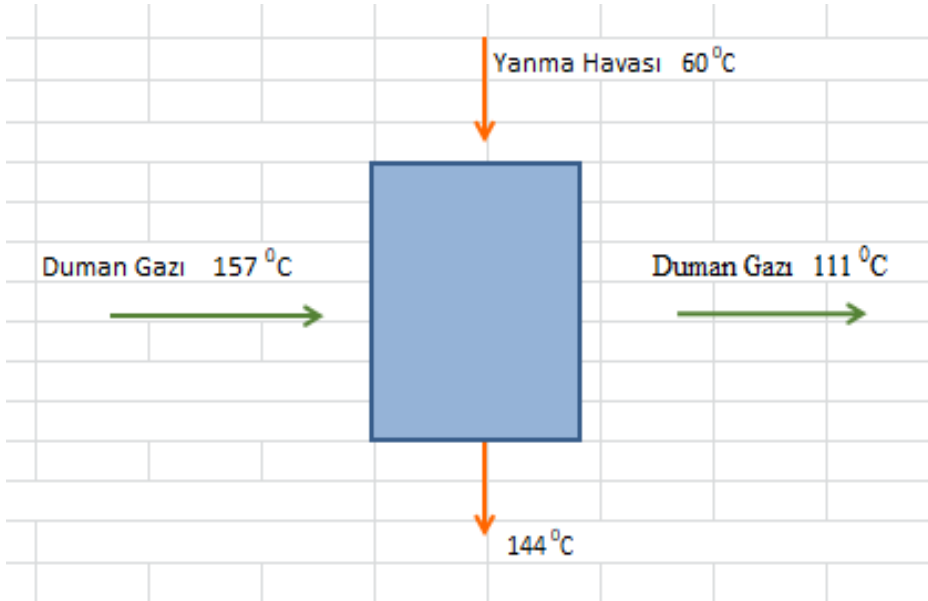
Çizelge 4.8. Atık Isı Kazanı Isı Kütle Dengesi Hesapları

Project:	Bursa	(DUMAN ÖNLEYİCİ ISITMA EŞANJÖRÜ)		
				(KG/SA)
<b>Giren Materyaller (Baca Gazı):</b>		O2		1.337
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller		N2		14.742
Giriş	41.746 Am3/sa	CO2		3.380
Çıkış	40.437 Am3/sa	SO2		40
		HCL		0
		PARTİKÜL MADDE		2
		H2O		7.651
		TOPLAM		27.152
<b>Giren Materyaller (Temizlenmiş Gaz):</b>				
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller		Temiz Kuru Gaz		19.499
Giriş	26.673 Am3/sa	Gazdaki Su		1.841
Çıkış	29.553 Am3/sa	TOPLAM		21.340
		<b>TOPLAM:</b>		<b>48.493</b>
<b>Giren Hava (Baca Gazı):</b>		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
177 C	O2	1.337	36	48.139
	N2	14.742	40	593.194
	CO2	3.380	35	119.817
	SO2	40	26	1.029
	HCL	0	31	0
	PARTİKÜL MADD	2	56	133
	H2O	7.651	660	5.049.821
	TOPLAM			5.812.133
<b>Giren Hava (Temiz Gaz):</b>				
90 C	Temiz Kuru Gaz	19.499	18	347.197
	Gazdaki Su	1.841	621	1.142.688
	TOPLAM			1.489.886
		<b>TOPLAM:</b>		<b>7.302.018</b>

Çıkan Hava (Baca Gazı):		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
157 C	O2	1.337	31	42.121
	N2	14.742	35	519.935
	CO2	3.380	31	104.337
	SO2	40	22	897
	HCL	0	27	0
	PARTİKÜL MADD	2	50	117
	H2O	7.651	651	4.980.733
	TOPLAM			5.648.138
Çıkan Hava (Temiz Gaz):				
120 C	Temiz Kuru Gaz	19.499	25	489.146
	Gazdaki Su	1.841	634	1.167.542
	TOPLAM			1.656.687
	R&C Kaybı			1.660
			<b>TOPLAM:</b>	<b>7.306.486</b>

#### e) Hava Ön Isıtması Isı Değiştiricisi:

Baca gazının yıkamaya girmeden önce sahip olduğu enerjiden yararlanmak üzere yanma havasının ön ısıtması yapılmaktadır. Bu amaçla duman gazları 157 °C'den 111 °C değişken yanma hava sıcaklığı 60 °C'den 144 °C sıcaklığa çıkmaktadır. Enerji – Kütle dengesi aşağıda verilmiştir.



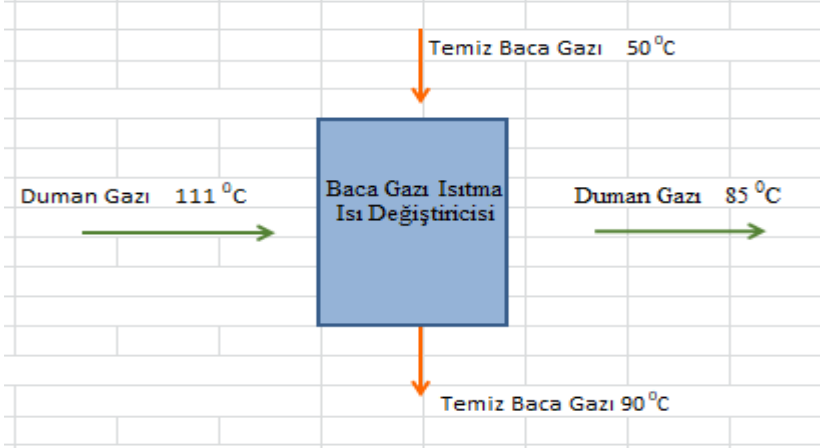
Şekil 4.8. Hava Ön Isıtması Isı Değiştiricisi Akış Diyagramı

Çizelge 4.9. Yanma Havası Havası Ön Isıtma Eşanjörü Isı Kütle Dengesi Hesapları

Proje:	Bursa	(YANMA HAVASI ÖN ISITMA EŞANJÖRÜ)			
					(KG/SA)
<b>Giren Materyaller (Baca Gazı):</b>		O2			1.337
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller		N2			14.742
Giriş	40.463 Am3/sa	CO2			3.380
Çıkış	24.014 Am3/sa	SO2			40
		HCL			0
		PARTİKÜL MADDE			2
		H2O			7.651
		TOPLAM			27.152
<b>Giren Materyaller (Hava):</b>					
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller				Kuru Soğutma Havası	18.331
Giriş	14.065 Am3/sa	Am3/sa		Soğutma Havaındaki Su	185
Çıkış	17.872 Am3/sa	Am3/sa		TOPLAM	18.516
				<b>TOPLAM:</b>	<b>45.668</b>
<b>Giren Hava (Baca Gazı):</b>			KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
157 C	O2		1.337	31	42.121
	N2		14.742	35	519.935
	CO2		3.380	31	104.337
	SO2		40	22	897
	HCL		0	27	0
	PARTİKÜL MADD		2	50	117
	H2O		7.651	651	4.980.733
	TOPLAM				5.648.138
<b>Giren Hava (Hava):</b>					
60 C	Kuru Soğutma Havası		18.331	11	194.579
	Soğutma Havaındaki Su		185	607	112.438
					307.016
				<b>TOPLAM:</b>	<b>5.955.154</b>
<b>Çıkan Hava (Baca Gazı):</b>			KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
111 C	O2		1.337	21	28.264
	N2		14.742	24	350.339
	CO2		3.380	20	69.119
	SO2		40	15	596
	HCL		0	18	0
	PARTİKÜL MADD		2	33	79
	H2O		7.651	630	4.821.537
	TOPLAM				5.269.935
<b>Çıkan Hava (Hava):</b>					
144 C			18.331	31	564.784
			185	645	119.368
					684.152
	R&C Kaybı				686
				<b>TOPLAM:</b>	<b>5.954.772</b>

#### f) Baca Gazı Ön Isıtması Isı Değişiricisi:

Yoğuşmaya giren Duman gazı buradan 50 °C civarında çıkmaktadır. Bunun yıkayıcıya gelen duman gazıyla ön ısıtması yapılmaktadır. 111 °C sıcaklıkta gelen duman gazı 85 °C sıcaklığa düşerken temiz baca gazı 50 °C sıcaklıktan 90 °C sıcaklığa çıkmaktadır. Emisyon – Kütle dengesi aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.9. Baca Gazı Ön Isıtması Isı Değişiricisi Akış Diyagramı

Çizelge 4.10. Baca Gazı Ön Isıtması Isı Değişiricisi Isı Kütle Dengesi Hesapları

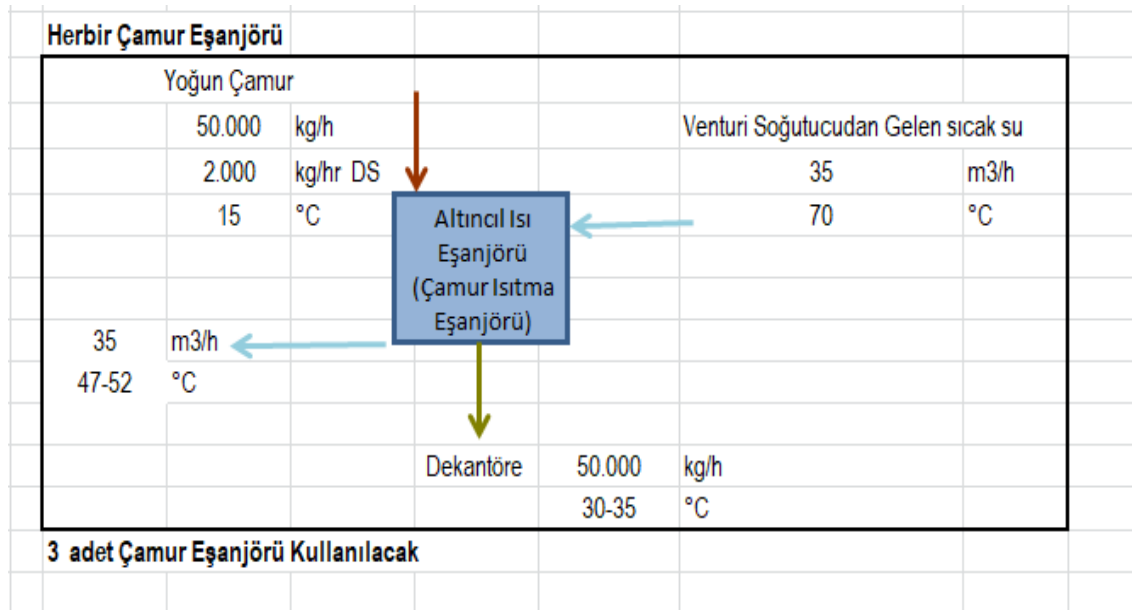
Proje:		Bursa		(DUMAN ÖNLEYİCİ ÖN ISITMA EŞANJÖRÜ)	
				(KG/SA)	
<b>Giren Materyeller (Baca Gazı):</b>				O2	1.337
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller				N2	14.742
Giriş	36.645 Am3/sa	CO2	3.380		
Çıkış	34.587 Am3/sa	SO2	40		
		HCL	0		
		PARTİKÜL MADDE	2		
		H2O	7.651		
		TOPLAM			27.152
<b>Giren Materyeller (Temiz gaz):</b>				Kuru Temiz Gaz	19.499
Giren Materyaller = Çıkan Materyaller				Gazdaki Su	1.841
Giriş	23.201 Am3/sa	TOPLAM			21.340
Çıkış	26.654 Am3/sa				
				<b>TOPLAM:</b>	<b>48.493</b>
<b>Giren Isı (Baca Gazı):</b>			KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
111 C	O2	1.337	21		28.264
	N2	14.742	24		350.339
	CO2	3.380	20		69.119
	SO2	40	15		596
	HCL	0	18		0
	PARTİKÜL MADD	2	33		79
	H2O	7.651	630		4.821.537
	TOPLAM				5.269.935
<b>Giren Isı (Temiz Gaz):</b>					
50 C	Kuru Temiz Gaz	19.499	8		160.260
	Gazdaki Temiz Su	1.841	603		1.110.082
	TOPLAM				1.270.342
				<b>TOPLAM:</b>	<b>6.540.276</b>



Çıkan Isı (Baca Gazı):		KG/SA	KCAL/KG	KCAL/SA
85 C	O2	1.337	15	20.393
	N2	14.742	17	253.407
	CO2	3.380	15	49.384
	SO2	40	11	426
	HCL	0	13	0
	PARTİKÜL MADD	2	24	57
	H2O	7.651	618	4.731.022
	TOPLAM			5.054.690
Çıkan Isı (Temiz Gaz):				
90 C	Kuru Temiz Gaz	19.499	18	347.197
	Gazdaki Temiz Su	1.841	621	1.142.688
	TOPLAM			1.489.886
	R&C Kaybı			1.493
			<b>TOPLAM:</b>	<b>6.546.069</b>

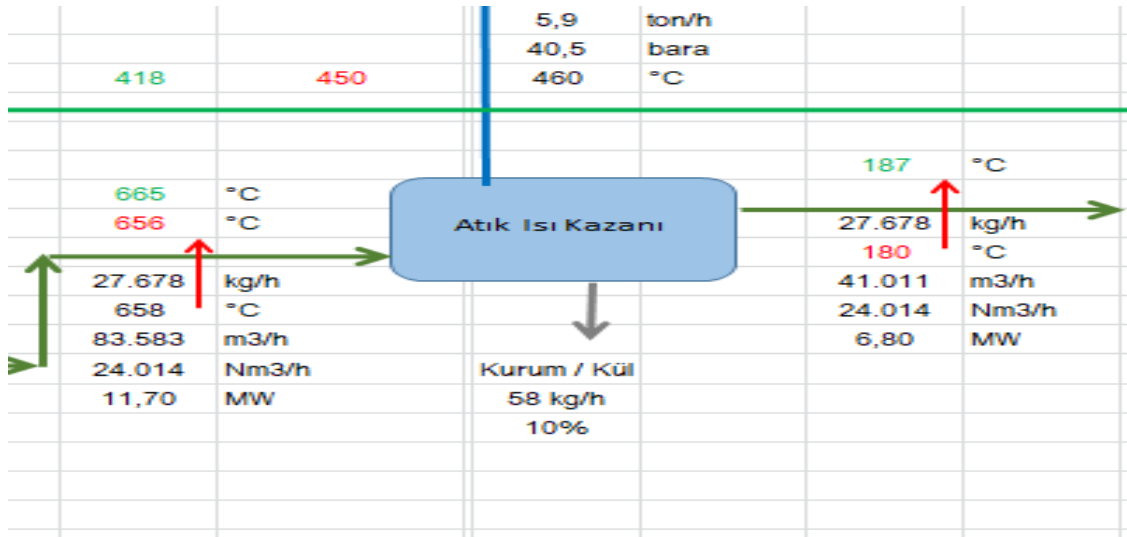
### g ) Akım Şeması:

Atık çamur yakma prosesi üzerinde tüm sonuçların yer aldığı akım şeması aşağıda verilmiştir. Gelen yakıt yanma işleminden baca çıkışına kadar geçtiği işlemler ve hesap sonucu beklentileri verilmiştir.

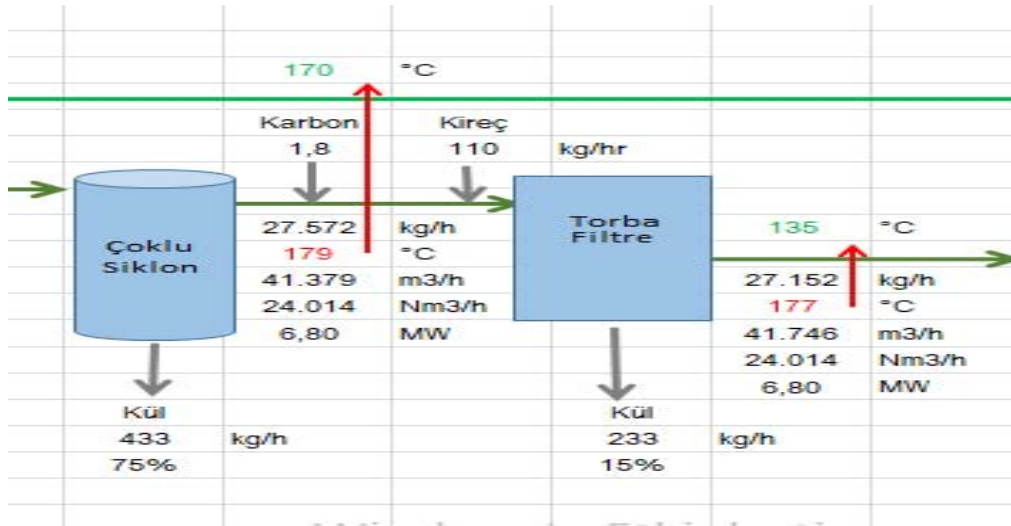


Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı

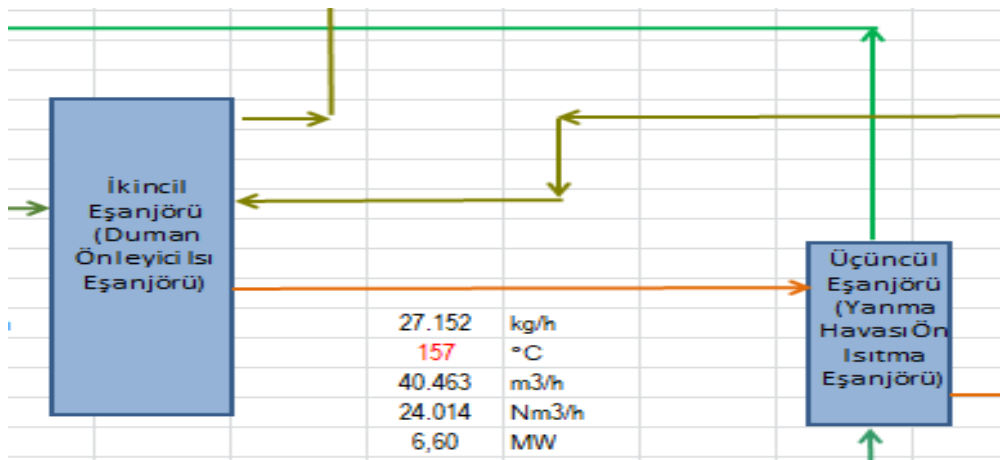




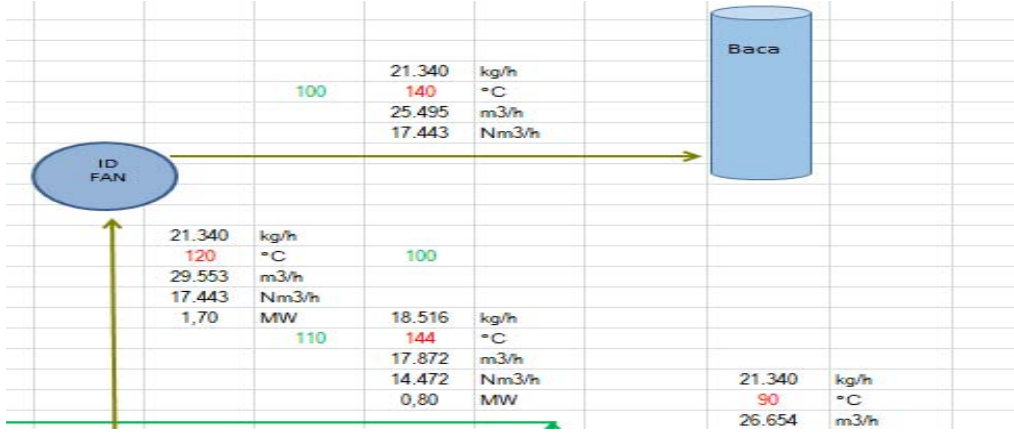
Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



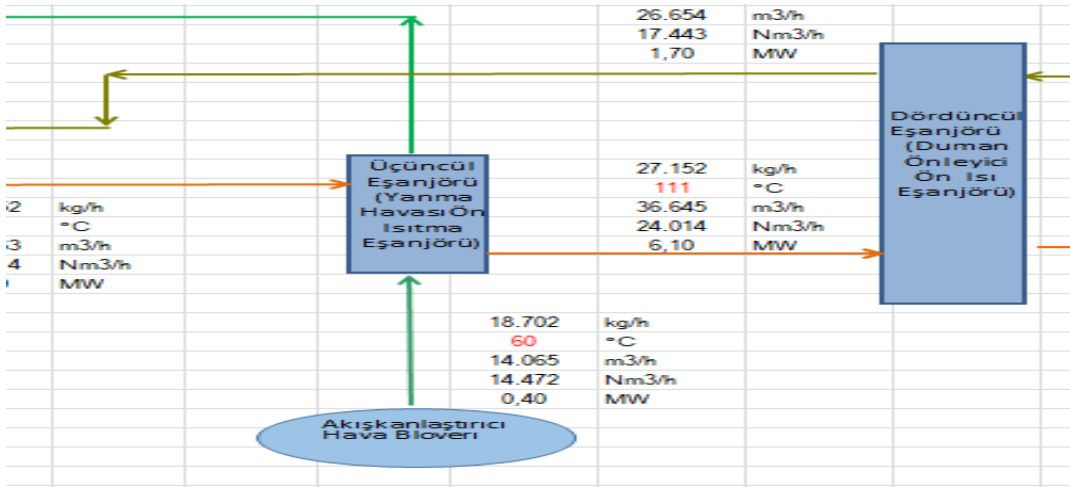
Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



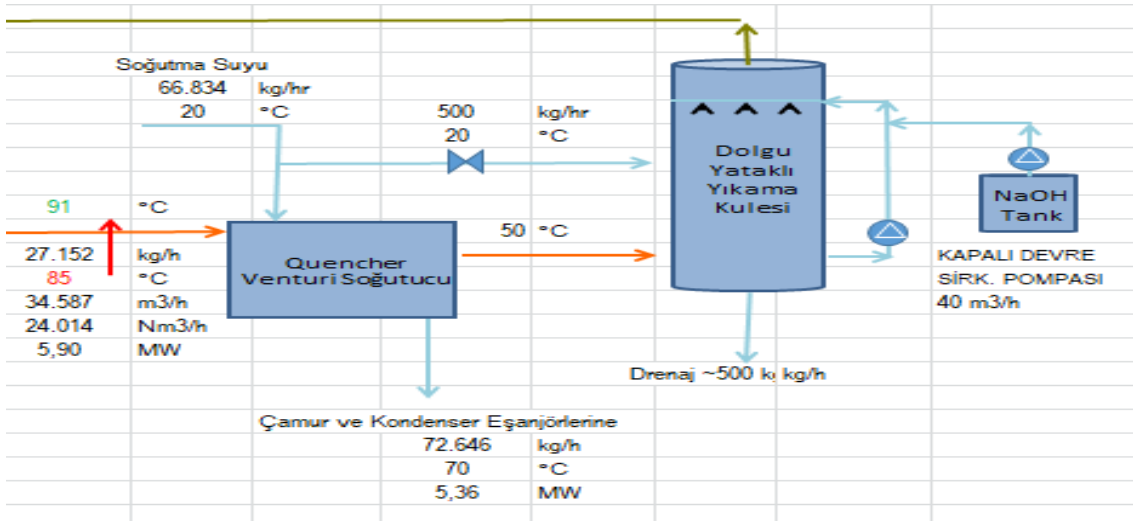
Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



Şekil 4.10. Isı Kütle Dengesi Akış Diyagramı



### 4.3. Isı ve Kütle Dengesi Tabloları (Yakma Fırını)

Akışkan yataklı yakma fırını ile ilgili ısı ve kütle dengesi hesapları şartnamede verilen üç olası seçenek baz alınarak oluşturulmuştur. Buradaki hesaplar her bir 48 ton/gün kuru madde kapasitedeki yakma fırını içindir.

Aşağıda ısı-kütle dengesi tablosunda belirtilen değerler, şartnamede verilen dizayn değerleri ve 15°C çamur sıcaklığına göre hesaplanmış değerlerdir.

Çizelge 4.11. Yakma Fırını Isı Kütle Dengesi Çizelgesi

Parametre (Herbir hat için)	En Düşük İşletim Koşulları		Düşük İşletim Koşulları		Normal İşletim Koşulları		En İyi İşletim Koşulları	
	Kg/h	Kcal/h	Kg/h	Kcal/h	Kg/h	Kcal/h	Kg/h	Kcal/h
<b>Fırına GİREN:</b>								
Katı atıklar	2,000	7,675,362	2,000	7,675,362	2,000	7,675,362	2,000	7,675,362
Atık su	8,000	168,890	7,083	149,530	6,333	133,704	5,691	120,143
Takviye yakıtı	490 (575 Nm <sup>3</sup> /h)	4,743,43	260 (375 Nm <sup>3</sup> /h)	3,094,43	135 (200 Nm <sup>3</sup> /h)	1,649,958	-	-
Sogutma suyu	-	-	-	-	-	-	53	1,123
Sogutma havası (kuru)	1,300	15,495	1,300	15,495	1,300	15,495	1,300	15,495
Akışkanlaştırma havası (kuru)	19,296	3,047,652	18,150	3,047,652	18,200	3,056,048	14,972	2,514,019
Havadaki nem	508	456,805	479	430,203	455	408,466	410	404,157
Kum	28	130	28	130	28	130	26	121
<b>TOPLAM GİREN:</b>	<b>31,532</b>	<b>16,198,234</b>	<b>29,300</b>	<b>14,498,424</b>	<b>28,351</b>	<b>12,937,938</b>	<b>24,494</b>	<b>10,730,462</b>
<b>Fırından ÇIKAN:</b>								
Kuru baca gazları	18,832	4,613,089	19,650	4,351,338	19,588	4,337,619	17,288	3,828,921
Su buharı	9,765	9,975,362	8,900	9,091,732	7,575	7,738,182	6,705	6,849,453
Kül	907	168,230	722	134,014	550	99,110	473	88,451
Kum	28	5,296	28	5,236	28	5,236	26	4,862
Isı kayıpları	-	829,481	-	829,481	-	757,802	-	-
<b>TOPLAM ÇIKAN:</b>	<b>31,532</b>	<b>14,498,424</b>	<b>29,300</b>	<b>14,498,424</b>	<b>28,351</b>	<b>12,937,938</b>	<b>24,494</b>	<b>10,730,462</b>

### 4.4. Atık Isı Kazanı ve Buhar Türbini

Akışkan yataklı fırından çıkan egzoz gazından kızgın buhar üretecek 2 adet atık ısı kazanlarına gelecektir. Atık ısı kazanlarında 16-18 Bar/455°C'de kızgın buhar üretilerek buhar türbinine gönderilecektir. Degazör için gerekli buhar, buhar domlarından alınacaktır. Buhar türbininden çıkan kondens suyu kondenserde soğutularak degazöre gönderilecektir.

Buhar türbininde sorun çıkması durumunda prosesin kesintiye uğramaması için atık ısı kazanlarında üretilen buhar, basınç düşürme vanası ve atemperatör kullanılarak by-pass hattından kondensere gönderilecektir. Kondenser ve soğutma kulesi kapasitesi by-pass hattına göre belirlenmiştir. Atık ısı kazanları, su borulu ve cebri sirkülasyonlu tiptedir. Su hacminin az olması devreye girme süresini minimuma indirecektir.

Çizelge 4.12. Buhar Türbini Teknik Verileri

	<u>Seneryo-1</u>	<u>Seneryo-2</u>	<u>Seneryo-3</u>
Kazan sayısı	2	2	2
Çıkış Gaz Sıcaklığı (°C)	200	200	200
Türbin Adet	1	1	1
Buhar Türbini Buhar Debisi (kg/h)	12,000	11,800	10,000
Buhar Türbini Giriş Buhar Basıncı (bar)	40	40	40
Buhar Türbini Giriş Buhar sıcaklığı (°C)	450	450	450
Buhar Türbini Jeneratör Çıkışı (kWh)	2600	2500	2000
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı (°C)	20-30	20-30	20-30
Soğutma Kulesi Besi Suyu (m <sup>3</sup> /h)	15	15	15
<u>Demineralize Su İhtiyacı (m<sup>3</sup>/h)</u>	0,2	0,2	0,2

#### 4.5. Akışkanlaştırma Havası Isı Geri Kazanımı (Birinci Isı Eşanjörü)

Sistemin ana felsefesi baca gazının enerjisinin optimum olarak kullanılması üzerine kurulmuştur. Bu amaçla fırından çıkan sıcak baca gazları öncelikle birincil ısı eşanjörüne gönderilir. Bu sayede akışkanlaştırıcı hava blowerlerinden ve ileriki ısı kazanım sistemlerinden gelen 144 C sıcaklığındaki hava Birincil Isı Eşanjöründe 868 C sıcaklıktaki fırın baca gazının ısısı ile 588 C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra fırındaki kum yatağın altına beslenir. Bu sayede yanma işleminin devamlılığı sağlanmış olur.

#### 4.6. Isı Geri Kazanım Eşanjör Sistemi

Bu sistem 3 adet farklı Isı Eşanjöründen oluşacaktır. Bunlar akışkanlaştırıcı hava ısıtma, baca gazı duman önleme ve ön ısıtma eşanjörüdür. Bu ısı değiştiricilerinin kullanılmasındaki amaç sistemin ısı verimliliğini arttırırken bir yandan da gerekli ısıtma işlemlerini gerçekleştirmektir. Bu ekipmanlar sayesinde blower çıkışında 60 C derece olan akışkanlaştırma havası 140 C dereceye çıkarılır ve baca gazı sıcaklığı kademeli olarak önce 85 C dereceye düşürülüp sonra 120 C dereceye çıkartılır. Böylece ANA EMİŞ FANI sonrası 120 C dereceden 140 C dereceye çıkan baca gazının, bacadan çıkarken yoğunlaşma kaynaklı ve estetik olmayan duman görüntüsü de önlenmiş olacaktır.

## 4.7. Emisyon Kontrol Tesisi, Bertaraf Uygulamaları

### 4.7.1. Multisiklon ve Multisiklon Dizayn Özellikleri

Siklon çıkışı Jet Pulse bulunduğundan dirençleri düşük olacak şekilde seçilmiştir.

Dizayn Kapasitesi: 45.000 m<sup>3</sup>/sa

Çalışma Sıcaklığı: 180 °C

Multisiklon Gövde Malzemesi: AISI 304 – 3mm

Multisiklon Adedi: 81

Siklon Başına Debi: 555,56 m<sup>3</sup>/sa

Siklon Giriş Hızı: 22,8 m/sn

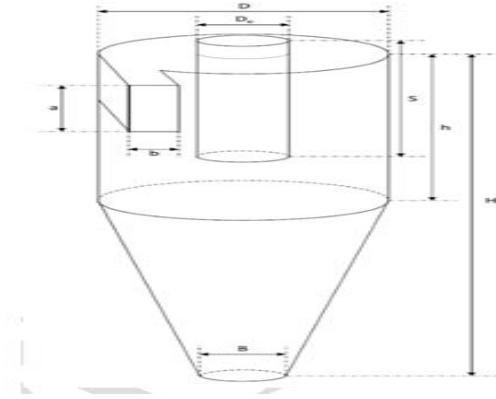
Siklon Çıkış Hızı: 11,68 m/sn

Siklon Diferansiyel Fark Basıncı: 13 mbar

Yaklaşık Verim: %75 - 85

Siklon Tipi: MS 9x9

Gövde İzolasyon Alanı: 45 m<sup>2</sup> – (Gövde izolasyon alanı için gerekli boyutlar Sayfa 17



Şekil 4.11. Multisiklon

### 4.7.2. Reaktör ve Reaktör Dizayn Özellikleri

Reaktör Tipi: RE2400

Gaz Debisi: 45.000 m<sup>3</sup>/saat

Reaktör Çapı: Ø2400mm

Gövde Malzemesi: AISI304-3mm

Reaktör Boyu: 13.000mm

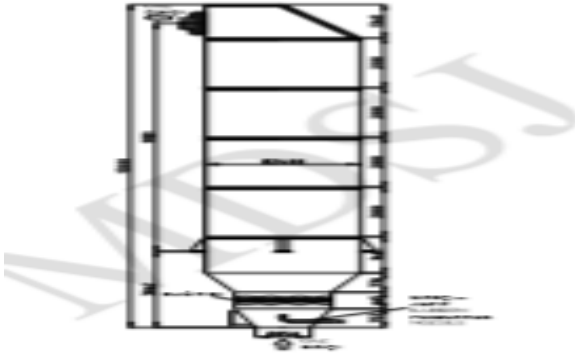
Dikey Gaz Hızı: 2,76 m/sn

Temas Süresi: 4,7 sn Reaktör

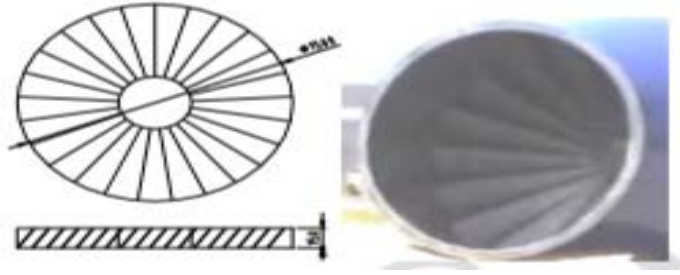
İzolasyon Alanı: 100 m<sup>2</sup>

Çalışma Sıcaklığı: 180 °C





Şekil 4.13. Reaktör

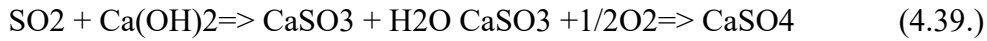
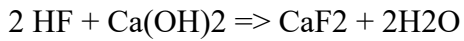
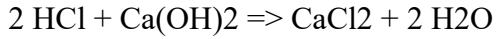


Şekil 4.13. Reaktör dağıtıcısı genel görünümü

#### 4.7.3. Baca Gazı Sönmüş Kireç (Ca(OH)<sub>2</sub>) Enjeksiyonu

Sönmüş kireç doğrudan baca gazı içine enjekte edilir. Kireç püskürtüldüğü noktada reaksiyon başlar. Filtre yüzeyinde de devam eder ve SO<sub>2</sub> azalır.

Ca(OH)<sub>2</sub> reaksiyonu ile aşağıdaki gazların tepkimeleri verilmiştir.



olarak sonuçlanır.

#### 4.7.4. Jet Pulse Filtre ve Jet Pulse Filtre Dizayn Özellikleri

3 mm AISI 304 malzemeden cıvata ve kaynak birleştirilmiş ve gövde içinde dikey hava hızı 0,75m/sn geçmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Sistem, gövde dışı 80 mbar vakuma dayanıklı filtre dış yüzeyinde 40x60x5mm dikey ve yatay takviyeli, üstte çabuk açılıp kapanan bakım kapakları, basınçlı hava bağlantı delikleri, fark basınç sensörleri, ölçüm rakorları, 5mm kalınlıkta torba ve kafes çapına uygun bağlantı delikleri ve gaz giriş bağlantı flanşları ile komplektir.

**a. GÖVDE:**

Tip: # MD-T528-U3,6

Gaz Akışı: m<sup>3</sup>/sa 45.000

Filtre Toplam Brüt Yüzeyi: m<sup>2</sup> 954

Net yüzey alan:5 m<sup>2</sup> 636

Filtrasyon Hızı: m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dk. 1,18

Çıkış Toz Emisyon Değeri: mg/Nm<sup>3</sup> 10

Filtre Basınç Kaybı: Max. mBar 14

Basıncılı Hava Sarfıyatı: m<sup>3</sup>/dak. 0,96

Gerekli Hava Basıncı: Bar 6

İmalat: AISI 304 Kaynaklı ve Civatalı

Kompartıman Adedi: # 2+1 Adet (1 Yedek)

Gövde Kalınlığı: mm 3 (AISI 304)

Ayna Sacı Kalınlığı: mm 5 (AISI 304) Gövde Dayanımı mBar 80

**b. Bunker:**

3mm AISI 304 malzemedden cıvata ve kaynak birleştirmeli, epidyem contalı 60° min.açılı, yanda çabuk açılıp kapanan bakım ve kontrol kapağı ile komple bunker.

**Bunker Adedi: 3**

**Isıtma: # 15 kw**

**c.Torba:**

Cam Elyaf Üzeri Teflon Membran Kaplı, üst bağlantı çift keçe segmanlı, boyuna çift dikişli, kalınlık 1,7mm, yoğunluk 0,29gr/cm<sup>3</sup>, örnek parçada 200x50mm de paralel deformasyon hız 200mm/dk, gerilme direnci uzunlamasına 1700N, çapraz 1200N

Torba Tipi : Cam Elyaf Üzeri Teflon Membran Kaplı Menşei # BWF

Adet: Adet 528

Sıra En: Adet 48

Sıra Boy: Adet 11

Çap: mm Ø160

Uzunluk: mm 3600

**d.Kafes:**

4mm kalibreli telden dikeyde 20 adet, yatayda her 200mm de bir halka, altta basınç sönümlenme kapağı, üstte monoblok AISI 304 sacdan sıvama venturisi punta kaynağı ile imal, torbaya zarar verecek tüm çapaklar temizlenmiş kafesler tek parçadan oluşur.

Kafes Tipi: # Silindirik

Menşei: # MDSJ

Adet Adet: 528 Sıra

En Adet: 48 Sıra

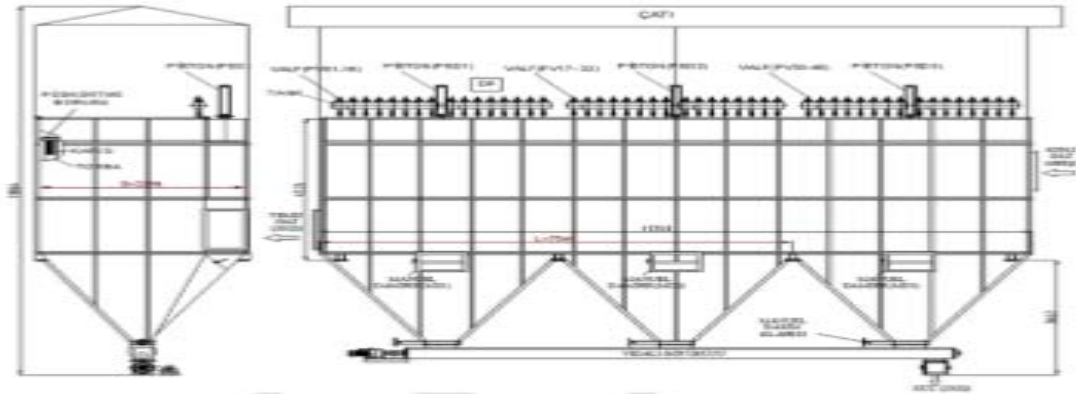
Boy Adet: 11

Çap: mm Ø150

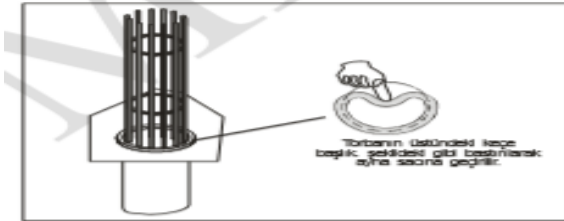
Uzunluk: mm 3600 Tel

Çapı: mm Ø4 Boyuna

Tel Sayısı: Adet 2



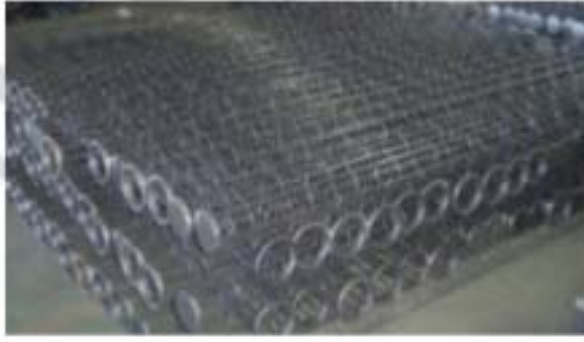
Şekil 4.14. Filtre Çizimi Genel Görünümü



Şekil 4.15. Filtre torbası takılması



Şekil 4.16. Filtre sistemi genel görünümü



Şekil 4.17. Filtre tel kafesi gösterimi

#### 4.7.5. Filtre Dizaynı Tek Kompartıman Alanı

Kompartıman Adedi **Kpt** = 2 +1

Aktif Kompartıman Adedi **Kpa** = 2 Net Alan

**Fnet** = 636 m<sup>2</sup>

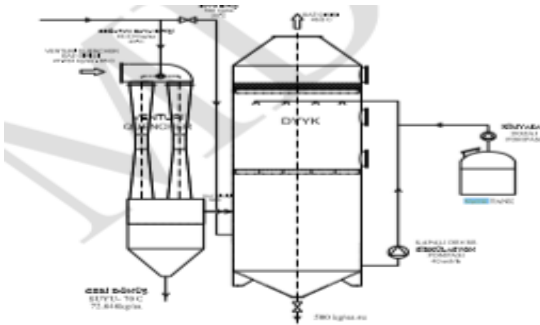
**Tek Kompartıman Torba Adedi**

Tek Kompartıman Alanı 318 m<sup>2</sup>

#### 4.8. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi

##### 4.8.1. Venturi Soğutucu ve Dolgu Yataklı Yıkama Kulesi (DYYK) Dizayn Özellikleri

Gaz öncelikle venturi soğutucudan geçirilecek soğutucuya gönderilen su gazı soğuttuktan sonra yoğuşma suyu ile birlikte tesise geri dönecektir. Venturi soğutucu aynı zamanda toz ayırıcı olarak da kullanılacaktır. Venturi soğutucudan çıkan 50 °C sıcaklıktaki gaz DYYK ya girecektir. DYYK altında kapalı devre çalışan ve dahili sirkülasyon pompası bulunan yaklaşık 9m<sup>3</sup> hacimli su tankı bulunacaktır. Tanka 20 °C de su beslenecek tesis rejime girdikten sonra yaklaşık 500kg/saatte su deşarjı yapıp tanka yeni su alınacaktır. Soğutucu çıkışı DYYK girişi sıcaklığı teorik olarak aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.18. Venturi Soğutucu ve DYYK Akım Şeması



Şekil 4.19. DYYK genel görünümü



Şekil 4.20. Venturi DYYK genel görünümü

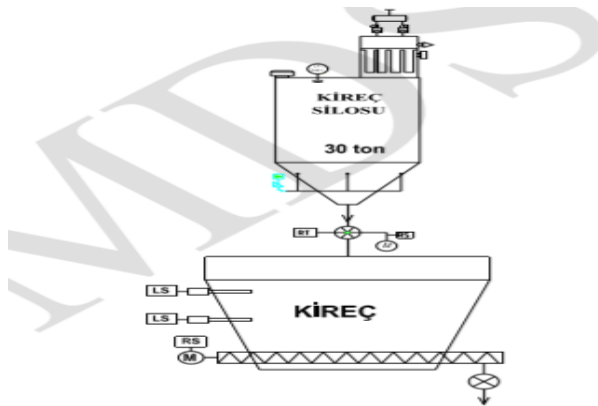
#### 4.9. Kireç Dozlama Sistemi

**Tip:** KÇD-30/140

**Hacmi:** 1 m<sup>3</sup> Gövde

**Malzemesi:** Karbon Çelik -3mm

**Kapasite:** 60-140 kg/saat



Şekil 4.21. Kireç Dozaj Sistemi Tasarımı

#### 4.10. Ca(OH)<sub>2</sub> Enjeksiyonu Miktarı:

Sönmüş kireç Ca(OH)<sub>2</sub> aşağıda yapılan hesaba göre minimum 74 kg/sa olarak tespit edildi. Ancak işletme şartları dikkate alındığında dizayn değerleri 60-140 kg/sa arasında kabul edilmiştir. Sönmüş kireç toz şeklinde kullanılacaktır.

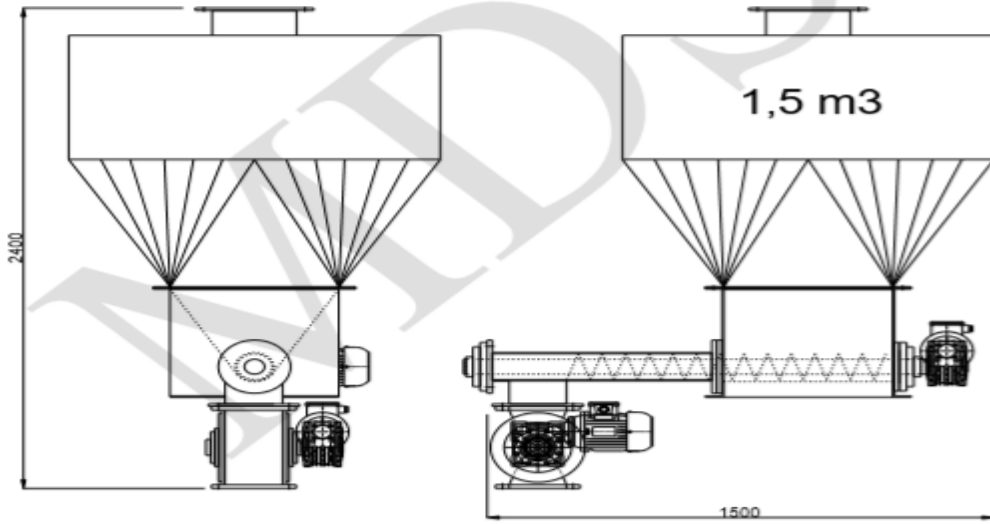
#### 4.11. Aktif Karbon Dozlama Sistemi ve Dizayn Özellikleri

**Tip:** KBD-1/6

**Hacmi:** 1,5 m<sup>3</sup>

**Gövde:** Malzemesi Karbon Çelik-3mm

**Kapasite:** 3-17,3 kg/saat

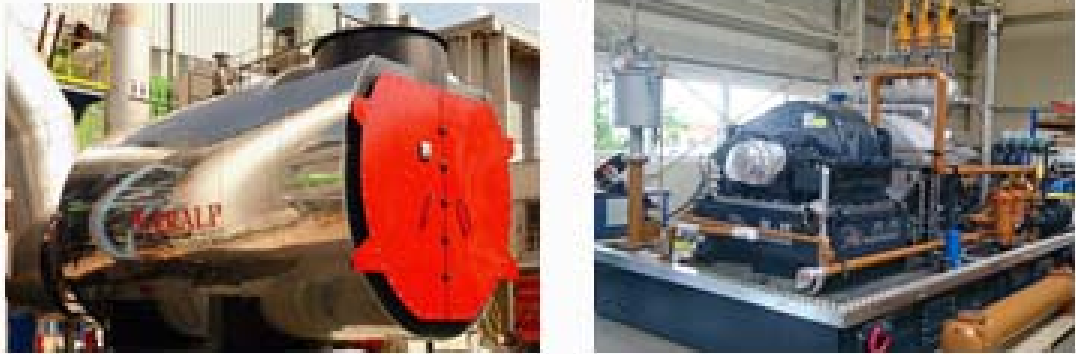


Şekil 4.22. Aktif karbon dozaj sistemi tasarımı

#### 4.12. Yakma Prosesi

##### 4.12.1. 400 Ton / Gün Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi

##### 4.12.2. Elektrik Üretim Bölümü – Atıkısı ile Buhar Türbini ve Jeneratörü



Şekil 4.23. Elektrik Üretim Bölümü – Atıkısı ile Buhar Türbini ve Jeneratörü

- Yakma fırınının çıkan egsoz gazı birincil ısı eşanjörü vasıtasıyla atıkısı kazanının kızgın buhar üretmesi için gerekli olan ısı transferini sağlayacaktır.
- Atıkısı kazanında üretilen 450°C’de 41 bar 12 ton kızgın su buharı buhar türbinine gönderilecek ve türbinde saatte 2,5 MW’lık elektrik üretimi sağlanacaktır.
- Tesiste buhar türbinine gerekli olan suyu sağlayacak olan deminarilize su tesisi, soğutma için soğutma kulesi ve yoğuşmayı sağlayacak olan kondenser yer alacaktır.

➤ Atıkısı kazanında buhar üretiminde kullanılan egsoz gazı arıtım için emisyon kontrol sistemine yönlendirilecektir.

Sistemdeki atık çamurun özellikleri yıl boyunca gerek çamurun geldiği bölgelere ve iklim şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Gerek kuruluk gerek ısı değer sabit olmadığından sabit bir veriye göre tasarım yapmak yerine olabilecek farklı durumları içerek şekildesenaryolar göz önüne alarak bu senaryolara göre hesaplar yapılmı ve tesis çalıştırıldıktan sonra bu senaryolara benzerlik kurularak test sonuçları değerlendirilmiştir.

#### 4.13. Çamur Testleri ve Sonuçları

Performans testlerinde tesiste ana girdi olan ve bertarafı sağlanan çamurun TÜRKAK Akredite Laboratuvarlarında yapılan analizler sonucu belirlenen kuruluk, ısı değer ve element özellikleri tespit edilmiştir.

Performans testleri sırasında çamur özelliklerinin tespit edilmesi, aşağıda yapılacak faaliyetlerin gerçekleştirilmesine veri teşkil edecektir.

1. Tesisin çamur yakma kapasitesinin hesaplanması
2. Tesisin doğalgaz kullanımı
3. Tesisin ürettiği ve tükettiği elektrik üzerinden net elektrik çıktısı
4. Emisyon parametreleri
5. Tesiste kullanılan sarf malzemeler ve kimyasal için veriler toplanmış ve değerlendirilmiş olacaktır.

#### 4.14. Akışkan Yataklı Yakma Prosesi

##### a. Akışkan Yataklı Fırın



Şekil 4.24. Akışkan Yatak Fırını Örnek Resimler

## b. Akışkan Yataklı Yakma Prosesi

Çizelge 4.13. Yakma Prosesi

	Tasarım	Avantaj
Üst hava payı bölümü	Genişleyen hava payı	Yanma işlemi için daha uzun kalma süresi
Su enjeksiyonu	Çatı spreyi	Daha iyi koruma için daha hızlı soğutma işlemi
Ön Isıtma	Daha yüksek ön ısıtma Sıcaklığına dayanan sıcak hava odası	Yakıt kullanmadan nem içeriği daha fazla olan çamurun yakılabilmesi

Yakma fırın tasarımıımız şu temel özellikleri içerir:

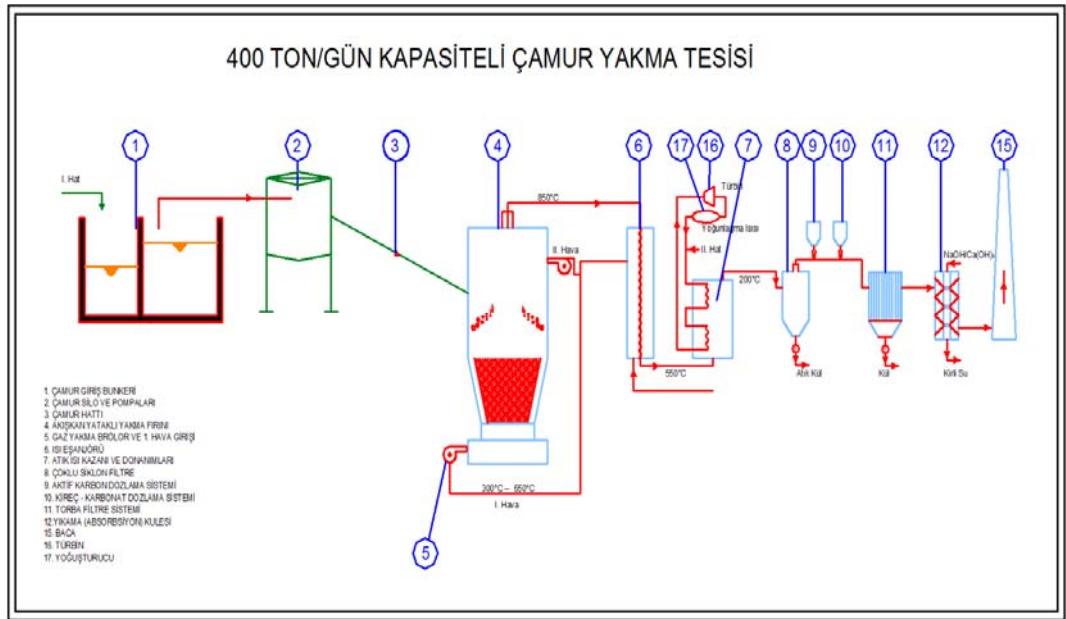
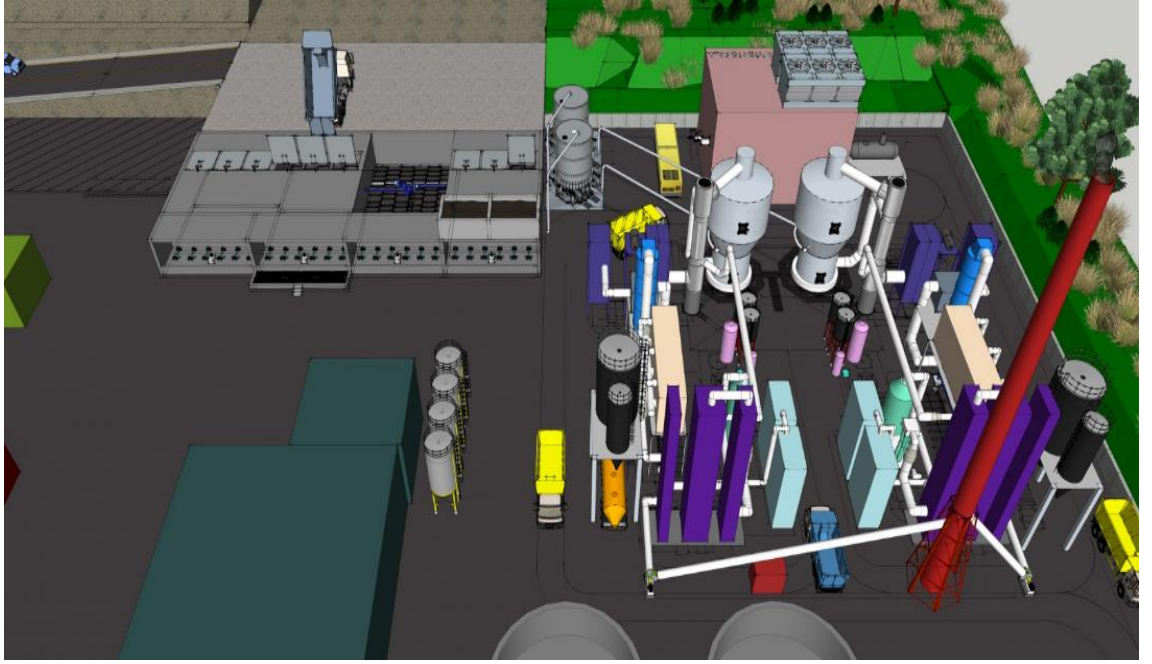
- Ters Gözyaşı şeklinde tasarlanan reaktör yapısı sayesinde üst hava payı bölgesinde genişlik oluşturularak, gazların artan hacmi tolere edilir. Aynı zamanda bu genişleme, hava hızını yavaşça düşürerek reaktörün kum kaybını azaltır.
- 5 saniyenin üzerinde bir kalma süresi ile tam yanma işlemi sağlanarak baca gazının daha temiz olması sağlanır.
- Tesisin durdurulması esnasında, enjeksiyon hatlarına yerleştirilmiş olan tüm gaz/su kapatma ve ayarlama vanaları sayesinde fırına sızıntı riski ortadan kaldırılmıştır.
- Güvenli bir işletme için alarmlı ve korumalı kontrol sistemi tesis edilmektedir.
- Metal plakalı distribütör tasarımına kıyasla refrakter kemer (taban çukuru) tasarımı, hem termal streslere karşı daha dirençlidir, hem de daha iyi bir ısı yalıtımı sağlar.
- Kemerin (taban çukuru) ve hava giriş odasının refrakterle kaplanmış olması, işletmeye alma aşamasında kullanılan brülörün, hava giriş odasına monte edilmesine olanak sağlar. Bu sayede ilk çalıştırma esnasında harcanan zaman ve yakıt miktarı yarı yarıya düşürülebilmektedir.
- Yatak gaz hızı (yaklaşık 1m/sn) iyi bir akışkanlığını sağlamak için yeterince yüksek, ancak aşınmaları önlemek için yeterince düşüktür.
- Çamur enjeksiyon noktasının (çamur beslemenin) kum yatağından daha yukarı değil de kum yatağı ile aynı hizaya yerleştirilmesi sayesinde "çamurun U-dönüş" yapma riski ortadan kaldırmıştır.



- Isınmış akışkan kumun çamur ile anında teması sayesinde daha yüksek yanma verimi elde edilerek yatağa daha az yakıt enjeksiyonunun yapılması ve daha temiz baca gazı elde edilmesi sağlanır.
- Yatağın ve üst havapayı bölümünün alevle temas eden duvarları refrakter tuğla (özel dayanımlı) ile kaplanmış olduğu için yapı genel olarak hem daha sağlamdır hem de ömrü daha uzundur. Yerinde döküm uygulaması sadece tuğla kullanımının pratik olmadığı durumlarda örneğin nozulların etrafında yapılmaktadır.

#### 4.15. Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Etme Tesisi Sistemin Ana Bölümleri;

- Çamur hazırlama bölümü – Çamur giriş bunkerı ve silolar
- Proses bölümü- Akışkan yatak yakma fırını, akışkan, akışkanlaştırıcı hava
- Bloveri, doğalgaz yakma sistemi, ısı eşanjörü
- Elektrik üretimi bölümü- Atık ısı kazanı, buhar türbini, jeneratör
- Emisyon kontrol bölümü- Çoklu-siklon, aktif karbon, kireç /bikarbonat dozlama sistemleri, torba filtre sistemi ve yıkama kulesi

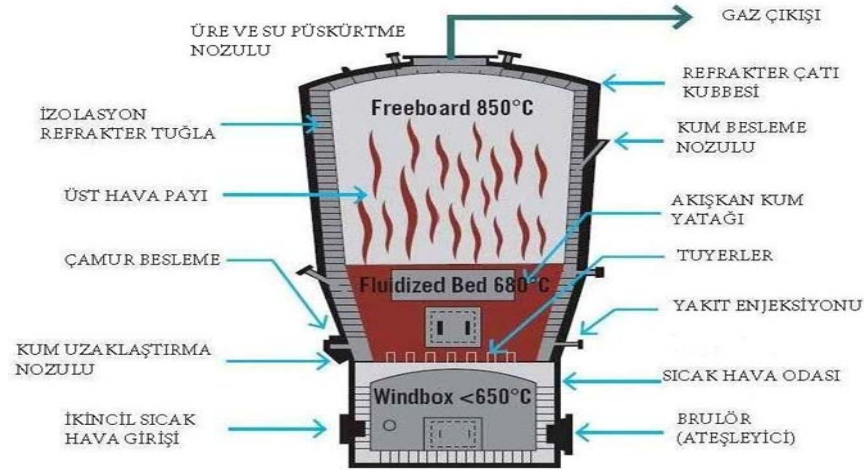


Şekil 4.25. 400 Ton / Gün Kapasiteli Çamur Yakma Tesisi Yerleşim - PID Şeması

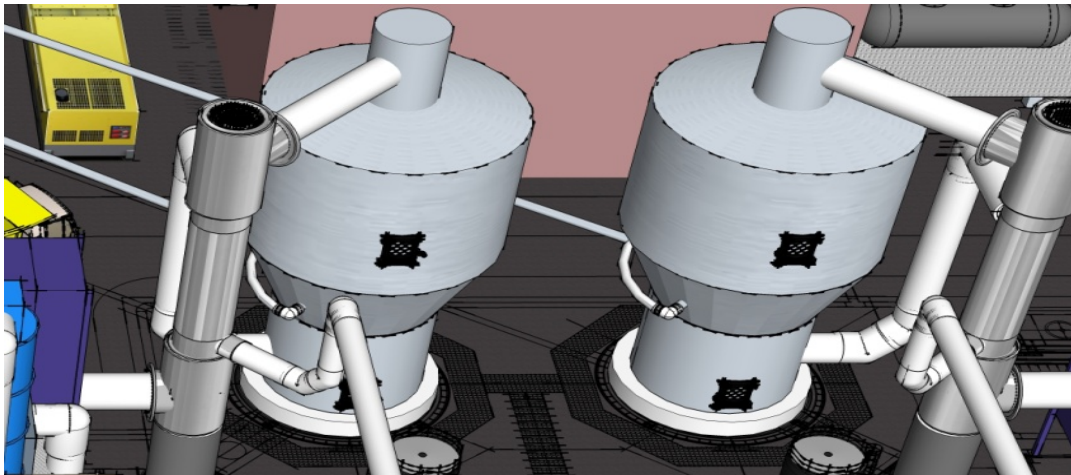
#### 4.15.1. Çamur Hazırlama Bölümü Çamur Giriş Bunkerı ve Silolar

- Çamur giriş bunkerı toplam 3000 m<sup>3</sup> hacme sahip 4 bölmeden oluşmaktadır. Susuzlaştırılmış çamur kamyonlar vasıtasıyla tartıldıktan sonra bölmelere boşaltılır.
- Bunker ve siloların içinde çamurun katılaşmasını önlemek amacıyla hareketi sağlayan mekanik üniteler bulunmaktadır.
- Bunkerdan yer üstü silolarına çamur iletimi burgulu konveyörler ve pompalar vasıtasıyla yapılır.
- 2 adet yer üstü çamur silosu bulunmaktadır. Her çamur silosu 1 adet hattı beslemektedir.
- Bunker ve silolarda tehlikeli gaz ölçme ekipmanları bulunmaktadır. Bu ünitelerde biriken hava fan yardımıyla çekilerek biofiltrede koku giderimine tabi tutulacaktır.

#### 4.15.2. Proses Bölümü – Akışkan Yataklı Yakma Fırını



Şekil 4.26. Akışkan Yataklı Kazan Detay Şekli



Şekil 4.27. Proses Bölümü – Akışkan Yataklı Yakma Fırını Yerleşim Detayı

➤ Tesisin proses bölümü iki paralel hattan oluşmaktadır ve iki adet fırın bulunmaktadır.

Isınmış akışkan kumun çamur ile anında teması sayesinde daha yüksek yanma verimi elde edilerek yatağa daha az yakıt enjeksiyonunun yapılması sağlanır.

➤ Ters gözyaşı şeklindeki fırın tasarımı üst hava payı bölgesinde genişlik oluşturularak, gazların artan hacmi tolere edilir. Aynı zamanda bu genişleme, hava hızını yavaşça düşürerek reaktörün kum kaybını azaltır.

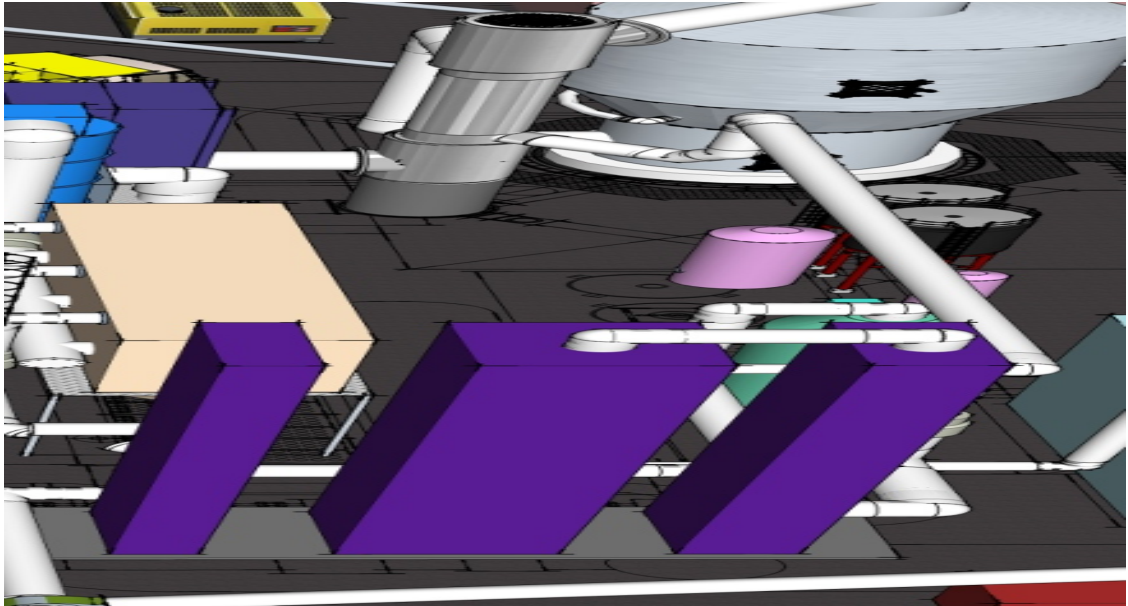
➤ Fırın içerisinde yanma süresi 5 sn'dir. Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik en az 2 sn yanma süresi öngörmektedir. Yanma süresinin artması ile tam yanma ve baca gazının daha temiz olması sağlanır .

➤ Fırının içi refrakter tuğla ile kaplıdır. Bu şekilde hem ısı izolasyonu sağlanır hem de yapı sağlamlığı elde edilir.

➤ Tesisin durdurulması esnasında, enjeksiyon hatlarına yerleştirilmiş olan tüm gaz/su kapatma ve ayarlama vanaları sayesinde fırına sızıntı riski ortadan kaldırılmıştır.

➤ Fırın üzerinde üre ve su püskürtme nozulu bulunmaktadır. Su püskürtme ile hızlı soğutma ve üre püskürtme ile de NOx gazının ortaya çıkmaması sağlanır.

#### 4.15.3. Proses Bölümü – Doğalgaz Yakma Sistemi, Isı Eşanjörleri ve Blowerler



Şekil 4.28. Proses Bölümü – Doğalgaz Yakma Sistemi, Isı Eşanjörleri ve Blowerler

- Tesiste ilk ateşleme ve akışkan yataklı fırının gerekli sıcaklığa ulaşması brülörler ile sağlanacaktır.
- Fırın gerekli sıcaklığa ulaştıktan sonra brülör devreden çıkacak ve çamur besleme başlayacaktır.
- Tesiste yer alan 2 adet birincil ısı eşanjörü vasıtasıyla fırınlara sıcak hava sağlanarak ısı geri kazanımı sağlanır.
- Birincil ısı eşanjörü ek olarak tesisin elektrik üretimi için çok önemi olan atıkısı kazanına da sıcak baca gazını sağlar.
- Tesiste her hat için ek olarak 3 adet daha ısı eşanjörü bulunmaktadır. Bu eşanjörlerde emisyon arıtım ünitelerinden çıkan sıcak gazların ısı geri kazanımında kullanılır.
- Akışkan yataklı fırında gerekli olan fazla hava, kompensatörler ve basınç bağlantılarına soğutma havasını, kum ve külün temizlenmesi için gereken hava blowerlar ile sağlanacaktır.

#### **4.16. Performans Testlerin Verileri ve Değerlendirilmesi**

Atık çamurun yakma tesisinin çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar tasarım aşamasındabeklenen verilerle karşılaştırılmıştır. Tesis sürekli olarak çalıştırılmakta olup genel olarak tasarım kapasitesinin altında çalıştırılmaktadır. Test döneminde ise 5 farklı zaman diliminde 12 saatlik sürelerde tasarım şartlarına yakın şartlarda çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma şartlarının yük dışında tasarım şartlarındaki sapma belirli bir hesap yöntemi ile düzeltilmiştir.

Test sırasında atık çamur özellikleri, ortalama debisi, yanma havası özellikleri, yanma odası özellikleri, emisyon durumu, doğalgaz tüketimi, elektrik üretimi ve tüketimi, sarf madde tüketimi ölçülmüştür. Sonuçlardan birim maliyet elde edilmiştir.

#### **4.16. 1 NO.LU PERFORMANS TESTİ**

**1. no.lu Performans testi** Test süresince yakılan toplam çamur 218 ton'dur. Tam kapasiteye göre 12 saatlik süre zarfında 200 ton yakılması gereklidir. Test süresince yaklaşık % 9 fazla çamur yakılmıştır.

##### **a. Ortalama Atık Çamur Özellikleri, Analizleri ve Değerlendirmesi**

1. Teste yakılan çamurdan alınan numunelere ait TÜBİTAK Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.14. Çamur Analiz Sonuçları

Ortalama Kuruluk ( % ) <b>21,65</b>
Ortalama Isıl Değer ( Kcal / kg. ) <b>3533</b>

Çizelge 4.15. Çamur Elementel Analiz Ortalaması

Elementel Analiz Ortalaması	Birim	İşletim Koşulları
Kül* ( Kuru Bazda )	%	8,900
Kül* ( Orjinal Bazda )	%	610
Kükürt ( Kuru Bazda )	%	78,100
Kükürt (Orjinal Bazda)	%	25,700
Karbon ( Kuru Bazda )	%	47,2
Hidrojen ( Kuru Bazda )	%	3,6
Azot ( Kuru Bazda )	%	6,5
Oksijen ( Kuru Bazda )	%	42,7

##### **b. Doğalgaz Tüketimi, Sayaçtan İlk ve Son Değer Farkı**

**1. Test süresince** doğalgaz sayaçlarından okunan değerler sonucu yakılan doğalgaz miktarı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.16. Doğalgaz Sayaç Değerleri

DOĞALGAZ	İlk Değer	Son Değer	Saatlik	Birim	Saatlik	Birim
Doğalgaz İstasyonu	12.779.057	12.791.199	1.012	Sm <sup>3</sup>	959	Nm <sup>3</sup>

Doğalgaz sayaçlarından Sm<sup>3</sup> okunan değerler sonucu tesisin 1.012 Sm<sup>3</sup>/saat çıkan doğalgaz tüketiminin fizibilite raporunda yer alan doğalgaz tüketim formülüne göre Nm<sup>3</sup> olarak hesabın yapılması gerektiğinden 1 Sm<sup>3</sup>/saat = 0,948 Nm<sup>3</sup>/saat olduğundan dolayı bu formül kullanılarak test süresince saatlik tüketimin 959 Nm<sup>3</sup>/saat olduğu hesaplanmıştır.

### c. Yakma Fırını Bilgileri

1. Yakma Fırını Sıcaklığı:  $T_f = 883,96 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Yakma Havası Sıcaklığı:  $T_{sh} = 636,48 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Çevre Havası Sıcaklığı:  $T = 31,9 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Çevre Havası İzafi Nemi:  $Q = 47,8$

### d. Elektrik Üretim – Tüketim Karşılaştırması

1. Üretilen Ortalam Elektrik ( kW ) = 2.270
2. Tüketilen Ortalama Elektrik ( kW ) = 1.414
3. Net Üretilen Elektrik ( kW ) = 856

### e. Üretilen Buhar Özellikleri

1. Buhar Debisi ( kg / h ) = 11.000
2. Buhar Sıcaklığı (  $^\circ\text{C}$  ) = 434,83
3. Buhar Basıncı ( Bar ) = 37,77

### f. Baca Emisyon Değerleri

<u>Emisyon Parametresi</u>	<u>Birimi</u>	<u>Max.</u>	<u>Min.</u>
1. Con	mg/Nm <sup>3</sup>	475,6	102,7
2. Noxn	mg/Nm <sup>3</sup>	28,2	17,2
3. SO <sub>2</sub> n	mg/Nm <sup>3</sup>	55,8	24,2
4. TOCn	mg/Nm <sup>3</sup>	13,9	2,7
5. HF <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,145	0
6. HCL <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0	0
7. TOZ <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,3	0,2
8. HG <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1,37	0,89

### g. Sarf Malzeme Tüketim Miktarları

<u>Sarf Malzeme Adı</u>	<u>Birimi</u>	<u>Miktarı</u>
1. Sönmüş Kireç	kg.	48
2. Üre	kg.	0
3. Kostik	kg.	0
4. Aktif Karbon	kg.	0

## **h. Sonuçların Değerlendirilmesi**

**1. Çamur Analizleri ve Değerlendirmesi:** Kuruluk ve oksijen ihtiyacı değişiminin yanma rejimi başta olmak üzere bir çok parametrede etkisi olmuştur.

### **2. Yanma Koşulları ile Doğalgaz Tüketimi ve Değerlendirmesi:**

$N_{O_2}$ : 3,31 kmol

X: Çamur Kuruluk Derecesi: 0,22

$H_{uc}$ : Kuru Çamurun üst Isıl Değeri: 3.400,00 kcal/kg.

A : 4.888,21

B : 6,82

VG: gaz tüketimi (Nm<sup>3</sup>/h(saatt))= A/B = 716,89

### **3. Fırın Sıcaklıkları:**

Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.

**$T_f = 883,96 > 850$**

### **5. Hava Sıcaklıkları ve Nem Değerleri:**

Sıcaklık ( Ortalama ): 31,9 °C

Nem ( Ortalama ): % 47,8

### **6. Net Elektrik Çıktısı Verileri ve Değerlendirmesi:**

Üretilen Elektrik (kWh) : 2.270

Arıtma Tesisine verilen elektrik (kWh): -856

Tüketilen Elektrik (kWh): 1.414

### **7. Buhar Üretimi:**

Saatlik olarak 10940 kg/saat kızgın Buhar ortalama 434,83 °C sıcaklık ve 37,77 bar basınçla üretilmiştir.

**Buhar debisi, basınç ve sıcaklık şartlarına göre üretilmesi gereken elektrik miktarı**

**$W = 2235$  kWh çıkmaktadır.**

### **8. Yanma için gerekli oksijen ihtiyacı:**

$NO_2 = Y_C / 12 + Y_H / 4 + Y_S / 32 - Y_O / 32$

Çamurun yanması için gerekli oksijen ihtiyacı  $NO_2 = 4,282$  kmol

**$NO_{2ORAN-1} = (4,282 - 4,032) / 4,032 = 0,062$  çıkmaktadır.**

### **9. Tüketilmesi – Tüketilen Elektrik Miktarları:**

Tüketilmesi gereken elektrik  $\tilde{\Omega} = 1385$  kWh

Tüketilen gereken elektrik miktarı ise 1414 kWh'tir



#### **10. Emisyon sonuçları ve bunların limitlere göre Değerlendirmesi:**

Emisyon değerleri incelendiğinde sadece CO değerinin günlük ve yarım saatlik ortalamalarda yönetmelik limit değerlerinin üzerinde yer aldığı görülmektedir.

Bu sonuç, sisteme yanma için gerekli havanın yeterince verilmemiş olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu problem ortamdaki hava oranının artırılması ile çözülebilecek Ülkemizde belki de civa için tek sürekli izleme cihazına sahip tesisten elde edilen sonuçlar, Yönetmelik sınır değerinin oldukça altında olduğunu göstermektedir. Bu sonuç diğer ağır metal seviyelerinin de limitler altında kaldığına dair bir işaret olma ihtimalinden dolayı önemlidir. Zira prosedür ve yönetmelikler gereği akreite bir kuruluşa yaptırılan önceki ağır metal ölçüm değerleri de sınır değerlerin altında kalmıştır.

niteliktedir.

#### **11. Emisyon Arıtma Ünitelerinde kullanılan sarf malzemelerin tüketiminin**

##### **Değerlendirmesi:**

Sarf malzeme tüketimleri emisyon değerlerinin altında olmasından dolayı kullanım miktarlarından daha az miktarlarda besleme yapılmıştır. Ağır metaller için bir indikatör olan civa değerleri çok düşük ( yaklaşık 1/50 ) olduklarından dolayı aktif karbon beslemesi yapılmamıştır.

#### **4.16.2 NO.LU PERFORMANS TESTİ**

2. no.lu Performans testi Test süresince yakılan toplam çamur 218 ton'dur. Tam kapasiteye göre 12 saatlik süre zarfında 200 ton yakılması gereklidir. Test süresince yaklaşık % 9 fazla çamur yakılmıştır.

##### **a. Ortalama Atık Çamur Özellikleri, Analizleri ve Değerlendirmesi**

Çamurdan alınan numunelere ait TÜBİTAK Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.17. Çamur Analiz Sonuçları

Ortalama Kuruluk ( % )	<b>21,09</b>
Ortalama Isıl Değer ( Kcal / kg. )	<b>3513,50</b>

Çizelge 4.18. Çamur Elementel Analiz Ortalaması

Elementel Analiz Ortalaması	Birim	İşletim Koşulları
Kül* ( Kuru Bazda )	%	8,900
Kül* ( Orjinal Bazda )	%	610
Kükürt ( Kuru Bazda )	%	78,100
Kükürt (Orjinal Bazda)	%	25,700
Karbon ( Kuru Bazda )	%	47,2
Hidrojen ( Kuru Bazda )	%	3,6
Azot ( Kuru Bazda )	%	6,5
Oksijen ( Kuru Bazda )	%	42,7

##### **b. Doğalgaz Tüketimi, Sayaçtan İlk ve Son Değer Farkı**

2. Test süresince doğalgaz sayaçlarından okunan değerler sonucu yakılan doğalgaz miktarı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.19. Doğalgaz Sayaç Değerleri

DOĞALGAZ	İlk Değer	Son Değer	Saatlik	Birim	Saatlik	Birim
Doğalgaz İstasyonu	5.975.706	5.987.997	1.024	Sm <sup>3</sup>	971	Nm <sup>3</sup>

Doğalgaz sayaçlarından Sm<sup>3</sup> okunan değerler sonucu tesisin 1.012 Sm<sup>3</sup>/saat çıkan doğalgaz tüketiminin fizibilite raporunda yer alan doğalgaz tüketim formülüne göre Nm<sup>3</sup> olarak hesabın yapılması gerektiğinden 1 Sm<sup>3</sup>/saat = 0,948 Nm<sup>3</sup>/saat olduğundan dolayı bu formül kullanılarak test süresince saatlik tüketimin 959 Nm<sup>3</sup>/saat olduğu hesaplanmıştır.971 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 1.169 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında **2. Test için Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.**

#### **c. Yakma Fırını Bilgileri**

1. Yakma Fırını Sıcaklığı:  $T_f = 875,33 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Yakma Havası Sıcaklığı:  $T_{sh} = 620,31 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Çevre Havası Sıcaklığı:  $T = 31,9 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Çevre Havası İzafi Nemi:  $Q = 47,8$

#### **d. Elektrik Üretim – Tüketim Karşılaştırması**

1. Üretilen Ortalam Elektrik ( kW ) = 2.270
2. Tüketilen Ortalama Elektrik ( kW ) = 1.427
3. Gerçekleşen net elektrik net elektrik çıktısı ( kW ) = - 871

#### **e. Üretilen Buhar Özellikleri**

1. Buhar Debisi ( kg / h ) = 11.161
2. Buhar Sıcaklığı ( ° C ) = 433,30
3. Buhar Basıncı ( Bar ) = 37,25

#### **f. Baca Emisyon Değerleri**

<b><u>Emisyon Parametresi</u></b>	<b><u>Birimi</u></b>	<b><u>Max.</u></b>	<b><u>Min.</u></b>
1. Con	mg/Nm <sup>3</sup>	75	9
2. Noxn	mg/Nm <sup>3</sup>	33,3	22,2
3. SO <sub>2</sub> n	mg/Nm <sup>3</sup>	198	24,7
4. TOCn	mg/Nm <sup>3</sup>	6,7	1,3
5. HF <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	9	0,54
6. HCL <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,441	0,012
7. TOZ <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,5	0,3
8. HG <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1,74	0,8

### g. Sarf Malzeme Tüketim Miktarları

<u>Sarf Malzeme Adı</u>	<u>Birimi</u>	<u>Miktarı</u>
1.Sönmüş Kireç	kg.	416
2.Üre	kg.	0
3.Kostik	kg.	0
4.Aktif Karbon	kg.	0

### h. Sonuçların Değerlendirilmesi

**1. Çamur Analizleri ve Değerlendirmesi:** Kuruluk ve oksijen ihtiyacı değişiminin yanma rejimi başta olmak üzere bir çok parametrede etkisi olmuştur.

#### **2. Yanma Koşulları ile Doğalgaz Tüketimi ve Değerlendirmesi:**

$N_{O_2}$ : 4,26 kmol

X: Çamur Kuruluk Derecesi: 0,22

$H_{uc}$ : Kuru Çamurun üst Isıl Değeri: 3.585,00 kcal/kg.

A: 6.178,06

B: 8,30

VG: gaz tüketimi ( $Nm^3/h(saatt)$ )=  $A/B = 744,01$

#### **3. Fırın Sıcaklıkları:**

Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.

$T_f = 875,33 > 850$

#### **5. Hava Sıcaklıkları ve Nem Değerleri:**

Sıcaklık ( Ortalama ): 31,9 °C

Nem ( Ortalama ): % 47,8

#### **6. Net Elektrik Çıktısı Verileri ve Değerlendirmesi:**

Üretilen Elektrik (kWh) : 2.270

Arıtma Tesisine verilen elektrik (kWh): -871

Tüketilen Elektrik (kWh): 1.427

#### **7. Buhar Üretimi:**

Saatlik olarak 11161 kg/saat kızgın Buhar ortalama 433,30°C sıcaklık ve 37,25 bar basınçla üretilmiştir.

**Buhar debisi, basınç ve sıcaklık şartlarına göre üretilmesi gereken elektrik miktarı  $W = 2261$  kWh çıkmaktadır.**

### **8. Yanma için gerekli oksijen ihtiyacı:**

$$NO_2 = Y_C / 12 + Y_H / 4 + Y_S / 32 - Y_O / 32$$

**Çamurun yanması için gerekli oksijen ihtiyacı  $NO_2 = 4,518$  kmol**

$$NO_{2ORAN-2} = (4,282 - 4,032) / 4,032 = 0,065 \text{ çıkmaktadır.}$$

### **9. Tüketilmesi – Tüketilen Elektrik Miktarları:**

Tüketilmesi gereken elektrik  $\tilde{\Omega} = 1450$  kWh çıkmaktadır.

Tüketilen gereken elektrik miktarı ise 1427 kWh'tir.

### **10. Emisyon sonuçları ve bunların limitlere göre Değerlendirmesi:**

Emisyon değerleri incelendiğinde sadece  $SO_2$  değerinin günlük ve yarım saatlik ortalamalarda yönetmelik limit değerlerinin üzerinde yer aldığı görülmektedir. Ancak,  $SO_2$  'nin yarım saatlik değerleri ve diğer emisyon değerleri Yönetmelik'te verilen sınır değerlerinin altında kalmaktadır. Bu sonuç, arıtma sırasında kullanılan kirecin biraz daha arttırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Ülkemizde belki de civa için tek sürekli izleme cihazına sahip tesisten elde edilen sonuçlar, Yönetmelik sınır değerinin oldukça altında olduğunu göstermektedir. Bu sonuç diğer ağır metal seviyelerinin de limitler altında kaldığına dair bir işaret olma ihtimalinden dolayı önemlidir. Zira prosedür ve yönetmelikler gereği akreite bir kuruluşa yaptırılan önceki ağır metal ölçüm değerleri de sınır değerlerin altında kalmıştır.

### **11. Emisyon Arıtma Ünitelerinde kullanılan sarf malzemelerin tüketiminin**

#### **Değerlendirmesi:**

Sarf malzeme tüketimleri emisyon değerlerinin altında olmasından dolayı kullanım miktarlarından daha az miktarlarda besleme yapılmıştır. Ağır metaller için bir indikatör olan civa değerleri çok düşük ( yaklaşık 1/50 ) olduklarından dolayı aktif karbon beslemesi yapılmamıştır.

### **4.16.3 NO.LU PERFORMANS TESTİ**

#### **3. no.lu Performans testi;**

Test süresince yakılan toplam çamur 224 ton'dur. Tam kapasiteye göre 12 saatlik süre zarfında 200 ton yakılması gereklidir. Test süresince yaklaşık % 12 fazla çamur yakılmıştır.

#### **a. Ortalama Atık Çamur Özellikleri, Analizleri ve Değerlendirmesi**

Çamurdan alınan numunelere ait TÜBİTAK Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.20. Çamur Analiz Sonuçları

Ortalama Kuruluk ( % )	<b>21,86</b>
Ortalama Isıl Değer ( Kcal / kg. )	<b>3607,50</b>

Çizelge 4.21. Çamur Elementel Analiz Ortalaması

<b>Elementel Analiz Ortalaması</b>	<b>Birim</b>	<b>İşletim Koşulları</b>
Kül* ( Kuru Bazda )	%	35,56
Kül* ( Orjinal Bazda )	%	7,745
Kükürt ( Kuru Bazda )	%	0,97
Kükürt (Orjinal Bazda)	%	0,21
Karbon ( Kuru Bazda )	%	41,25
Hidrojen ( Kuru Bazda )	%	5,745
Azot ( Kuru Bazda )	%	6,565
Oksijen ( Kuru Bazda )	%	9,945

#### **b. Doğalgaz Tüketimi, Sayaçtan İlk ve Son Değer Farkı**

**2. Test süresince** doğalgaz sayaçlarından okunan değerler sonucu yakılan doğalgaz miktarı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.22. Doğalgaz Sayaç Değerleri

<b>DOĞALGAZ</b>	<b>İlk Değer</b>	<b>Son Değer</b>	<b>Saatlik</b>	<b>Birim</b>	<b>Saatlik</b>	<b>Birim</b>
<b>Doğalgaz İstasyonu</b>	6.049.774	6.060.982	934	Sm3	885	Nm3

Doğalgaz sayaçlarından Sm<sup>3</sup> okunan değerler sonucu tesisin 1.012 Sm<sup>3</sup>/saat çıkan doğalgaz tüketiminin fizibilite raporunda yer alan doğalgaz tüketim formülüne göre Nm<sup>3</sup> olarak hesabın yapılması gerektiğinden 1 Sm<sup>3</sup>/saat = 0,948 Nm<sup>3</sup>/saat olduğundan dolayı bu formül kullanılarak test süresince saatlik tüketimin 959 Nm<sup>3</sup>/saat olduğu hesaplanmıştır.

971 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 1.169 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında **Test için Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.**

### **c. Yakma Fırını Bilgileri**

1. Yakma Fırını Sıcaklığı:  $T_f = 888,79 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Yakma Havası Sıcaklığı:  $T_{sh} = 595,60 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Çevre Havası Sıcaklığı:  $T = 31,9 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Çevre Havası İzafi Nemi:  $Q = 47,8$

1.cil ısı eşenjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### **d. Elektrik Üretim – Tüketim Karşılaştırması**

1. Üretilen Ortalam Elektrik ( kW ) = 2.316
2. Tüketilen Ortalama Elektrik ( kW ) = 1.400
3. Gerçekleşen net elektrik net elektrik çıktısı ( kW ) = - 916

### **e. Üretilen Buhar Özellikleri**

1. Buhar Debisi ( kg / h ) = 11.041
2. Buhar Sıcaklığı ( ° C ) = 434,70
3. Buhar Basıncı ( Bar ) = 37,37

#### f. Baca Emisyon Değerleri

<u>Emisyon Parametresi</u>	<u>Birimi</u>	<u>Max.</u>	<u>Min.</u>
1. Con	mg/Nm <sup>3</sup>	208,1	0
2. Noxn	mg/Nm <sup>3</sup>	36,6	24,8
3. SO <sub>2</sub> n	mg/Nm <sup>3</sup>	50,4	20
4. TOCn	mg/Nm <sup>3</sup>	5,0	0,9
5. HF <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,255	0,114
6. HCL <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,205	0
7. TOZ <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,4	0,2
8. HG <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1,84	0,57

#### g. Sarf Malzeme Tüketim Miktarları

<u>Sarf Malzeme Adı</u>	<u>Birimi</u>	<u>Miktarı</u>
1.Sönmüş Kireç	kg.	416
2.Üre	kg.	0
3.Kostik	kg.	0
4.Aktif Karbon	kg.	0

#### h. Sonuçların Değerlendirilmesi

##### 1. Çamur Analizleri ve Değerlendirmesi:

Kuruluk ve oksijen ihtiyacı değişiminin yanma rejimi başta olmak üzere bir çok parametre etkisi olmuştur. Ayrıca karbon oranının senaryo-1'e göre daha fazla olması da tesiste oluşan CO emisyonunun artışına neden olan etkenlerden biridir.

##### 2. Yanma Koşulları ile Doğalgaz Tüketimi ve Değerlendirmesi:

N<sub>o2</sub>:4,50 kmol

X : Çamur Kuruluk Derecesi: 0,22

H<sub>uc</sub> : Kuru Çamurun üst Isıl Değeri: 3.623,50 kcal/kg.

A : 6.480,26

B : 8,06

VG: gaz tüketimi (Nm<sup>3</sup>/h(saat))= A/B = 804,29



Test süresince 885 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 1.029 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında **Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.**

### **3. Fırın Sıcaklıkları:**

Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.

$$T_f = 888,79 > 850$$

1.cil ısı eşenjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### **4. Hava Sıcaklıkları ve Nem Değerleri:**

Sıcaklık ( Ortalama ): 31,9 °C

Nem ( Ortalama ): % 47,8

### **5. Net Elektrik Çıktısı Verileri ve Değerlendirmesi:**

Üretilen Elektrik (kWh) : 2.316

Arıtma Tesisine verilen elektrik (kWh): -916

Tüketilen Elektrik (kWh): 1.400

### **6. Buhar Üretimi:**

Saatlik olarak 11041,50 kg/saat kızgın Buhar ortalama 434,70 °C sıcaklık ve 37,37 bar basınçla üretilmiştir.

**Buhar debisi, basınç ve sıcaklık şartlarına göre üretilmesi gereken elektrik miktarı**

**W= 2235 kWh çıkmaktadır.**

### **8. Yanma için gerekli oksijen ihtiyacı:**

$$NO_2 = Y_C / 12 + Y_H / 4 + Y_S / 32 - Y_O / 32$$

**Çamurun yanması için gerekli oksijen ihtiyacı NO<sub>2</sub> = 4,590 kmol**

$$NO = (4,282 - 4,032) / 4,032 = 0,063 \text{ çıkmaktadır.}$$

### **9. Tüketilmesi – Tüketilen Elektrik Miktarları:**

Tüketilmesi gereken elektrik  $\tilde{\Omega}_{TEST 3} = 1392$  kWh çıkmaktadır.

Tüketilen gereken elektrik miktarı ise 1400 kWh'tir

### **10. Emisyon sonuçları ve bunların limitlere göre Değerlendirmesi:**

Emisyon değerleri incelendiğinde sadece CO değerinin günlük ve yarım saatlik ortalamalarda yönetmelik limit değerlerinin üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç Test-3'te sisteme yanam için gerekli havanın yeterince verilmemiş olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu problem ortamdaki hava oranının artırılması ile çözülebilecek niteliktedir.

## **11. Emisyon Arıtma Ünitelerinde kullanılan sarf malzemelerin tüketiminin**

### **Değerlendirmesi:**

Sarf malzeme tüketimleri emisyon değerlerinin altında olmasından dolayı kullanım miktarlarından daha az miktarlarda besleme yapılmıştır. Ağır metaller için bir indikatör olan civa değerleri çok düşük ( yaklaşık 1/50 ) olduklarından dolayı aktif karbon beslemesi yapılmamıştır.

#### **4.16. 4 NO.LU PERFORMANS TESTİ**

**4. no.lu Performans testi;** Test süresince yakılan toplam çamur 200 ton'dur. Tesis tam kapasite ile çalışmış ve fazladan yakma gerçekleşmemiştir.

##### **a. Ortalama Atık Çamur Özellikleri, Analizleri ve Değerlendirmesi**

1. Teste yakılan çamurdan alınan numunelere ait TÜBİTAK Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.23. Çamur Analiz Sonuçları

Ortalama Kuruluk ( % )	<b>21,74</b>
Ortalama Isıl Değer ( Kcal / kg. )	<b>3245,50</b>

Çizelge 4.24. Çamur Elementel Analiz Ortalaması

Elementel Analiz Ortalaması	Birim	İşletim Koşulları
Kül* ( Kuru Bazda )	%	46,49
Kül* ( Orjinal Bazda )	%	10,11
Kükürt ( Kuru Bazda )	%	1
Kükürt (Orjinal Bazda)	%	0,22
Karbon ( Kuru Bazda )	%	34,85
Hidrojen ( Kuru Bazda )	%	5,19
Azot ( Kuru Bazda )	%	5,42
Oksijen ( Kuru Bazda )	%	7,06

##### **b. Doğalgaz Tüketimi, Sayaçtan İlk ve Son Değer Farkı**

2. Test süresince doğalgaz sayaçlarından okunan değerler sonucu yakılan doğalgaz miktarı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.25. Doğalgaz Sayaç Değerleri

DOĞALGAZ	İlk Değer	Son Değer	Saatlik	Birim	Saatlik	Birim
Doğalgaz İstasyonu	7.959.880	7.969.001	760	Sm <sup>3</sup>	721	Nm <sup>3</sup>

Doğalgaz sayaçlarından Sm<sup>3</sup> okunan değerler sonucu tesisin 760 Sm<sup>3</sup>/saat çıkan doğalgaz tüketiminin fizibilite raporunda yer alan doğalgaz tüketim formülüne göre Nm<sup>3</sup> olarak hesabın yapılması gerektiğinden 1 Sm<sup>3</sup>/saat = 0,948 Nm<sup>3</sup>/saat olduğundan dolayı bu formül kullanılarak test süresince saatlik tüketimin 721 Nm<sup>3</sup>/saat olduğu hesaplanmıştır.

Test süresince 721 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 1.036 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.

### **c. Yakma Fırını Bilgileri**

1. Yakma Fırını Sıcaklığı:  $T_f = 882,13 \text{ }^\circ\text{C}$

2. Yakma Havası Sıcaklığı:  $T_{sh} = 563,3 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Çevre Havası Sıcaklığı:  $T = 8,5 \text{ }^\circ\text{C}$

4. Çevre Havası İzafi Nemi:  $Q = 70,0$

1.cil ısı eşenjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### **d. Elektrik Üretim – Tüketim Karşılaştırması**

1. Üretilen Ortalam Elektrik ( kW ) = 2.092

2. Tüketilen Ortalama Elektrik ( kW ) = 1.244

3. Gerçekleşen net elektrik net elektrik çıktısı ( kW ) = - 848

### **e. Üretilen Buhar Özellikleri**

1. Buhar Debisi ( kg / h ) = 10.592,80

2. Buhar Sıcaklığı ( ° C ) = 419,30

3. Buhar Basıncı ( Bar ) = 36,95

## f. Baca Emisyon Değerleri

<u>Emisyon Parametresi</u>	<u>Birimi</u>	<u>Max.</u>	<u>Min.</u>
1. Con	mg/Nm <sup>3</sup>	607,8	93,79
2. Noxn	mg/Nm <sup>3</sup>	10,5	7,6
3. SO <sub>2</sub> n	mg/Nm <sup>3</sup>	6,2	2,1
4. TOCn	mg/Nm <sup>3</sup>	14,4	2,8
5. HF <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,447	0,34
6. HCL <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,007	0
7. TOZ <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,8	0,8
8. HG <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,43	0,24

## g. Sarf Malzeme Tüketim Miktarları

<u>Sarf Malzeme Adı</u>	<u>Birimi</u>	<u>Miktarı</u>
1.Sönmüş Kireç	kg.	416
2.Üre	kg.	0
3.Kostik	kg.	0
4.Aktif Karbon	kg.	0

## h. Sonuçların Değerlendirilmesi

### 1. Çamur Analizleri ve Değerlendirmesi:

Bu test için çamurun özellikle Senaryo – 1'e göre kuruluk ve oksijen ihtiyacı değişiminin yanma rejimi başta olmak üzere bir çok parametre etkisi olmuştur. Ayrıca karbon oranının senaryo-1'e göre daha fazla olması da tesiste oluşan CO emisyonunun artışına neden olan etkenlerden biridir.

### 2. Yanma Koşulları ile Doğalgaz Tüketimi ve Değerlendirmesi:

N<sub>o2</sub>:4,01 kmol

X : Çamur Kuruluk Derecesi: 0,22

H<sub>uc</sub> : Kuru Çamurun üst Isıl Değeri: 3.226,50 kcal/kg.

A : 7.748,89

B : 8,25

VG: gaz tüketimi (Nm<sup>3</sup>/h(saat))= A/B = 939,62

Test süresince 721 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 1.036 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında **4. Test için Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.**

### **3. Fırın Sıcaklıkları:**

Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.

$$T_f = 888,79 > 850$$

1.cil ısı eşanjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### **7. Hava Sıcaklıkları ve Nem Değerleri:**

Sıcaklık ( Ortalama ): 8,5 °C

Nem ( Ortalama ): % 70,0

### **8. Net Elektrik Çıktısı Verileri ve Değerlendirmesi:**

Üretilen Elektrik (kWh) : 2.092

Arıtma Tesisine verilen elektrik (kWh): -848

Tüketilen Elektrik (kWh): 1.244

### **9. Buhar Üretimi:**

Saatlik olarak 10.592,80 kg/saat kızgın Buhar ortalama 419,30 °C sıcaklık ve 36,95 bar basınçla üretilmiştir.

**Buhar debisi, basınç ve sıcaklık şartlarına göre üretilmesi gereken elektrik miktarı**

**W= 2106 kWh çıkmaktadır.**

### **8. Yanma için gerekli oksijen ihtiyacı:**

$$NO_2 = Y_C / 12 + Y_H / 4 + Y_S / 32 - Y_O / 32$$

**Çamurun yanması için gerekli oksijen ihtiyacı NO<sub>2</sub> = 4,012 kmol**

$$NO = (4,012 - 3,648) / 3,648 = 0,0998 \text{ çıkmaktadır.}$$

### **9. Tüketilmesi – Tüketilen Elektrik Miktarları:**

Tüketilmesi gereken elektrik  $\tilde{\Omega} = 1297 \text{ kWh}$  çıkmaktadır.

Tüketilen gereken elektrik miktarı ise **1244 kWh'tir.**

#### **10. Emisyon sonuçları ve bunların limitlere göre Değerlendirmesi:**

**Dördüncü performans testine** ait emisyon değerleri incelendiğinde sadece SO<sub>2</sub> değerinin günlük ve yarım saatlik ortalamalarda yönetmelik limit değerlerinin üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç, test-4'te sisteme yanma için gerekli havanın yeterince verilmemiş olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu problem havadaki hava oranının artırılması ile çözülebilecektir.

#### **11. Emisyon Arıtma Ünitelerinde kullanılan sarf malzemelerin tüketiminin Değerlendirmesi:**

Sarf malzeme tüketimleri emisyon değerlerinin altında olmasından dolayı kullanım miktarlarından daha az miktarlarda besleme yapılmıştır. Ağır metaller için bir indikatör olan civa değerleri çok düşük ( yaklaşık 1/50 ) olduklarından dolayı aktif karbon beslemesi yapılmamıştır.

#### **4.16. 5. NO.LU PERFORMANS TESTİ**

**5. no.lu Performans testi** Test süresince yakılan toplam çamur 200 ton'dur. Tesis tam kapasite ile çalışmış ve fazladan yakma gerçekleşmemiştir.

##### **a. Ortalama Atık Çamur Özellikleri, Analizleri ve Değerlendirmesi**

Çamurdan alınan numunelere ait TÜBİTAK Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.26. Çamur Analiz Sonuçları

Ortalama Kuruluk ( % ) <b>21,91</b>
Ortalama Isıl Değer ( Kcal / kg. ) <b>3347</b>

Çizelge 4.27. Çamur Elementel Analiz Ortalaması

<b>Elementel Analiz Ortalaması</b>	<b>Birim</b>	<b>İşletim Koşulları</b>
Kül* ( Kuru Bazda )	%	41,40
Kül* ( Orjinal Bazda )	%	9,07
Kükürt ( Kuru Bazda )	%	1,01
Kükürt (Orjinal Bazda)	%	0,22
Karbon ( Kuru Bazda )	%	33,73
Hidrojen ( Kuru Bazda )	%	4,76
Azot ( Kuru Bazda )	%	4,88
Oksijen ( Kuru Bazda )	%	14,23

##### **b. Doğalgaz Tüketimi, Sayaçtan İlk ve Son Değer Farkı**

**2. Test süresince** doğalgaz sayaçlarından okunan değerler sonucu yakılan doğalgaz miktarı aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.28. Doğalgaz Sayaç Değerleri

<b>DOĞALGAZ</b>	<b>İlk Değer</b>	<b>Son Değer</b>	<b>Saatlik</b>	<b>Birim</b>	<b>Saatlik</b>	<b>Birim</b>
<b>Doğalgaz İstasyonu</b>	7.959.844	8.002.548	809	Sm3	767	Nm3



Doğalgaz sayaçlarından Sm<sup>3</sup> okunan değerler sonucu tesisin 760 Sm<sup>3</sup>/saat çıkan doğalgaz tüketiminin fizibilite raporunda yer alan doğalgaz tüketim formülüne göre Nm<sup>3</sup> olarak hesabın yapılması gerektiğinden 1 Sm<sup>3</sup>/saat = 0,948 Nm<sup>3</sup>/saat olduğundan dolayı bu formül kullanılarak test süresince saatlik tüketimin 721 Nm<sup>3</sup>/saat olduğu hesaplanmıştır..

Test süresince 767 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 874 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında 5. Test için Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.

### **c. Yakma Fırını Bilgileri**

1. Yakma Fırını Sıcaklığı:  $T_f = 877,64 \text{ }^\circ\text{C}$

2. Yakma Havası Sıcaklığı:  $T_{sh} = 595,6 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Çevre Havası Sıcaklığı:  $T = 9,1 \text{ }^\circ\text{C}$

4. Çevre Havası İzafi Nemi:  $Q = 66,1$

1.cil ısı eşenjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### **d. Elektrik Üretim – Tüketim Karşılaştırması**

1. Üretilen Ortalam Elektrik ( kW ) = 2.154

2. Tüketilen Ortalama Elektrik ( kW ) = 1.245

3. Gerçekleşen net elektrik net elektrik çıktısı ( kW ) = -909

### **e. Üretilen Buhar Özellikleri**

1. Buhar Debisi ( kg / h ) = 10.806,20

2. Buhar Sıcaklığı ( ° C ) = 423,40

3. Buhar Basıncı ( Bar ) = 36,60

## f. Baca Emisyon Değerleri

<u>Emisyon Parametresi</u>	<u>Birimi</u>	<u>Max.</u>	<u>Min.</u>
1. Con	mg/Nm <sup>3</sup>	179,6	3,2
2. Noxn	mg/Nm <sup>3</sup>	50,5	6,8
3. SO <sub>2</sub> n	mg/Nm <sup>3</sup>	4,8	0,1
4. TOCn	mg/Nm <sup>3</sup>	13,6	0,6
5. HF <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,449	0,076
6. HCL <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,001	0
7. TOZ <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	10,5	1
8. HG <sub>n</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1,26	0,35

## g. Sarf Malzeme Tüketim Miktarları

<u>Sarf Malzeme Adı</u>	<u>Birimi</u>	<u>Miktarı</u>
1.Sönmüş Kireç	kg.	16
2.Üre	kg.	0
3.Kostik	kg.	0
4.Aktif Karbon	kg.	0

## h. Sonuçların Değerlendirilmesi

### 1. Çamur Analizleri ve Değerlendirmesi:

Bu test için çamurun özellikle Senaryo – 1'e göre yakın özelliklere sahip olduğunu görmekteyiz.

### 2. Yanma Koşulları ile Doğalgaz Tüketimi ve Değerlendirmesi:

N<sub>o2</sub>:3,56 kmol

X : Çamur Kuruluk Derecesi: 0,22

H<sub>uc</sub> : Kuru Çamurun üst Isıl Değeri: 3.343,5kcal/kg.

A : 6.847,76

B : 8,25

VG: gaz tüketimi (Nm<sup>3</sup>/h(saatt))= A/B = 828,73

Test süresince 767 nm<sup>3</sup>/saat olarak ölçülen yakılan doğalgazın miktarının şartnameye göre 874 nm<sup>3</sup>/saat olması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında 5. Test için Doğalgaz tüketimi açısından performans kriteri sağlanmıştır.

### 3. Fırın Sıcaklıkları:

Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.

$$T_f = 877,64 > 850$$

1.cil ısı eşenjöründen fırına verilen ısıtılmış havanın ölçüldüğü bölgedir. **Her iki fırındaki sıcaklıklar, Yönetmelik'te önerilen 850 °C ve üzeri şartını sağlamaktadır.**

### 10. Hava Sıcaklıkları ve Nem Değerleri:

Sıcaklık ( Ortalama ): 9,1 °C

Nem ( Ortalama ): % 66,1

### 11. Net Elektrik Çıktısı Verileri ve Değerlendirmesi:

Üretilen Elektrik (kWh) : 2.154

Arıtma Tesisine verilen elektrik (kWh): -909

Tüketilen Elektrik (kWh): 1.245

### 12. Buhar Üretimi:

Saatlik olarak 10.806,20kg/saat kızgın Buhar ortalama 423,40 °C sıcaklık ve 36,60 bar basınçla üretilmiştir.

**Buhar debisi, basınç ve sıcaklık şartlarına göre üretilmesi gereken elektrik miktarı**

**W= 2106 kWh çıkmaktadır.**

### 8. Yanma için gerekli oksijen ihtiyacı:

$$NO_2 = Y_C / 12 + Y_H / 4 + Y_S / 32 - Y_O / 32$$

**Çamurun yanması için gerekli oksijen ihtiyacı  $NO_2 = 4,012$  kmol**

$$NO = (4,012 - 3,648) / 3,648 = 0,041 \text{ çıkmaktadır.}$$

### 9. Tüketilmesi – Tüketilen Elektrik Miktarları:

Tüketilmesi gereken elektrik  $\Omega = 1244$  kWh çıkmaktadır.

Tüketilen gereken elektrik miktarı ise **1245 kWh'tir**

### 10. Emisyon sonuçları ve bunların limitlere göre Değerlendirmesi:

**5. performans testine** ait emisyon değerleri incelendiğinde sadece CO değerinde günlük ve yarım saatlik ortalamalarda yönetmelik limit değerlerinin üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç, test-5'te sisteme yanma için gerekli havanın yeterince verilmemiş olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu problem havadaki hava oranının artırılması ile çözülebilecektir.

## **11. Emisyon Arıtma Ünitelerinde kullanılan sarf malzemelerin tüketiminin**

### **Değerlendirmesi:**

Sarf malzeme tüketimleri emisyon değerlerinin altında olmasından dolayı kullanım miktarlarından daha az miktarlarda besleme yapılmıştır. Ağır metaller için bir indikatör olan civa değerleri çok düşük ( yaklaşık 1/50 ) olduklarından dolayı aktif karbon beslemesi yapılmamıştır.

## **5. TARTIŞMA VE SONUÇ**

### **5.1. Sonuçların Değerlendirilmesi**

1. Atık çamurun bertaraf edilmesi özellikle Büyük şehirlerde ciddi bir problem olup gerek çevre gerek ekonomik maliyet açısından ciddi yük getirmektedir. Günümüzde gerek çevre kısıtlamaları ve gerekse Büyükşehirlerdeki büyük miktarlarda atık çamur ortaya çıkması yakma sistemlerini öne çıkarmaktadır. Hatta tek alternatifsiz kılmaktadır. Çevre etkileri açısından değerlendirildiğinde yakma sırasında oluşan emisyonlar çevreye risk taşımakla birlikte emisyon kontrol sistemleri ile bu risk minimuma indirilebilmektedir.

Dolayısıyla daha kontrollü salınım olmakta yanma ürünleri ekonomik değer olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

2. Yakma sistemleri içerisinde doğrudan veya dolaylı sistem tercih edilebilir. Ancak yanma ürünleri ve kül kontrolü kazanımı açısından doğrudan yakmanın daha avantajlı olduğu söylenebilir.

3. Atık çamurun su oranı yüksek olduğundan doğrudan yanma mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ya ilave yakıt kullanımı gerekmekte veya veya çamurun kurutularak yakılması gerekmektedir. Kurutma için kullanılan yöntemlerde gerekli enerji miktarı maliyeti arttırmaktadır. Gerek ilave kurutma tesisi maliyeti ve gerekse ek enerji kullanım maliyeti yükseltmekte yatırım avantajı sağlamamaktadır. Bu nedenle doğrudan yakma daha avantajlı gözükmektedir.

4. Atık enerjinin ton başına bertaraf maliyeti bu tesis için ortalama 125 TL / Ton gibi bir değer elde edilmiştir. Bu maliyet sadece kurutma maliyetinden düşüktür. Dolayısıyla avantajlıdır.

5. Doğrudan yakma sisteminde atık buharın büyük kısmı yoğuşturularak elde edilen enerjiden ısıtma ve diğer alanlarda kullanılarak değerlendirilebilir. Buda birim maliyet çok daha düşük değerlere getirir. Kurutmada ise bu durum hemen hemen mümkün değildir. Tesiste bypass hatları ile gerektiğinde ısı değiştiriciler ( duman ısıtma ) devre dışı bırakılarak baca fan gücü düşürülebilir. Bu şekilde elektrik çıktısı ve elektrik üretimi arttırılabilir. Bu da birim maliyeti azaltır.

6. Giriş yanma havasının baca gazı ile ısıtılması önemli bir procestir. Doğalgaz tüketimini önemli ölçüde azaltırken, sistem yükünü küçülterek yatırım ve işletme maliyetini azaltmaktadır. Dolayısıyla kullanılması gereklidir.

## **5.2. Atık Yakma Tesisi Avantaj ve Dezavantajları**

### **5.2.1. Avantajları:**

- a. Elektrik Üretimi
- b. Buhar Üretimi
- c. Su GeriKazanımı
- d. Külün Hammadde ve Yarı Mamül ürün olarak kullanımı
- e. Açığa çıkan çürük buharın farklı amaçlarla kullanımı

### **5.2.2. Yakma Tekniği Açısından Değerlendirme Avantajları:**

- Sıcaklık, Zaman ve Türbülans bağlı olarak, akışkan yataklı yakma tekniği en verimli termal tekniktir.
- yakma havasınının baca gazından elde edilen atık ısıyla ısıtılmasına bağlı olarak yanma için sınırlı miktarda ilave yakıt gerekli olacaktır.
- Yanma işlemine maruz kalan herhangi bir hareketli parça yoktur.
- Yanma işlemi çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. CO Emisyonları düşüktür.
- Yanma işlemi sonrası açığa çıkan küllerin geri kazanımının % 100 olması

### **5.2.3. Dezavantajları:**

#### **a. Atık Yakma Tesisleri – Güç Santralleri Karşılaştırması Değerlendirme:**

Atıktan enerji elde edilen tesisleri diğer güç santralleriyle kıyaslamak pek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bu tesislerin birincil amacı çevreye zarar vermeksizin bertarafı olmaktadır. Böyle tesislerde atıklar bertaraf edilirken enerji eldesi ile atıklar ekonomiye kazandırılmış olmaktadır.

#### **b. Yakma sistemlerinin karşılaştırılması:**

Yakma sistemleri talep edilen durumlar için birbirlerine göre üstün hale gelebilmektedir. Ancak yüksek kapasitede buhar veya elektrik üretiminin yapıldığı endüstriyel tesislerde bazı yakma sistemleri üstün özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Yakma sistemlerinin bazı kıstaslara göre özellikleri verilmiştir

- c. Ticari işletmede olan en büyük santral gücü 250 MW tır.
- d. Yeni bir teknoloji olması nedeni ile gelişme sürecindedir.
- e. Açığa çıkan çürük buharın farklı amaçlarla kullanımı

## KAYNAKLAR

**Taşkan, O., 2001.** Depolama sahası gazlarının yönetimi ve modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

**Demir, İ., Altınbaş, M. ve Arıkan,O., 1999.** Katı atıklar için entegre yönetim yaklaşımı, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 17-19 Şubat, c.3, s. 252-262

**Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S.A., 1993.** Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGrawHill International Editions.

**Incropera, F.P. and DeWitt D.P., 2001,** Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

**Köse, R., 1995.** Akışkan Yatakta Yanmanın Modellenmesi ve Türk Linyitlerine Uyarlanması, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Çelik, A., 2005.** İstanbul Büyükşehir Belediyesi evsel katı atıklardan enerji üretim faaliyetleri, 11. Uluslar arası Kojenerasyon, Kombine Çevrim ve Çevre Konferansı,ICCI 2005, 26-27 Mayıs, s. 76-81

**Parmaksızoğlu, C. ve Uğural, G., 1992,** Vantilatörler ve Sistemleri, Termas Yayınları 6, İstanbul.

**Büyüktür AR. Termodinamik Cilt 1 ,2, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1986**

**Savruk N. Yeşin T. Gaz/Buhar Kombine Çevrim Enerji Santrallerinin Performans Analizi. Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi, 2001**

**Acar, A., 1998.** Kentsel katı atık yönetimi: Denizli örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 ‘‘ ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi Atık Yakma –**

**Karadeniz R., Avcı A., Taşdemir Y 2018.** 400 TON/GÜN Kapasiteli Akışkan Yataklı Çamur Yakma ve Enerji Elde Tesisi Performans Testleri Değerlendirmesi

**Tosun İ., Korkmaz Z. 2019.** Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi ‘‘İSPARTA’DA SÜRDÜRÜLEBİLİR TEHLİKELİ ATIK YÖNETİMİ Isparta

**İpek – Gürel ( 2018 )** 330 MWth yazılan Makalede Çan Dolaşımli Akışkan Yatklı Termik Santral Kazanının Hesaplamalı Partikül Akışkanlar Dnamiği Metoduyla Sayısal Analizi

**Balcı S. – Yücel N.( 1994 )** Yazılan Makalede Büyük Partiküllü Akışkan Yataklarda Isı Transferi

**Selçuk – Guangxi – Oymak – Tübitak ( 2001 )** Yazılan Makalede Akışkan Yataklı Kazan Teknolojilerine Dayalı Buhar - Elektrik Üretimi

**Köse R. – Yazıcı M.( 2019 )** Yazılı Makale Çevre Sıcaklığının Dossat (1997) tarafından yazılan kitapta, soğutma tekniği , çevrimi ve soğutma çevriminde kullanılan ekipmanlar ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

**Haukahi – Kristlansen ( 2013 )** Yazılı kitapta Waste incineration

**World Bank ( 1999 )** Hazırlanan kitapta Municipal Solid Waste Incineration

**Basu ( 1991 )** Yazılı kitapta Circulating Fluidized Bed Boilers



**Basu ( 2015 )** Yazılı kitapta Circulating Fluidzed Bed Boilers Dseing Operation and Maintance

**Nidoni ( 2017 )** yazılı makalede Inceneration Process For Solid Waste Management and Effective Utilization of By Product

**TÜBİTAK ( 2018 )** Haızrlanan Projede Batı Karadeniz Bölgesi Katı Atıklarının Yakma Tesisinde Bertarafı için Ön Fizibilite Raporunun Hazırlanması Projesi

**Erbaş ( 2019 )** Yazılı Makalesinde Kabarcıklı Akışkan Yataklı Bir Reaktörde Isı Geçişini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

**Ahrends, J.**, 1980. Referans States, *Energy*, **5**, 667-677.

**Arısoy, A.**, 2000, Türkiye İklim Verileri, T.T.M.D. Teknik Yayınları, Ankara.

**ASHRAE Temel El Kitabı**, 1997a, Bölüm 4 İki Fazlı Akış, Çeviri, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar: 2, Ankara.

**ASHRAE Temel El Kitabı**, 1997b, Bölüm 32 Kanal Tasarımı, Çeviri, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar: 2, Ankara.

**Basu, P., Kefa, C. and Jestin, L.**, 1999, *Boilers and Burners*, Springer, New York.

**Bejan. A.**, 1996, *Entropy Generation Minimization*, CRC Pres, Boca Raton.

**Bilgen, S., Kaygusuz, K. ve Sarı., A.**, 2004. Second Law Analysis of Various Types of Coal and Woody Biomass in Turkey, *Energy Sources*, **26**, 1083-1094.

**Çengel, Y.A. and Boles, M.A.**, 1996, *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Çeviri, Literatür, İstanbul.

**Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği**, 2004, Sayı: 25606  
**Eskin, N.**, 1990. Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı ve İkinci Kanun Analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Genceli, O.F.**, 1995, Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Yardımcı Tablolar, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.

**Genceli, O.F.**, 1999, Isı Değiştiricileri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim BÜYÜKPOYRAZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : ARTVİN – YUSUFELİ 14.07.1969  
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Erkek Lisesi  
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü-1997  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine  
Mühendisliği Anabilim Dalı-2020

Çalıştığı Kurum : Zorlu Holding, Korteks Mensucat Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
1997-2017  
Işıksoy Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
2018-

İletişim(e-posta):[selim.buyukpoyraz@hotmail.com](mailto:selim.buyukpoyraz@hotmail.com)

