



**SERAMİK SEKTÖRÜNDE PİŞİRME FIRIN ATIK
ISILARININ PÜSKÜRTMELİ KURUTUCULARDA
GERİ KAZANIMI**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Soner YILMAZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**SERAMİK SEKTÖRÜNDE PİŞİRME FIRIN ATIK ISILARININ
PÜSKÜRTMELİ KURUTUCULARDA GERİ KAZANIMI**

Soner YILMAZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

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

**KARABÜK
Mayıs 2023**

Soner YILMAZ tarafından hazırlanan “SERAMİK SEKTÖRÜNDE PİŞİRME FIRIN ATIK ISILARININ PÜSKÜRTMELİ KURUTUCULARDA GERİ KAZANIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/05/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BARÜ)

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Soner YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK SEKTÖRÜNDE PIŞİRME FIRIN ATIK ISILARININ PÜSKÜRTMELİ KURUTUCULARDA GERİ KAZANIMI

Soner YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Mayıs 2023, 64 sayfa

Bu çalışmada, seramik sektöründe yoğun olarak kullanılan ısı enerjisinin daha verimli kullanılması amaçlanmıştır. Isıl prosesler sonrasında meydana gelen atıl ısıların sisteme tekrar kazandırılarak elde edilecek enerji kazanımları için yapılması gereken ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanması için gereken aşamalar araştırılmıştır. Yüksek termal enerji süreçleri çoğunlukla yüksek termal kayıplarla ilişkilendirilir (genellikle atık ısı olarak adlandırılır), bu da atık ısı geri kazanımı stratejilerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle endüstriyel termal uygulamalarda, yani enerjiyi yoğun kullanan proseslerde enerji verimliliğini artırmak için uygun bir çözüm olarak tanımlanmıştır. Seramik sektörü, temel olarak pişirme, kurutma ve püskürtmek kurutma için gereken yakıt tüketimi nedeniyle atık ısı geri kazanım sistemleri için elverişlidir. Bu çalışma, seramik sektöründe uygulanan atık ısı geri kazanım uygulamalarının geliştirilmesi planlanmıştır. Enerji verimliliğinin, yüksek verimli brülörlerde %10-20'ye varan oranlarda tasarruf sağladığı; sıcak hava geri dönüşüm

çözümleri için %15- %40 ve kojenerasyon için gaz türbinleri düşünüldüğünde %30 enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu, enerji tasarrufunu ve karbon emisyonlarının azaltılmasını teşvik etmek için önemli potansiyele sahip teknolojilere ve stratejilere odaklanılmaktadır. Burada asıl amaç %70 oranında dışa bağımlı olduğumuz enerji konusunda bağımlılığı azaltabilmek ve dolaylı olarak seramik üretimi için gerekli birim enerji maliyetini düşürerek dış piyasa ile rekabet gücünü artırabilmektir. Bunun için özellikle otomasyon sistemlerinin entegrasyonu ile planlanan tasarruf ve verimlilik konusunda sağlanan kazanımlar için, ihtiyaç duyulan insan gücü parametresi yerine otomasyon sistemleri ile teknolojik olarak sistemlerin verimleri en üst noktalara çıkarma potansiyeli incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Fırın atık bacalarında yapılan ölçümler üzerinden yapılan hesaplamalar ile sadece püskürtmeli kurutucular için gerekli olan 150.000 m³/h debi ve 176 °C sıcaklığındaki karışım havası sisteme entegre edilmiştir. Yapılan bu ısı geri kazanım sonucunda 3 adet püskürtmeli kurutucu toplam 1220 Sm³/h doğalgaz tüketimi üzerinden 338 Sm³/h doğalgaz tasarruf sağlanarak, enerji maliyetlerinde %27' ye varan tasarruf sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Isı Geri Kazanım, Seramik fabrika, Enerji Verimliliği ve Tasarrufu, Otomasyon Önemi

Bilim Kodu : 92807

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

RECOVERY OF FURNACE WASTE HEATS IN SPRAY DRYERS AND THE IMPORTANCE OF AUTOMATION SYSTEMS IN CERAMIC INDUSTRY

Soner YILMAZ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy System Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

May 2023, 64 pages

In this study, the stages that need to be implemented as a whole from the beginning to the end of the heat recovery systems, which should be made for the more efficient use of the thermal energy, which is used extensively in the ceramic industry, and the energy gains to be obtained by reintroducing the waste heat that occurs after the thermal processes into the system, were investigated. High thermal energy processes are often associated with high thermal losses (often referred to as waste heat), which raises the need for waste heat recovery strategies. Therefore, it has been identified as a viable solution to increase energy efficiency in industrial thermal applications, i.e. energy-intensive processes. The ceramics industry is favorable for waste heat recovery systems mainly because of the fuel consumption required for firing, drying and spray drying. This thesis reviews the studies on the improvement of waste heat recovery applications applied to the ceramics industry. Energy efficiency solutions provide savings of up to 10-20% in high efficiency burners; 15%-40% energy savings are

provided for hot air recycling solutions and 30% energy savings are provided when considering gas turbines for cogeneration.

It focuses on technologies and strategies that have significant potential to promote energy savings and reduction of carbon emissions. The main purpose here is to reduce the dependence on energy, which we are dependent on foreign sources by 70%, and to increase competitiveness with the foreign market indirectly by reducing the unit energy cost required for ceramic production. For this purpose, it has been examined and evaluated that the automation systems and technological systems will maximize the efficiency of the systems instead of the required manpower parameter, especially for the gains in savings and efficiency, which are planned with the integration of automation systems.

With the calculations made on the measurements made in the kiln waste chimneys, 150,000 m³/h flow rate and 155 °C temperature mixing air required only for spray dryers were integrated into the system. As a result of this heat recovery, 3 spray dryers totaling 1220 Sm³/h natural gas consumption was 300. Sm³/h natural gas savings were achieved, resulting in 27% savings in energy costs.

Key Word : Heat Recovery, Ceramic Factory, Energy Efficiency and Saving, Importance of Automation.

Science Code : 92807

TEŐEKKÖR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıęım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiębir yardımı esirgemeden yanımda oldukları için tűm kalbimle teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. SERAMİK SEKTÖRÜNDE ENERJİNİN ÖNEMİ.....	2
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 2	7
SERAMİK SEKTÖRÜ İŞLEYİŞ VE PROSESLER.....	7
2.1. SEKTÖRE ÖZGÜ BİLGİLER.....	7
2.2. PIŞIRIM FIRINLARI GENEL ÖZELLİKLER	8
2.3. PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU TANITIM VE İŞLETME BİLGİLERİ	12
2.3.1. Püskürtmeli Kurutucu Genel Özellikler	12
BÖLÜM 3	16
SERAMİK SEKTÖRÜ ATIK ISI GERİ KAZANIMLARI	16
3.1. ATIK BACA GAZI İÇERİĞİ VE GERİ KAZANIM NOKTALARI	16
3.1.1. Fırın Baca Gazı Ölçümleri.....	18
3.1.2. Atık Isı Ölçüm Cihazı Tanıtımı	20
3.2. ATIK ISI GERİ KAZANIM BÖLGELERİ	21
3.3. ATIK ISILARIN KURUTUCULARDA GERİ KAZANIMI.....	23
3.3.1. Püskürtmeli Kurutucu Enerji Tüketimi	23

	<u>Sayfa</u>
3.3.2. Püskürtmeli Kurutucu Enerji Kazanımları	25
3.4. PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU VE TÜNEL FIRIN ENERJİ ANALİZLERİ	28
3.4.1. Fırın Enerji Yaklaşımları	28
3.4.2. Pişirim Fırını Sonuçları	29
3.4.3. Püskürtmeli Kurutucu Kütle Analizi	29
3.5. SİSTEMDE KULLANILACAK EKİPMANLAR.....	32
3.5.1. Isı Geri Kazanım Borulama Hattı	32
3.5.2. Endüstriyel Fan Seçimi ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	34
3.5.3. Klapeler	37
3.5.4. İzolasyon.....	38
3.5.5. Alüminyum Kaplama	40
3.5.6. Eşanjör Sistemi ve Seçimi	42
3.5.6.1. Isı Borulu Isı Eşanjörü Kullanımı	44
3.5.6.2. Eşanjör Seçimi Tespit Öneri	45
3.5.7 Sensörler	46
3.5.8. Isı Geri Kazanım Kontrol Panosu.....	47
3.5.9. Damper Motorları	49
3.5.10. İvertörler	50
4.5.11. Montaj Aksesuarları	51
BÖLÜM 4	52
4.1. ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ UYGULAMA METODU	52
4.2. ISI GERİ KAZANIM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	55
4.2.1. Bacalardan Atılan Enerji Miktarı;	55
4.2.3. Karbon Salınımı Miktarı;.....	56
4.2.4. Kuru Hava Yoğunluğu;	56
4.2.5. Denge Sıcaklığı.....	56
BÖLÜM 5	58
SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye Sektörel Enerji Dağılımı ve Enerji Arzında Kaynakların Payları-2020.....	1
Şekil 1.2. Seramik Enerji Maliyeti ve Proseslerin Enerji Dağılımları-2020.....	2
Şekil 1.3. Pişirim Fırını ve Püskürtmeli Kurutucu Isı Geri Kazanımı	3
Şekil 1.4. Seramik Sektörü Termal Enerji Dağılımı	3
Şekil 2.1. Seramik Fabrikası İş Akış Prosesleri	7
Şekil 2.2. Seramik Fabrikaları Pişirme Fırınları Gösterimi	8
Şekil 2.3. Hammadde Mamul Hazırlama	9
Şekil 2.4. Karo Üretim Şeması.....	10
Şekil 2.5. Hammadde Seramik Üretim Prosesleri.....	11
Şekil 2.6. Püskürtmeli Kurutucu Teknik Gösterimi.....	12
Şekil 2.7. Püskürtmeli kurutma sisteminin çalışma prensibi	14
Şekil 3.1. Seramik Fırın Atık Hava Sirkülasyonu.....	17
Şekil 3.2. Pişirim Fırını Geri Kazanım Noktaları	18
Şekil 3.3. Pişirim Fırını Baca Gazı Ölçümü.....	20
Şekil 3.4. Ölçüm Cihazları ve Pitot Tüpü	21
Şekil 3.5. Bacagazı ölçüm noktaları.....	21
Şekil 3.6. Püskürtmeli kurutucudaki ısı geçiş diyagramı.....	24
Şekil 3.7. Püskürtmeli kurutucudaki ısı (enerji ve malzeme) dengesi	25
Şekil 3.8. Giren sıcak havanın sıcaklığının fonksiyonu olarak püskürtmeli kurutucunun spesifik enerji tüketimi.	26
Şekil 3.9. Püskürtmeli kurutucu Sıcaklık Dağılımı.....	27
Şekil 3.10. Giren-Çıkan Ürünler [19].	28
Şekil 3.11. Sprey Kurutucuya Giren ve Çıkan Materyallerin Gösterimi.	29
Şekil 3.12. Boru Hattı Montajı.....	33
Şekil 3.13. Boru Hattı Montajı Flanş Bağlantıları	34
Şekil 3.14. Fan Yerleşimi.....	35
Şekil 3.15. Statik basınç, boru yüzeyine direk olarak etki eden basınç	36
Şekil 3.16. Dinamik basınç, havanın kinetik enerjisinden oluşan basınç	36
Şekil 3.17. Toplam basınç, $PT = Pst + \Delta P$	36

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.18. Toplam basınç , $PT = Pst + \Delta P$	37
Şekil 3.19. Hava Ayar Klapesi [21].	37
Şekil 3.20. Boru Hattı İzolasyon ve Kaplamalar.....	38
Şekil 3.21. Ek Yerleri Vana Ceket Kullanımı.....	39
Şekil 3.22. Sanayi şiltesi	40
Şekil 3.23. Alüminyum Gofraj Kordon Çekimi.....	41
Şekil 3.24. Eşanjör Çeşitleri Sırasıyla Reküparatör ve Borulu Tip.....	43
Şekil 4.25. Eşanjör Ekran Bilgileri	44
Şekil 3.26. Isı Borulu Isı Eşanjörü	45
Şekil 3.27. Basınç Sensörleri	46
Şekil 3.28. Sıcaklık Sensörleri	47
Şekil 3.29. Boru Kanalına Sıcaklık Sensör Yerleşimi	47
Şekil 3.30. I.G.K. Panoları	48
Şekil 3.31. Pano içi sürücü ve diğer yerleşimler.....	49
Şekil 3.32. Damper Motorları	50
Şekil 3.33. Sürücüler.....	50
Şekil 3.34. Konsollama, Kompansatör ve Yanmaz Silikon.....	51
Şekil 4.1. Isı Geri Kazanım Sistemi Prensi Gösterimi.....	54
Şekil 5.1. Isı Geri Kazanım Tasarruf Şeması.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Püskürtmeli Kurutucu Isı Enerjisi Tüketimi	30
Çizelge 3.2. Püskürtmeli kurutucunun buharlaştırma kapasitesi ve püskürtmeli kurutulmuş ürünün hesap çizelgesi.....	32
Çizelge 3.3. Malzeme Cinslerine Göre Isıl İletkenlik Katsayısı	39
Çizelge 4.1. Püskürtmeli kurutucudaki katalog değerleri	52
Çizelge 4.2. Örnek Seramik Fabrikaları Atık Isı Ölçüm Sonuçları	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİ

SİMGELER

I.G. K	: Isı Geri Kazanım
L	: Litre
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su buharı
S	: Kükürt
SO ₂	: Kükürt Dioksit
g	: Yoğunluk(kg/m ³)
Sm ³	: Standart metreküp
P _{st}	: Statik Basınç, Pa
Δp	: Dinamik Basınç, Pa
ΔT	: Sıcaklık farkı, °C, °K
m	: Akışkan kütleli debi, kg/h
Cp	: Spesifik ısı katsayısı, kcal/kg °C
°C	: Santigrat Derece

KISALTMALAR

St-37	: En Az 37 kg/mm Çekme Dayanımına Sahip Çelik
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
HPHE	: Isı Borusu Tabanlı Isı Eşanjörü
F1S	: Fırın-1 Soğutma Bacası
F2S	: Fırın-2 Soğutma Bacası
F3S	: Fırın-3 Soğutma Bacası
F1E	: Fırın-1 Egzoz Bacası

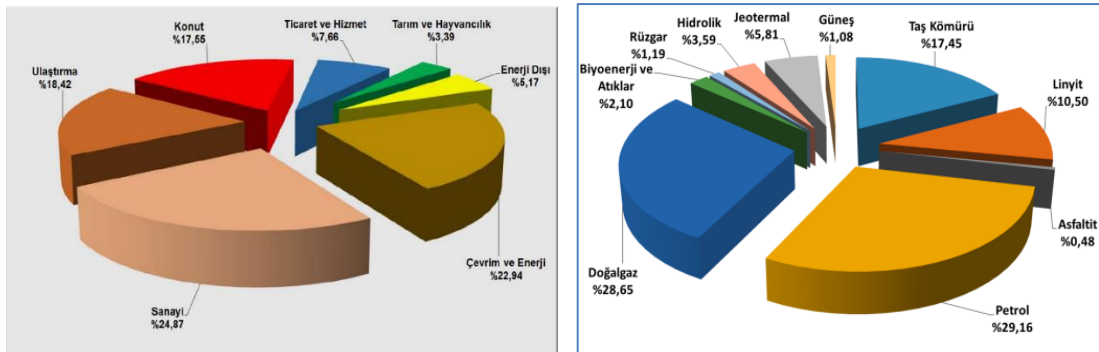
- F2E : Fırın-2 Egzoz Bacası
F1SS : Fırın-1 Son Soğutma Bacası
F2SS : Fırın-2 Son Soğutma Bacası
F3SS : Fırın-3 Son Soğutma Bacası
ATM : Seramik ürün serisi,püskürtmeli kurutucu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji verimliliği çalışmaları tüm dünyada olduğu gibi, enerjisinin %75'inden fazlasını ithal eden Türkiye'de daha fazla önem kazanmaktadır. Ülkemiz enerji alanında ciddi açıklar vermektedir. Bu yüzden bu alanda sağlanacak tüm faydalar öncelikle işletmelere sağlayacağı kazançların yanında ülke ekonomisine faydalı olacaktır. Enerji için harcanan 80 Milyar USD/Yıl üzerinde bir bedel Türkiye ekonomisi için önemli olduğu kadar enerjiyi yoğun kullanan endüstriyel tesislerin maliyetleri içinde en önemli kalemlerden birini oluşturmaktadır. Şekil 1.1' de sektörel enerji dağılımında sanayinin payı ve enerji arzındaki kaynakların payının önemi daha belirgin anlaşılmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi üretim ve tüketim arasındaki dengeyi tutturabilmemiz için en büyük tüketim kaynağı olan sanayideki enerjinin verimli kullanılması gereklidir.

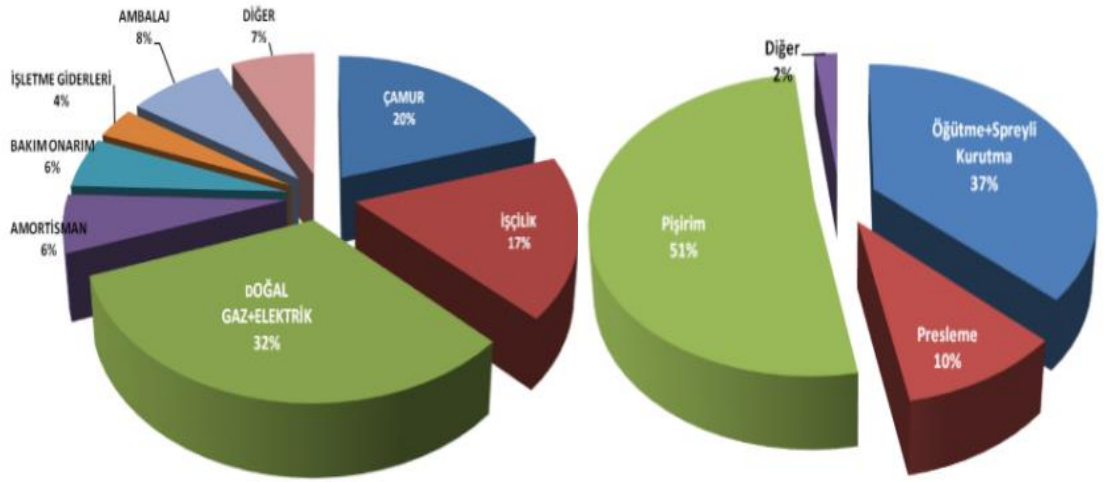
Enerji maliyetlerini düşürmek çeşitli yöntemler mevcuttur bunlar; eldeki kaynakların verimli kullanılması, yenilenebilir enerjiye yatırım yapılması vs. gibi ama bu çalışmalar içerisinde en kısa geri dönüş süresine sahip ayrıca uzun vadede kazanç sağlaması, bilinç ve duyarlılık uyandırması sebebiyle en verimli ve kazançlı uygulama enerji verimliliği çalışmaları olacaktır [1].



Şekil 1.1. Türkiye Sektörel Enerji Dağılımı ve Enerji Arzında Kaynakların Payları-2020 [2].

1.1. SERAMİK SEKTÖRÜNDE ENERJİNİN ÖNEMİ

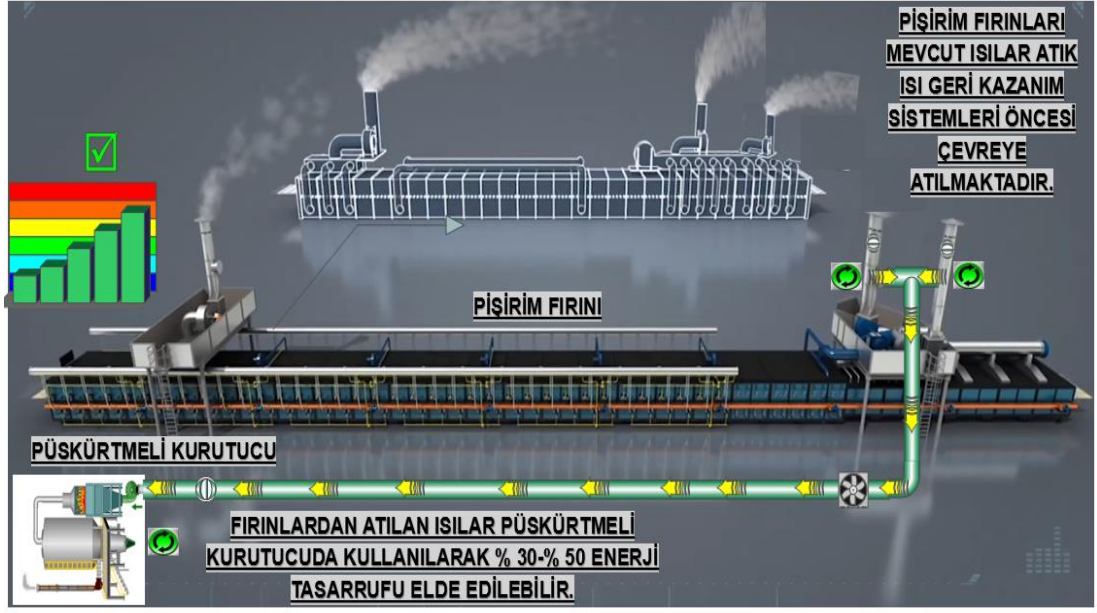
Seramik sektöründe enerjinin toplam maliyet üzerindeki oranı Şekil 1.2'de gösterildiği üzere %32'lerin üzerindedir. Özellikle ülkemizin enerji konusunda dışa olan bağımlılığında göz önüne alınırsa, atık ısı geri kazanımına ait projenin uygulanması sonucunda kazanım, enerji bağımlılığımızı azaltacaktır. Keramik sektöründeki firmaların rekabet gücü büyük oranda yakıt fiyatlarına bağlıdır ve enerji maliyetlerini düşüren, uygun maliyetli atık ısı geri kazanım sistemlerinin entegrasyonu ile yabancı piyasa ile rekabet konusunda elimiz güçlenecek ve ihracatımız artacaktır.



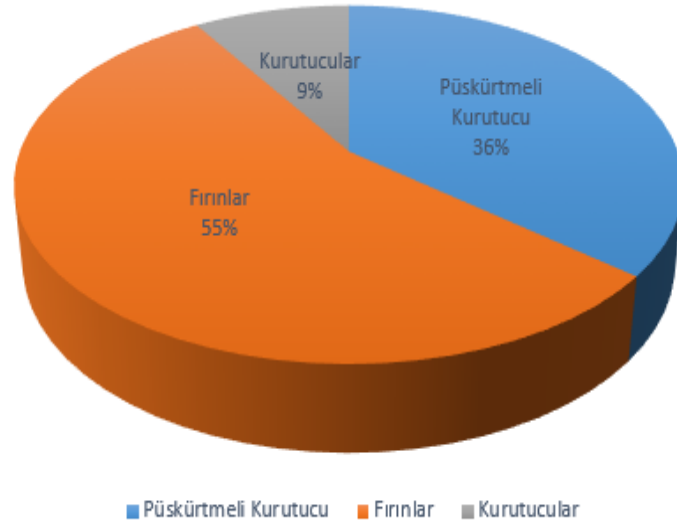
Şekil 1.2. Seramik Enerji Maliyeti ve Proseslerin Enerji Dağılımları-2020 [3].

Seramik sektöründeki ısı kayıplar kurulacak atık ısı geri kazanım sistemleri ile doğrudan ve dolaylı olarak rahatlıkla geri kazanılabilir. Şekil 1.3' te seramik ısı geri kazanımına ait sistem gösterilmiştir.

Seramik sektöründe, pişirim fırınlarından atılan yüksek sıcaklık ve debideki atıl havalar kullanılmadan çevreye atılmaktadır. Bu durum yüksek potansiyele sahip, geri kazanılabilir termal enerjimizi israf etmemize hem de açık verdiğimiz enerji dengesinde ülkemize ciddi ekonomik yük bindirmektedir. Seramik proseslerinde en çok enerji tüketimi yapılan bölümler Şekil 1.4 ' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Pişirim Fırını ve Püskürtmeli Kurutucu Isı Geri Kazanımı



Şekil 1.4. Seramik Sektörü Termal Enerji Dağılımı

Bu çalışmanın amacı seramik fabrikalarında bulunun en yüksek enerji tüketim kaynağı olan pişirim fırınlarından atılan atık ısıların, aynı fabrika içerisinde bulunan püskürtmeli kurutucularda kullanılarak enerji verimliliği sağlamaktır. Bu sayede hem enerji verimli kullanılarak birim maliyetler düşecek aynı zamanda ülkemizin enerji alanındaki dışa bağılılığının düşmesine faydası olacaktır.

Bu çalışmada vurgulanan sistem kurulumdaki önemli noktalar, malzeme seçimlerinde dikkat edilmesi gereken hususları, proje başlangıcında atık ısıların tespiti, atık ısının kullanılacağı cihazda dikkat edilmesi gereken durumları detaylı olarak ele alınmıştır. Sistem fırınlardan atılan tüm atıl ısılar yerine püskürtmeli kurutucular için yeterli debi hesabı yapılarak baz alınmıştır. Bundan dolayı gerek düşük sıcaklıkta olan son soğutma havaları, gerekse içerik olarak eşanjörle temizlenerek sisteme verilmesi gereken kirli (kükürtdioksit, azotdioksit, sıvı kimyasalları vb.) egzoz havaları geri kazanıma dahil edilmemiştir. Baz alınan veriler tüm seramik fabrikaları için geçerli ortalamalar alınarak sistem tasarımı yapılmıştır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstriyel tesislerde en büyük maliyetlerin başında enerji geldiği için tüm bu tesislerde enerji verimliliği çalışmaları yapılması zorunlu olmalıdır. Günümüzde mevzuatlar gereği sistem bu noktaya gelmiştir. Özellikle seramik fabrikalarında üretimin devamlılığı için vazgeçilmez olan pişirim fırınları üretim devam ettiği sürece çalışmasına devam edecek ve yüksek sıcaklıktaki atık ısısını atmosfere atacaktır. Bu atmosfere atılan atık ısılar her işletme açısından geri kazanımı sağlanmadığı sürece ciddi bir maddi kayba neden olmaya devam edecektir. Bu durumdan dolayı tüm işletmelerde atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılmalıdır.

Atık ısı sıcaklık değerlerine göre 650 °C üzerindeki yüksek sıcakta ısı, 120 °C-650 °C arası orta sıcaklıkta ısı ve 120 °C altındaki düşük sıcaklıkta ısı olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Atık ısı geri kazanımına ait literatürde yapılan farklı çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalardan bir bölümü sınıflandırılarak özetlenmeye çalışılmıştır [4].

Velic v.d. (2003), Enerji verimliliğinin ve mevcut tüketimi minimuma indirmenin en iyi yolu atık ısılarından faydalanarak olacağını savunmuştur. Doğalgaz kazanımının, atık ısı geri kazanımı arttıkça artacağını ve sonuç olarak %14 civarında tasarruf sağlanacağı ve beraberinde CO₂ emisyon düşürüleceğini savunmuştur [5].

Apak E. (2007), Seramik fabrikalarında enerji tüketiminin yoğun olduğu proseslere enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Bu proseslerde düşük verimliliğe dikkat çekmiştir. Burada enerji verimliliği bir hayli düşük olan fırınlar ve püskürtmeli kurutucu için enerji etütleri yapılması gerektiğini savunmuştur [6].

Turan (2009) kurutucular üzerine enerji ekserji çalışmaları yapmıştır. Verimliliği etkileyen en büyük etkenin izolasyonun olduğunu savunmuş ve yapılacak yatırımların geri dönüş süresinin çok kısa olacağını belirtmiştir. Özellikle yapılacak izolasyon yatırımları çok kısa sürede kendini amorti ederek sistemin daha verimli hale geleceği savunulmuştur [7].

Afşar (2011), doğalgaz tüketimi olan tüm bölümlerin enerji ve ekserji analizleri üzerine çalışma yapmıştır. Burada enerji ve ekserji kayıplarını minimuma indirecek ve verimlilikleri artıracak öneriler sunulmuştur [8].

Aghbashlo vd. (2013), püskürtmeli kurutucuda kullanılan ısı enerjisinin önemli bir maliyet oluşturduğu ve enerji maliyetlerinin öneminden bahsetmiştir. Burada enerjinin daha verimli kullanılması gerekliliğinden ve artan enerji talebi nedeniyle oluşabilecek çevre kirliliğinden bahsetmiştir [9].

Utlı ve Hepbaşı (2014), yıllık üretimi 24 milyon m² olan bir seramik işletmesinin termo ekonomik değerlendirmesini yapmıştır. Bu değerlendirme püskürtmeli kurutucu, dikey kurutucu ve fırınlar üzerine olmuştur. Bu üç prosesi enerji, ekserji ve eksergonomik açıdan performanslarını irdelemiştir. Termodinamik anlamda kaybolan enerji fiyat oranı 53.38-135.83 MW/\$ arasında olduğunu belirlemişlerdir [10].

Mezquita vd. (2014), seramik tesislerinde enerjinin en yoğun pişirim fırınlarında kullanıldığını ve bu enerjinin doğalgaz ile karşılandığını belirtmiştir. Pişirim fırınlarında ısıl enerjinin yarısının baca gazı ve soğutma havası olarak kaybolduğunu bildirmiştir. Pişirim fırına giren ve çıkan tüm maddelerin enerji ve ekserjilerini hesaplamış, dışarıya atılan soğutma havasını fırına yakma havası olarak göndermiş ve sonucunda %17 enerji tasarrufu sağlamıştır [11].

Golman ve Julklang (2014), seramik fabrikasında püskürtmeli kurutucu üzerine atık ısı geri kazanımını vurgulamıştır. Atık ısı debi ve sıcaklığının artışına bağlı olarak kazanım miktarında artacağını vurgulamıştır. Atık ısının kullanımının artmasıyla enerji verimliliğinin artacağını söylemiştir [12].

Başka bir çalışmada Çağlayan H. seramik üzerine bir fabrikanın atık ısı geri kazanım sistemini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda püskürtmeli kurutucularda atık ısı geri kazanım termodinamik ve ekonomik analizini yapmış ve sistemin %30 kazanç sağladığını söylemiştir [13]

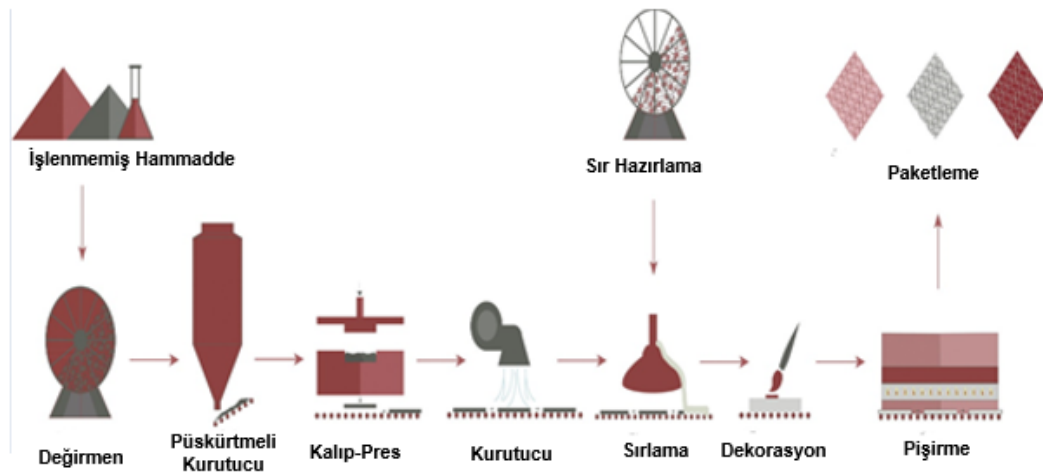
Literatürde olan çalışmalar genelinde enerji-ekserji çalışmaları üzerine olup, sistem dizaynı, ekipman seçimi ve atık ısı geri kazanımına daha sade bir bakış getirmesi açısından yaptığımız çalışma farkındalık oluşturması amaçlanmıştır. Aynı zamanda sadece seramik fabrikaları değil, ısı proseslerinin yoğun olduğu tüm işletmelerde (tekstil, çimento, cam, porselen, vitrifiye vb.) olmalıdır. Bu çalışma inceleme ve değerlendirme çalışmasıdır.

BÖLÜM 2

SERAMİK SEKTÖRÜ İŞLEYİŞ VE PROSESLER

2.1. SEKTÖRE ÖZGÜ BİLGİLER

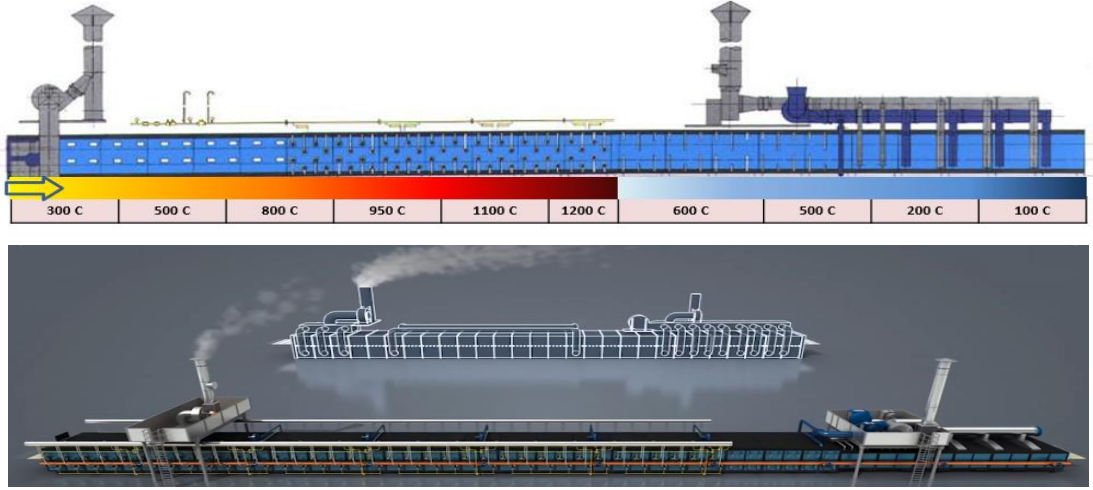
Seramik fabrikasında çok yoğun bir proses akışı olup, işlenmiş hammaddelerin istenilen reçeteler oluşturularak öncelikle değirmenlerde karışımları sağlanır. Püskürtmeli kurutucuya çamur halinde verilen masse (sıvı haldeki ürün) yüksek sıcaklık ve debide nem oranı %5 -%8 arası ayarlanarak, preslere gönderilir. Ön kurutma işlemi sonucu %1'lere kadar düşen nemli karo, sırlama ve dekor işlemlerinden sonra pişirme fırınına verilerek paketlemeye hazır hale gelmektedir. Tüm bu işlemler Şekil 2.1'deki gösterildiği şekilde olmaktadır [14]



Şekil 2.1. Seramik Fabrikası İş Akış Prosesleri [14].

2.2. PİŞİRİM FIRINLARI GENEL ÖZELLİKLER

Piştirme fırınları Şekil 2.2 'te olduğu gibi seramik prosesinin kalbi ve enerjinin en yoğun kullanıldığı bölümüdür. Fırın, hazırlanan malzemenin seramik haline dönüştüğü noktadır.



Şekil 2.2. Seramik Fabrikaları Piştirme Fırınları Gösterimi

Ham madde mamul hazırlamadaki süreç; atık ısının en uygun uygulanabildiği nokta olduğundan dolayı önemlidir. Sprey kurutucuya gönderilen ham ürün ortalama %70 katı ve %30 su içeriğine sahip olup %5-%7 aralığında değerlerde silolara beslenmesi gerekmektedir. Bunun için buharlaştırma kapasitesi 5.000 L olan kurutucu baz alınırsa 550 °C-650 °C sıcaklık ve 50.000 m³/h debide sıcak hava ihtiyacı olacaktır.

Seramikte piştirim;

Tasarlanmış ve kurutma işlemine tabi tutulmuş yarı mamulün bir sistem çerçevesinde ısıtılması ve soğutulması işlemidir. Piştirmedeki süreçler;

- Piştirim fırınının yüklenmesi
- Fırın ön kurutma
- Devamlı ısıtma
- Piştirme sıcaklığı
- Bölümsel soğutma

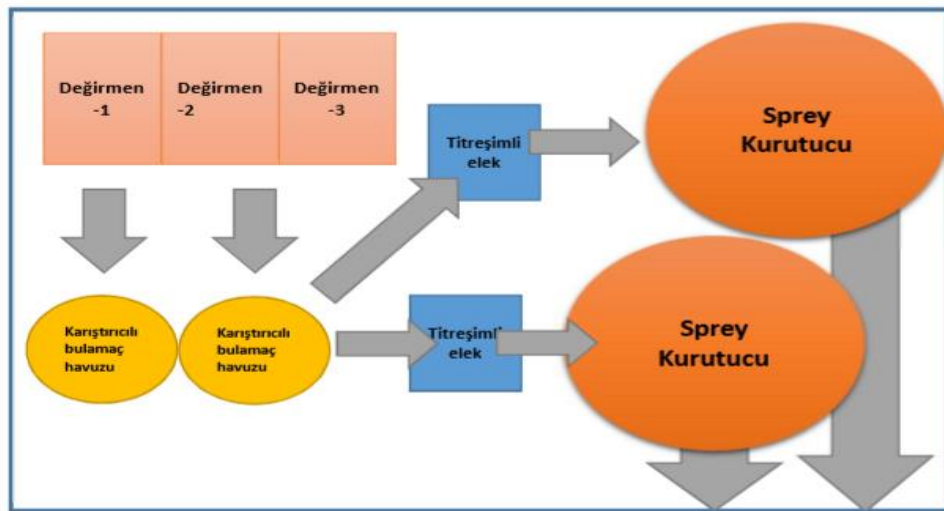
- Fırın boşaltımı

Piştirim için gerekli sıcaklık ortalama 1200–1250°C' dir. 55–200°C ön ısıtma ile fiziksel su ya da nem atılmaktadır. 200–400°C oluşumdan gelen kimyasal su uzaklaştırılmaktadır. 400–650°C arasında kuvars kuarsa dönüşür ve beraberinde kaolinit metakaolenite dönüşümünü gerçekleştirmektedir. Soğutma işlemi genel olarak 3 aşamada yapılmaktadır:

- Hızlı Soğuma (1200 – 650°C arası)
- Yavaş Soğutma (650 – 400°C arası)
- Normal Soğutma (400 – 100°C arası)

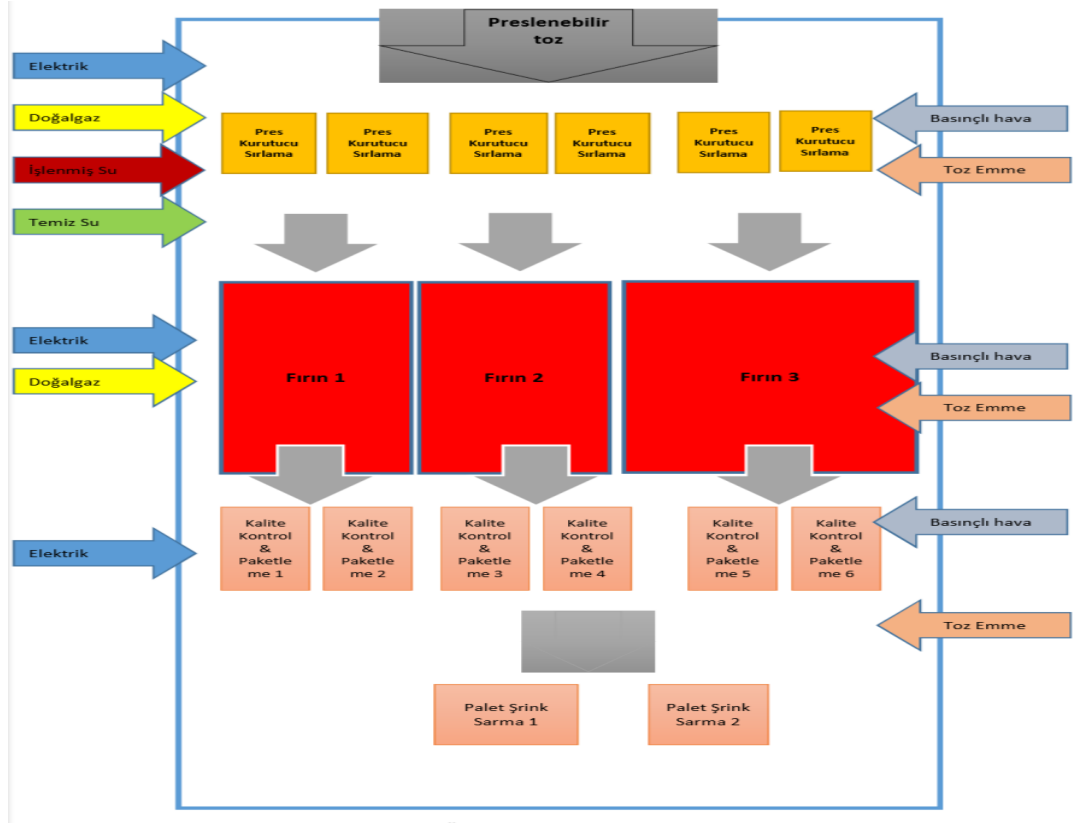
Kurutma kulesi içine bulamaç (içinde katı içerik ve su) püskürtülür. Bu, içeride kurutulur ve nem içeriği preslenirken konveyöre düşer ve sprej kurutma işlemi tamamlanır. Temel hesaplamalarla, proseste buharlaştırılacak su içeriği hesaplanabilir ve bu değer enerji tüketimi üzerine yorum yapmak için son derece önemlidir. Sonuç olarak 1 kg ürün elde edebilmek için genel olarak 372 kcal enerji harcanmalıdır.

Fırınlardan atılan atık ısılar bu hava ihtiyacının karşılanmasında kullanılması tasarruf miktarının en yüksek olduğu yöntemdir. Bu süreç Şekil 2.3 de gösterilmiş olup karo üretimindeki süreç ve bileşenler Şekil 2.4 de gösterilmektedir [14].



Şekil 2.3. Hammadde Mamul Hazırlama [14].

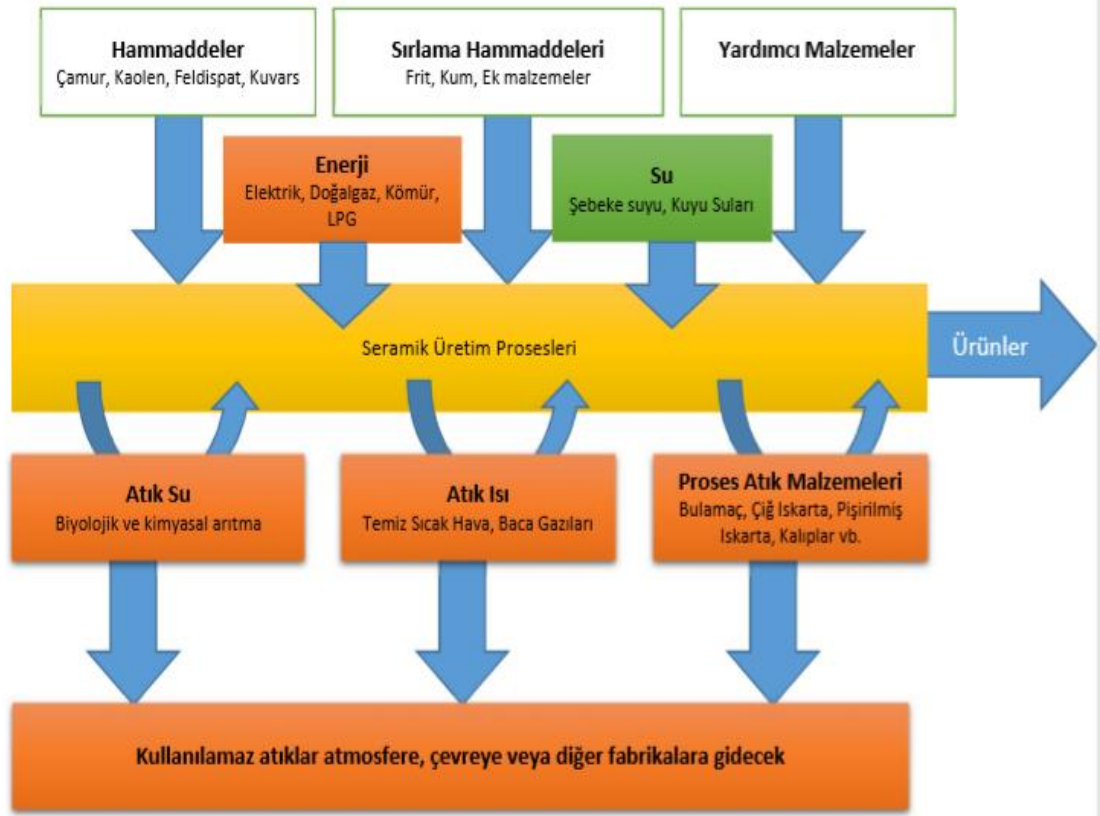
Fırınlardan atılan atık ısıların hammadde mamul hazırlama bölümüne besleme yapılması durumunda bazı durumlara dikkat edilmelidir. Özellikle pişirme prosesi, kurutma işleminde atık ısıyı değerlendirmek için yeterli fırsat verir.



Şekil 2.4. Karo Üretim Şeması [14].

Seramik üretimi Şekil 2.5'te gösterildiği gibi farklı proseslerden oluşur. Çamur, kaolin, feldispat, kalsit, dolomit ve çeşitli boyalar gibi hammaddeler farklı şekil ve koşullarda fabrika sahasına taşınır. Sır hazırlamak için sır hammaddeleri kullanılmakta ve bunlar seramik hammaddesi olarak sayılmaktadır. Tüm prosesler, malzemeleri bir formdan diğerine dönüştürmek için hammadde, su, enerji ve insan gücü kullanır. Seramik fabrikaları yoğun endüstriyel otomasyon kullanır. İnsan gücüne, çoğunlukla kontrol etmek ve teknik hizmetler için ihtiyaç duyulur. Proseslerin doğal sonucu olan bitmiş ürün nakliye için hazırdır ve fabrikanın bitiş noktasından alınması gerekir. Paletli ürün noktası proseslerin bitiş noktası ve sınırı olarak kabul edilebilir. Ürün bu noktada gönderilmek için hazırdır. Prosesler sırasında atık su üretilir.

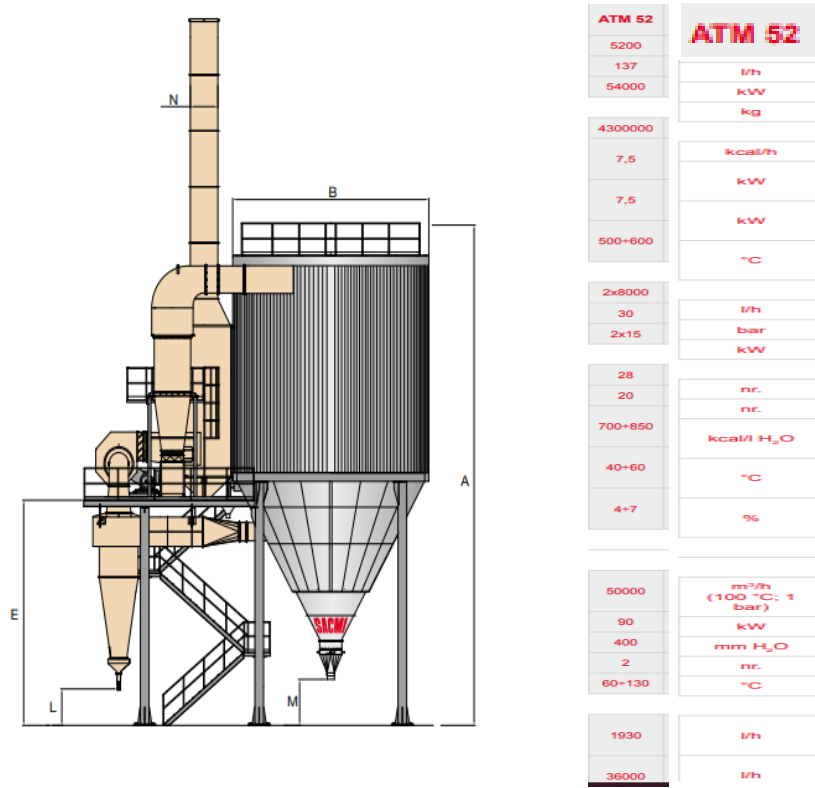
Yıkama suları, filtre pres atıkları, toz filtreleme sistemi atık suları, su arıtma sistemlerine gönderilir ve tekrar kullanılmak üzere arıtılır. Seramik fabrikalarının çoğu atık suyun %80' ini geri kullanmaktadır. Fakat kaçak olasılığı ve atıkların fabrika dışına gönderilmesi ihtimali hesaba katılmalıdır. Bu sebeple, koşullar tesisten tesise farklılaştığında kıyaslama fırsatı zayıflar. Proseslerden en önemlisi atık ısı (veya enerji)'dir. Çoğu seramik prosesi atık ısı üretir. Atık ısının büyük kısmı geri kazanılabilir formdadır. Fakat bazıları düşük sıcaklıklardadır ve geri kazanımı ekonomik değildir. İşe dönüştürülebilen ısı, atık ısı geri kazanım projeleri için önemlidir. Proses atıkları bulamaç, çiğ ıskarta, pişirilmiş ıskarta, filtre pres bulamacı veya filtre tozlarıdır. Neredeyse tüm seramik proses atıkları tekrar kullanılabilir. Enerji verimliliği açısından, atık miktarları ve ıskarta oranları çok önemlidir [14].



Şekil 2.5. Hammadde Seramik Üretim Prosesleri [14].

2.3. PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU TANITIM VE İŞLETME BİLGİLERİ

Bu çalışmada incelenen püskürtmeli kurutucu için ısı geri kazanımı tüm seramik fabrikalarında uygulanabilir. Burada kullanılan püskürtmeli kurutucuya ait teknik çizim ve özellikler Şekil 2.6 'ta belirtilmiştir. Bu çalışma öncesi püskürtmeli kurutucu doğalgaz tüketimi ve sistem devreye alındıktan sonraki doğalgaz tüketimleri hesaplamalarda verilmiştir. Bu değerler püskürtmeli kurutucu imalatçı firma tarafından paylaşılan standart değerlerdir.



Şekil 2.6. Püskürtmeli Kurutucu Teknik Gösterimi [15].

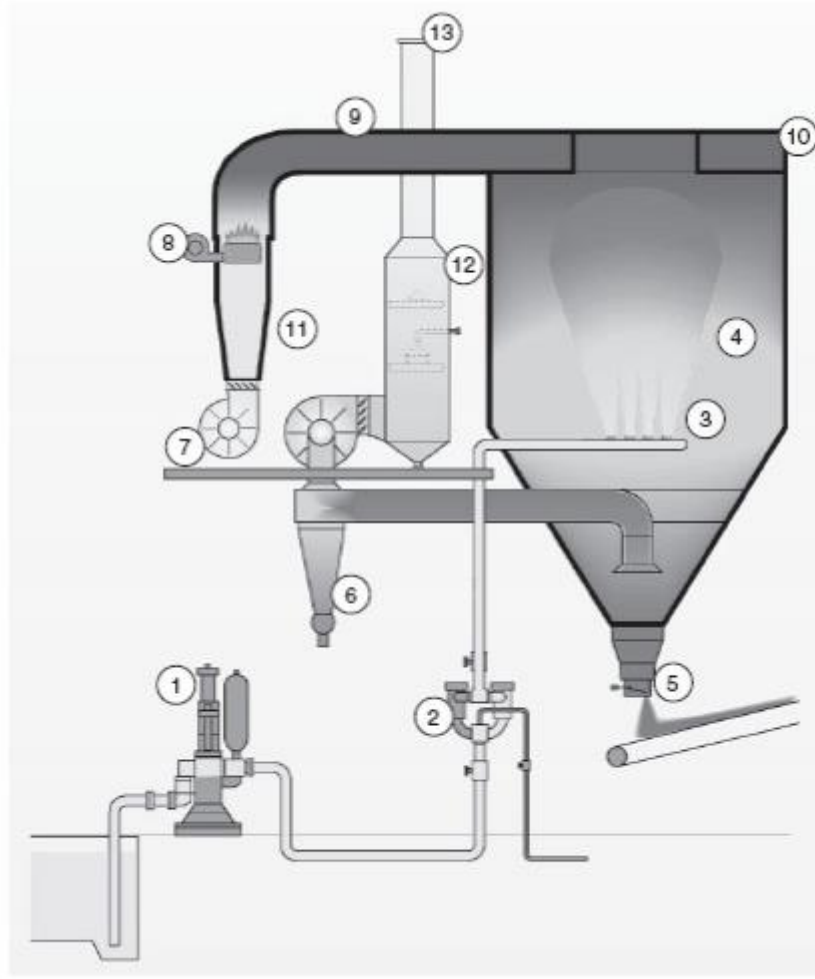
2.3.1. Püskürtmeli Kurutucu Genel Özellikler

Püskürtmeli kurutucular farmakoloji ve yiyecek sektörü başta olmak üzere aktif olarak yıllardır kullanılmakta olup, seramik endüstrisine girişi daha yakın bir zamanda olmuştur. Özellikle seramikte kurutma, öğütme, filter pres, tekrar nemlendirme ve sınıflandırma işlemlerinin yerine püskürtmeli kurutucular üretim prosesini kolaylaştırarak, daha az zamana indirgemiş ve aynı zamanda işçilik ve bakım

masrafları da azalmıştır. Püskürtmeli kurutma işlemi, püskürtmeli kurutucu atomizerler veya daha basitçe püskürtmeli kurutucular denilen makinelerle yapılır. Kurutucuya ait çalışma döngüsü Şekil 2.7' de verilmiştir [16].

Püskürtmeli Kurutucuların Sınıflandırılması Kural olarak iki kategoride püskürtmeli kurutucular vardır:

- Direkt ısıtmalı püskürtmeli kurutucular, çamur içindeki su miktarının istenilen oranda buharlaşması için gereken ısı, yanma gazları veya ısıtılmış hava formunda verilmektedir. Bu ısı su damlacıkları ile temas ederek konveksiyon yoluyla buharlaşma sağlanır. Bu seramik endüstrisinde genellikle kullanılan püskürtmeli kurutucu tipidir.
- Endirekt ısıtmalı püskürtmeli kurutucular, ısı malzemeye iletim yoluyla iletilir. Buharlaşmanın olduğu yüzey alanı ne kadar büyük olursa buharlaşma hızı da o kadar hızlı artar. Sistemin kalbi olan püskürtme cihazı dönen veya sabitlenmiş (nozzle) olarak mevcuttur. [16].



Şekil 2.7. Püskürtmeli kurutma sisteminin çalışma prensibi [16].

3.3.2. Püskürtmeli Kurutma Döngüsü

Diyagram nozzle tipli atomizasyonlu püskürtmeli kurutucuyu ait döngü Şekil 2.7' de gösterilmektedir;

1. Çamur besleme-basma pompaları
2. Partikül filtreler
3. Nozzle sabitleyici halka
4. Kurutma tankı
5. Mamül çıkış valfi
6. Separatör siklonları
7. Basınçlandırma fanı
8. Yanıcı brülör

9. Sıcak hava boru kanalı
10. Halka biçiminde sıcak hava dağıtıcısı
11. Santrifüjlü vantilatör
12. Yaş toz separatörü
13. Emiş baca

Spray dryer ana gövdesi silindirikdir. Sıcak hava gövde içine üst bölgeden giriş yaparak teğetsel olarak dağılım sağlanmaktadır. Kurutma prosesi Şekil 2.7 üzerinden açıklanabilir:

- 1-çamur sabit bir basınçta pompa yardımıyla basılır,
- 2-süzgeçten geçer,
- 3-Gövde içerisinde ilerler,
- 4- sıcak hava girdabına girer
- 5- Hava kurutucunun üst bölümünde yalıtımlı tahliye edilir.
- 6-Siklonlar tozları çeker.
- 7-Mevcut bant üzerine boşaltımı sağlanır.
- 8-Toz separatörü
- 9-Emiş bacası
- 10- Dönme hareketi halka şeklindeki dağıtıcıyla yapılır.
- 11- Havada asılı kalan artık ince tozlar fan tarafından çekilir.
- 12-Separatör toplar.
- 13-Çıkış havası tahliye edilir [16].

BÖLÜM 3

SERAMİK SEKTÖRÜ ATIK ISI GERİ KAZANIMLARI

3.1. ATIK BACA GAZI İÇERİĞİ VE GERİ KAZANIM NOKTALARI

Seramik pişirim fırınlarından atılan atıl ısılar fırın giriş bölgelerinde yanma işlemine (doğalgaz) tabi oldukları için bu bölgeden atılan atık hava uygun eşanjör sistemiyle temizlenerek sisteme verilmelidir. Fırın soğutma ve son soğutma bölgelerinde yanma işlemi gerçekleşmediği için atılan havalar şekil 3.1 'de gösterildiği gibi temiz içerikli olup eşanjör sistemine gerek duyulmadan atık ısı geri kazanım sistemine direkt dahil edilebilir. Şekil 3.2'de gösterilen 1 noktası fırının giriş bölümü olup doğalgaz yanma olayı bu noktada gerçekleştiğinden bacadan atılan atık ısı içeriği temiz değildir. Kükürtdioksit ve azotdioksit gazlarının yanı sıra bacadan seramik karo üzerindeki kimyasal sırların esi ısınmasının etkisiyle bacadan atılır. Bu noktada ısı eşanjörleri kullanılarak hava temizlenerek sisteme dahil edilir. Şekil 3.1'deki 2 ve 3 noktası doğalgaz yanma olayı olmadığından kimyasal içerik yok denecek kadar azdır.

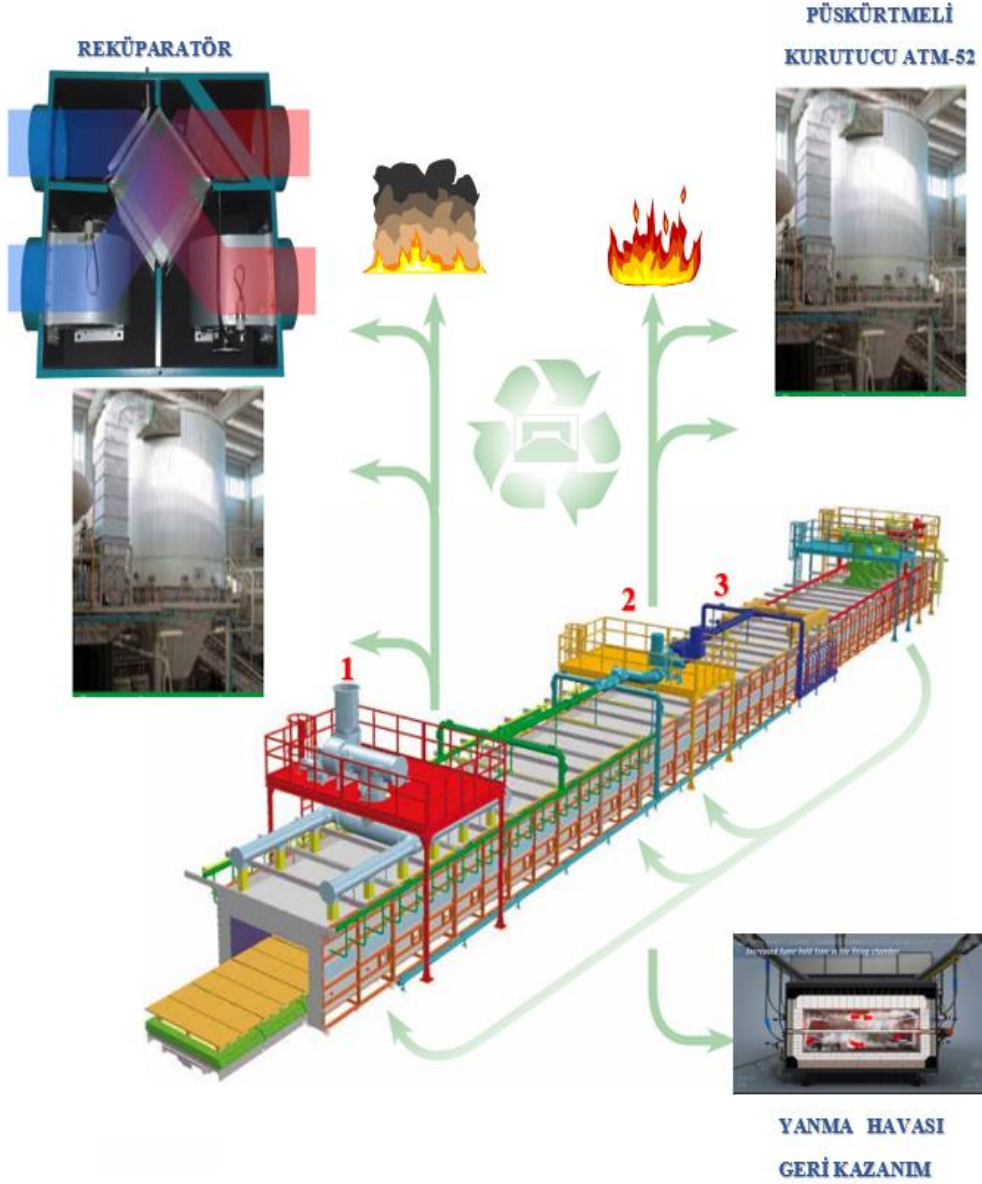
Fırınlardan atılan atık havalar; spray dryer, yatay kurutucu, dikey kurutucular, fırın brülör beslemeleri ve ortam ısıtması olarak, hammadde bölümü, bunker altı bölge ısıtmaları, fırın giriş öncesi ham karo box bölgesi ısıtmalarının yanı sıra sıcak su elde edilerek ortam ısıtma ya da hammadde bulamaç suyu sıcaklığını artırma gibi noktalarda kullanılarak ciddi oranlarda enerji tasarrufu sağlanılabilir.

Seramik sektörü için ısı geri projeleri şekil 3.2'te gösterildiği gibi bacadan atılan ısı enerjileri sisteme kazandırılarak enerji yoğunluğunu düşürmek ve sektörde var olan rekabetin içinde bulunmak için yapılması mecburi olan durum haline gelmiştir.



Şekil 3.1. Seramik Fırın Atık Hava Sirkülasyonu

Son yıllarda gelişen teknoloji ile sanayide Endüstri 4.0 gibi uygulamalar da sisteme dahil edilerek atık ısı geri kazanım sistemi kontrol ve işleyişi olabildiğince insan gücü gereksiniminden bağımsız, hata payını en aza indirgeyerek daha verimli kullanılması sistemin tasarruf miktarlarını maksimuma çıkartarak, enerji kazanımlarını en üst seviyede devamlı hale getirecektir.



Şekil 3.2. Pişirim Fırını Geri Kazanım Noktaları

3.1.1. Fırın Baca Gazı Ölçümleri

Kullanılan yakıt yandığı zaman, içerisindeki hidrojen, su buharına; karbon, karbondioksit; kükürt, kükürtdioksit dönüşmektedir.

Yetersiz kalan oksijen sonucunda karbonun karbondioksit dönüşmeden, karbonmonoksit halinde kalması sonucu kaybedilen enerji miktarı yaklaşık %70 'ler mertebesinde olmaktadır.

Bu durum, en ideal yanmanın olması için, yakıtta verilen havanın belirli oranda artırılması işlemidir. Bu durum fazlalık katsayısını ifade etmektedir. Baca gazı içeriğinde genellikle karşılaşılanlar;

- Kükürtdioksit: Doğalgaz yanması sonucunda ortaya kükürtdioksit yani SO₂ çıkmaktadır. Kükürtdioksit çevre kirletici emisyon değerlerinin başında gelmektedir. Kükürtdioksit düşük sıcaklıklarda baca gazı ya da eşanjörlerde su buharı ile bir araya gelerek sülfirik asite dönüştüğü ve malzemelerde ciddi deformasyonlara neden olması en önemli sorunların başında gelmektedir.
- Karbonmonoksit (CO) :Baca içerisinde kirlenme ve isliliğe neden olmaktadır. Emisyon olarak tanımlanır. Yakıtta verilen oksijen miktarını arttırarak karbonmonoksit mutlaka karbondioksite çevrilmelidir.
- Karbondioksit (CO₂) : Zehirli bir gaz olmamakla beraber yüksek konsantrasyonlarda basit boğucu gaz olarak davranmaktadır.
- Oksijen (O₂) : Yanıcı olmamakla beraber, yanma olayının gerçekleşmesi için oksijen miktarının doğru oranlarda ayarlanması gereklidir. Temel olarak doğalgazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta %5-6 oksijen miktarı baca gazı analizleri için optimum değerler olarak kabul edilmektedir.
- Azotoksitler (NOX) : Yanma işleminin olduğu bölümde fazlalık olarak verilen hava katsayısı ve yanmayı gerçekleştiren brülör dizaynından azotoksitler oluşmaktadır. Emisyon olarak kabul edilmektedir [17].

Bu ölçümler şekil 3.3' de gösterilen prensip şema üzerinde 1 nolu fırın egzoz bacası yani C noktasına ait egzoz bacasının ölçüm değerleridir. Ölçüm değerleri alınırken mp-200 kimo marka anemometre kullanılabilir. Ölçüm cihazı S tip pitot tüpü ile baca gazı içeriğinin basınç, hız, debi ve sıcaklığını ölçmemize olanak vermektedir.



Şekil 3.3. Pişirim Fırını Baca Gazı Ölçümü

Seramik fabrikaları baca ölçümlerinde genellikle kullanılan anemometre gibi cihazlar fark basınç yönteminden hız elde ederek sistemin hacimsel debisini göstermektedir. Ölçüm esnasında ölçüm alınan bacanın çapının tam olarak girilmesi ve baca içi ölçümlerde ölçümün tek bir noktadan değil olabildiğince kesit içerisinde farklı noktalardan alınması ölçüm doğruluğu açısından önemlidir.

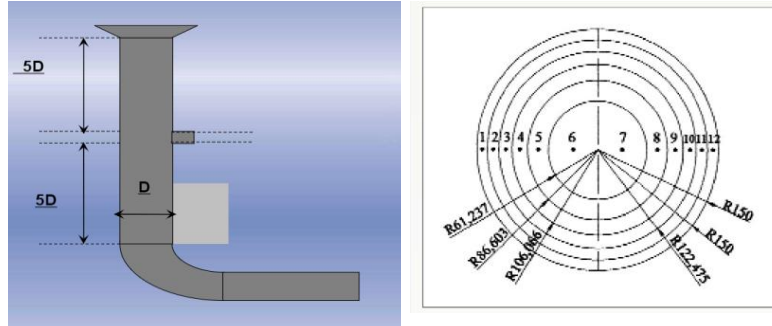
3.1.2. Atık Isı Ölçüm Cihazı Tanıtımı

Pişirim fırını, kurutucular, brülör sistemleri vb. sistemlere ait enerji etüdü oluşturmak için, düşük basınçlı gaz akışkanların (örneğin sıcak hava, baca gazı, yanma havası, atıl havalar) ölçülerek tespit edilmesi gereklidir. Bundan dolayı kapalı hava kanalları içindeki akışkanlar için Şekil 3.4'teki gibi S pitot tüpleri ve portatif Kimo Mp-200 anemometre kullanılmıştır [7].



Şekil 3.4. Ölçüm Cihazları ve Pitot Tüpü

Baca gazı atık ölçümleri için fırın atık bacası ölçüm noktaları belirlenmelidir. Ölçüm alınırken şekil 3.5'de gösterildiği üzere bacanın farklı farklı noktalarından ve olabildiğince uzun süre ortalamalar baz alınarak sistem tasarımı yapılmalıdır.



Şekil 3.5. Bacagazı ölçüm noktaları [18].

3.2. ATIK ISI GERİ KAZANIM BÖLGELERİ

Genellikle seramik endüstrisi yüksek atık içeriğine sahip olan pişirim fırınları eb fizibil kullanım noktaları püskürtmeli kurutuculardır. Bununla beraber fırınların kendi ön kurutmaları, brülör beslemeleri, yatay-dikey kurutmalar ya da tercihe bağlı ortam ısıtması için kullanılır.

Kojenerasyon gibi, temiz ve sıcak atık ısıtılmış hava sprey kurutucuya doğru basınç ve hız koşulları ile bağlanarak yanma havası veya birincil hava olarak kullanılabilir. Projeleri geliştirirken önemli parametreler şunlardır:

Atık havanın alınması, kaynak sistemini etkilememelidir,

Sprey kurutucuya bağlanan atık ısı doğru basınçta olmalıdır.

Borular, toplayıcılar, köşeler ısı kaybı için yalıtılmış olmalıdır.

Basınç yönetimi, acil durum yönetimi, başlatma sistemin kapatılması yetkin bir otomasyon sistemi tarafından gerçekleştirilmelidir.

Sistemin tüm parametrelerinin ölçülmesi ve kaydedilmesi gerekir. Seramik proseslerinde birçok parametre vardır.

Islak temizleme sistemi içinde bir miktar toz olan sıcak su verebilir. Uygun ısı eşanjörü tasarlanırsa, atık enerji bulamacı ısıtmak için kullanılabilir. İyi bir uygulama toz siklonları çıkartmak, ıslak temizleme sistemi kurarak çıktısından değirmenlerde ısıtılmış bulamaç olarak faydalanmak veya sistemin suyunu sprey kurutucuya beslenecek nihai bulamacı ısıtmak için kullanmaktır.

Püskürtmeli kurutucu yalıtımına önem verilmelidir. Ekipmanın durumunu periyodik olarak izlemek için termal görüntüleme kullanılmalıdır. Yalıtımın durumu kötüleştiğinde, bakım planlanmalıdır.

Termal izleme sırasında ısı jeneratörü, brülör, distribütör ve kurutma kulesi ayrıntılı olarak izlenmelidir. Brülör bakımı etkili yanma için önemlidir. Periyodik brülör bakımı planlanmalı ve mümkünse dış kaynaklı profesyonel hizmet kullanılmalıdır. Arızalar prosesin enerji performansını büyük ölçüde etkiler.

Brülörler çok önemlidir ve arızaları uzun sürebilir. Ünitelerin bakım kayıtları bilgisayar ortamında tutulmalı ve tüm teknik personel tarafından gözden geçirilmelidir [16].

Brülör seçimlerinde atık ısı geri kazanım odaklı en dikkat edilmesi gereken husus atık havanın brülör bölgesinden geçerken brülör yapısının verilen sıcaklık değerini karşılayacak olmasına dikkat edilmelidir.

Genellikle atık ısı geri kazanım sistemlerinde brülörlerden önce püskürtmeli kurutucu öncesinde oda içerisindeki basıncı dengelemek için yardımcı fanlar kullanılmaktadır.

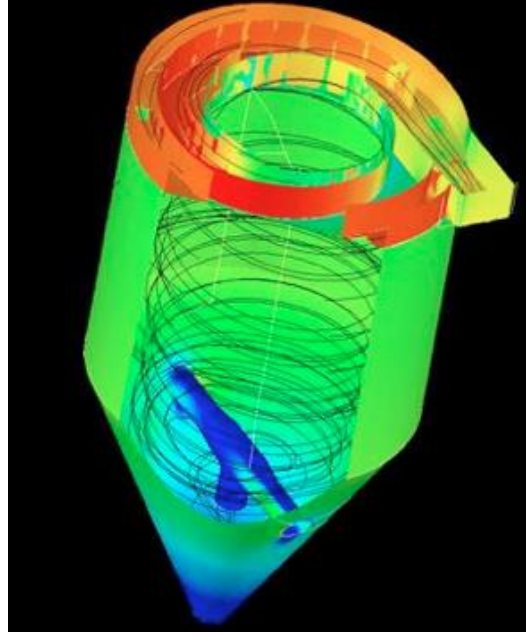
3.3. ATIK ISILARIN KURUTUCULARDA GERİ KAZANIMI

3.3.1. Püskürtmeli Kurutucu Enerji Tüketimi

Püskürtmeli kurutma prosesi esnasındaki enerji tüketiminin optimizasyonu bir takım fabrika mühendisliği ve teknolojik faktörlere bağlıdır. Şekil 3.6 ' da seramik püskürtmeli kurutucu ısı geçiş diyagramı gösterilmiştir. Burada kurutucuya giren hava girdap şeklinde ilerleyerek püskürtülen çamurun kurutulmasını sağlayacaktır.

Püskürtmeli kurutucuda enerji verimliliği için aşağıdaki verilerin bilinmesi gereklidir;

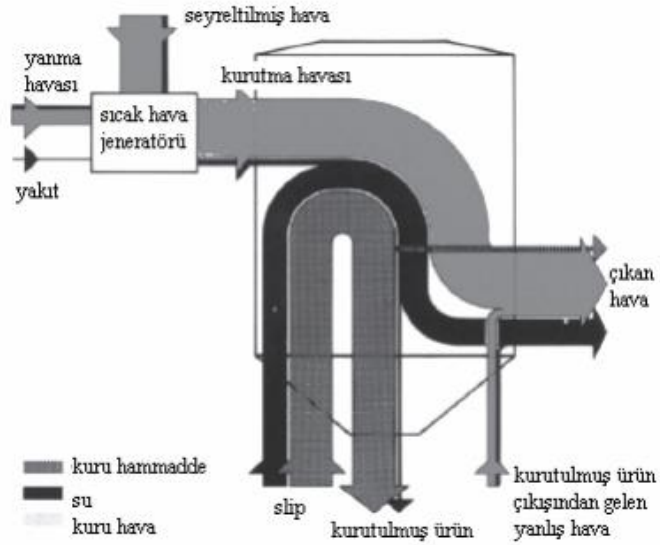
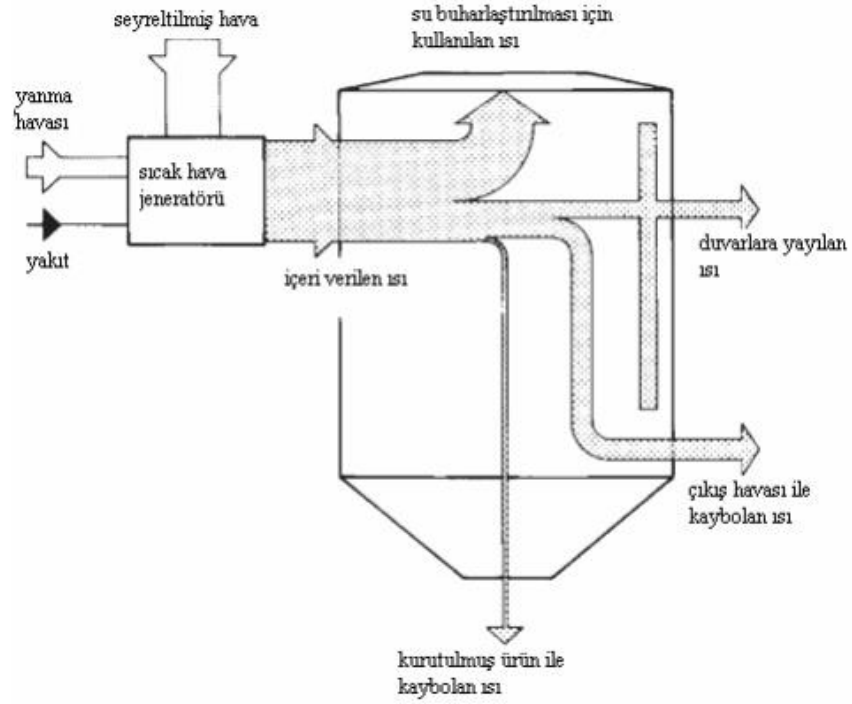
- Püskürtmeli kurutucunun tipi ve boyutu
- Çalışmanın devamlılığı
- Yakıcılar, fanlar, izolasyon sistemleri gibi makine ve temel cihazlardaki şartlar
- Tüm çalışma şartlarındaki optimizasyon
- Çamurun teknolojik karakteristikleri (yoğunluk, viskozite, damlacık kuruma oranı)



Şekil 3.6. Püskürtmeli kurutucudaki ısı geçiş diyagramı [16].

Püskürtmeli kurutucu minimum relatif spesifik tüketim (Kcal/kg) ve üretim kapasitesi (Kg/h) temel olarak iki faktöre dayanmaktadır:

- Çamurdaki katı madde oranı, dolayısıyla buharlaştırılacak su oranı
- Sıcak hava giriş sıcaklığı. Isı Geçişi Diyagramı Şekil 3.7'de püskürtmeli kurutucudaki ısı (enerji ve malzeme) dengesini göstermektedir. Suyun buharlaştırılması için etkin kullanılan ısı hazneye verilen toplam ısının yarısından biraz daha fazladır. Geri kalan kısmı duvarlar, çıkış havası ve bir miktarda kurutulan ürün ile kaybolan ısı kaybıdır [16].



Şekil 3.7. Püskürtmeli kurutucudaki ısı (enerji ve malzeme) dengesi [16].

3.3.2. Püskürtmeli Kurutucu Enerji Kazanımları

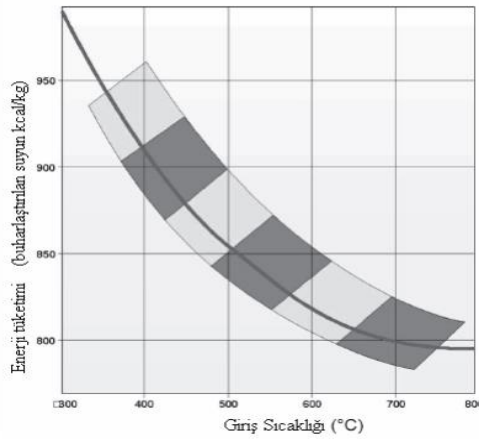
Püskürtmeli kurutma aşamasında enerji kazanımları, makinenin farklı çalışma şartları ve çamurun teknolojik parametreleri değiştirilerek elde edilebilir. Enerji kazanımında önemli etkileri olan başlıca parametreler:

- Giren sıcak havanın sıcaklığı
- Giren ve çıkan hava arasındaki sıcaklık farkları
- Hava geri dönüşümü
- Çamurdaki katı madde içeriğindeki artış

a) Giren sıcak havanın sıcaklığının etkisi; giren havanın sıcaklığının artması aynı akış hava oranında çamuru kurutmak için gerekli ısı enerjisi miktarını azaltmaktadır. Alternatif olarak püskürtmeli kurutucuyu terk eden havanın sabit kalması durumunda, daha düşük sıcak hava akış oranı bacada daha düşük enerji kaybına ve daha iyi termal verimliliğe neden olacaktır. Şekil 3.8' de giren sıcak hava sıcaklığının artmasıyla spesifik tüketimin nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu değerler üretici firma tarafından paylaşılan ve tüm fabrikalar için geçerli standart değerlerdir [16].

b) Giren ve çıkan hava arasındaki sıcaklık farkının etkisi; Giren ve çıkan hava arasındaki sıcaklık farkının daha büyük olması, üretilen ürün başına enerji tüketimini azaltır. Bu fark giren hava sıcaklığı artırılarak veya çıkan hava miktarı azaltılarak genişletilebilir.

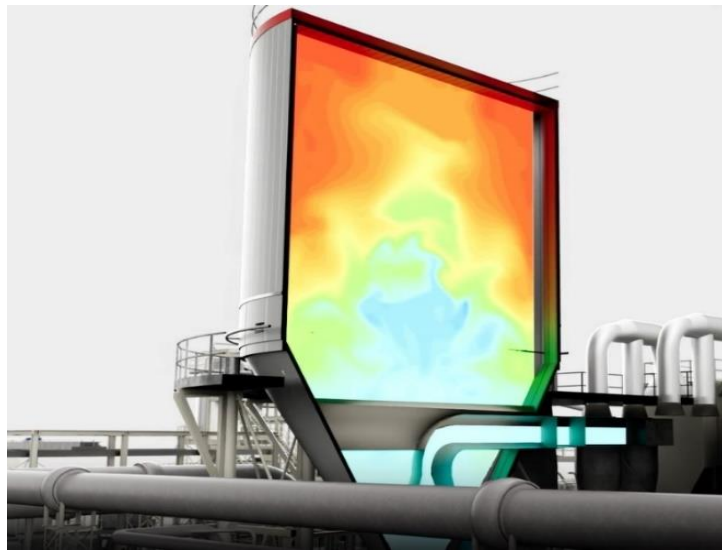
c) Geri dönüşüm havasının etkisi birçok durumda püskürtmeli kurutucudan çıkan hava atmosfere salınır. Bu sıcaklık özellikle 120 °C'yi geçtiği durumlarda, bu kesinlikle bir enerji atığıdır.



Şekil 3.8. Giren sıcak havanın sıcaklığının fonksiyonu olarak püskürtmeli kurutucunun spesifik enerji tüketimi [16].

Çıkan havanın bir kısmının (%10-%50 arası) geri dönüşümü önemli enerji kazanımları sağlayabilir. Bununla birlikte, çıkış havasının %50'den fazla geri dönüşümü, hazne içerisindeki 94 higrometrik parametreleri, atomize damlaların kurutma hızını azaltacak şekilde değiştirir. Denemeler 120 °C sıcaklığındaki çıkış havasının geri dönüşümü ile %20'ye varan enerji kazanımlarının sağlanabileceğini göstermiştir. Şekil 3.9' da spray iç sıcaklık dağılımı gösterilmiştir.

d) Katı madde oranının artmasının etkisi; Çamur içerisinde katı madde oranının yüksek olması önemli enerji kazanımları sağlayabilir; bununla birlikte aşırı yüzde miktarında katı madde çamuru kalınlaştıracağından ve değirmen boşaltma zorlukları yaşatacağından üretici tarafından her zaman istenmeyebilir. Üretim hattı boyunca (örneğin eleklerde, preslemede, vs.) püskürtmeli kurutulmuş atık malzemenin geri alınması veya ince malzemenin siklonlar tarafından yakalanması her zaman mümkündür. Normal üretim fabrikasında bu geri alınan malzeme toplam üretimin %3-5'i kadardır ve karıştırma tanklarına ilave edilebilir, bu da değirmen boşaltma problemlerini engeller. Yine de bu ekstra katı maddelerin ilavesi çamur viskozitesinde ve sonraki püskürtmeli kurutma işleminde aşırı değişimler yaratmadığını belirtmek önemlidir. Bu atık tozun ve toplana tozun püskürtmeli kurutma tankına geri dönüşümü sırasıyla %3 ve %7 oranlarında enerji kazanımları sağlar [16].



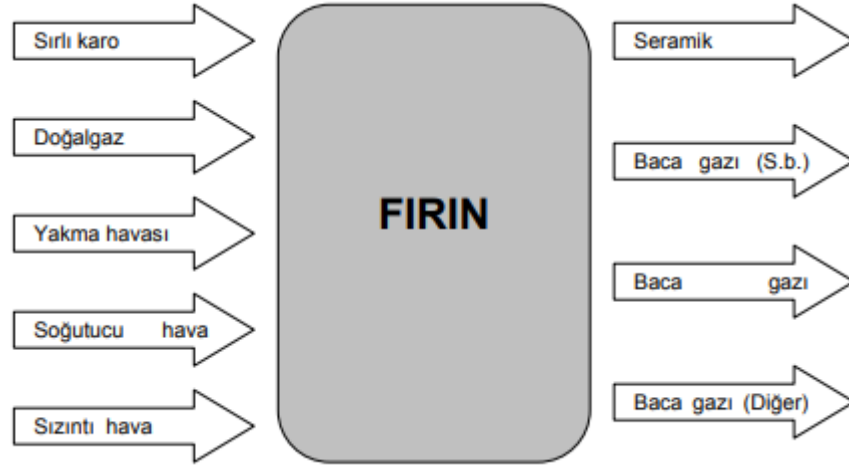
Şekil 3.9. Püskürtmeli kurutucu Sıcaklık Dağılımı.

Püskürtmeli kurutucunun gücü ve boyutunun uygun olduğu durumlarda, fabrika bir kojenerasyon sistemi ile bütünleştirilebilir. Elektrik jeneratörü tarafından üretilen fazla ısıyı püskürtmeli kurutucuya sıcak hava olarak kullanır. Bu elektrik dahili olarak kullanılabilir veya eğer gereğinden fazla varsa ana şebekeye geri verilir. Güncel mevzuatlar bu konuyu desteklemektedirler. Bundan başka, bir kojenerasyon sisteminin sıcak hava akışı sağladığı durumlarda, bir geri kazanım sistemi üretilen ısı ünitesi başına yakıt tüketiminde önemli azalma sağlayabilir.

3.4. PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU VE TÜNEL FIRIN ENERJİ ANALİZLERİ

3.4.1. Fırın Enerji Yaklaşımları

Burada genel bir seramik işletmesi için örnek fırına giren ve çıkan maddeler arasındaki kütle denge analizine bakacak olursak, fırında sisteme sırlı karo, doğalgaz, yakma havası, soğutucu ve sızıntı hava girerken, çıkan maddeler ise seramik ve baca gazlarıdır. Baca gazları ise, karonun su buharı, yanmadan gelen ve sızıntı havanın çıkış hali olarak Şekil 3.10 'da üç kısımda incelenmiştir [19].



Şekil 3.10. Giren-Çıkan Ürünler [19].

Buradaki yöntem termodinamik 1. yasasından yararlanarak kayıp olan enerji miktarı toplam enerji değerinden çıkarılarak, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı şeklinde hesaplanır. Bu durumda verim ifadesi:

$$\eta = \sum \frac{Q_{\text{çıkan}} - Q_{\text{kayıp}}}{Q_{\text{giren}}} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir.

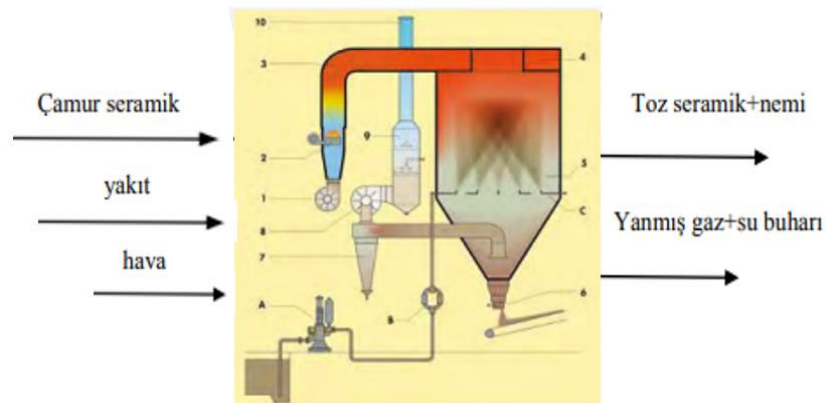
3.4.2. Pişirim Fırını Sonuçları

Pişirim fırınları en temel sorunları vurgularsak, brülör izolasyonlarının iyi yapılmamasıdır. Bu durum sıklıkla dengesiz yanmaya neden olarak enerji tüketimini artırmaktadır. Aynı şekilde fırın üniteleri izolasyonları yeterli değildir. Özellikle pişirim fırınlarında sıcaklığın en yüksek olduğu cehennem bölgesi ısı kayıplarının en yüksek olduğu bölümdür.

Termodinamiğin yasalarından da anlaşılacağı üzere %100 verimli çalışan sistem mümkün değildir. Bu yüzden bu konuda yapılacak iyileştirmeler makul değerler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu konuda yapılacak değişimler ve modernizasyonlar fabrikanın enerji maliyetlerini düşüreceği vazgeçilmez bir gerçektir.

Günümüz şartlarında enerji her geçen gün değer kazanmakta ve üretimin sınırlı olduğu kaynaklar baz alınırsa verimlilik ve sürdürülebilirliğin önemi her geçen gün artmaktadır [19].

3.4.3. Püskürtmeli Kurutucu Kütle Analizi



Şekil 3.11. Sprey Kurutucuya Giren ve Çıkan Materyallerin Gösterimi.

Püskürtmeli kurutucu aynı zamanda spray kurutucu olarak adlandırılır. Şekil 3.11' de giren ve çıkan materyaller gösterilmiştir.

$$\dot{m} \text{ giren} = \dot{m} \text{ çıkan}$$

\dot{m} çamur katı madde + \dot{m} çamur sulu madde + \dot{m} doğalgaz + \dot{m} yakma havası = \dot{m} toz seramik + \dot{m} toz seramiğin nemi + \dot{m} yanmış gaz + \dot{m} baca gazındaki nem [19].

3.4.4. Püskürtmeli Kurutucu Isı Enerjisi Tüketiminin Hesabı

Enerji tüketiminin hesaplanması için gerekli parametreler ve bilgiler Çizelge 3.1'te verilmiştir. Hesaplama presleme tozu nem içeriği % 6,5 alınmıştır.

Ortalama spesifik ısı enerjisi tüketimi hesabı 3.2 nolu eşitlikte aşağıdaki gibidir:

$$q_A = \frac{Q \cdot G_{cA}}{G_p} = 372.7 \text{ kcal/kg} \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1. Püskürtmeli Kurutucu Isı Enerjisi Tüketimi [16].

			ATM
G_p	Kg/h	Saat başına presleme tozu üretimi	10000
U_b	l/kg	Slip nem içeriği	0.35
U_p	l/kg	Presleme tozu nem içeriği	---
Q	Kcal/l	Buharlaştırılan suyun litresi başına ortalama ısı enerjisi tüketimi	850
G_{eA}	l/h	Buharlaştırılacak suyun saatte akış oranı	4385
Q	Kcal/kg	Preslenecek tozun Kg başına ortalama ısı enerjisi tüketimi	q_A

Tüm püskürtmeli kurutucu parametreleri içerisinde buharlaştırma oranı, verimliliği ve potansiyeline karşı olan başarısını en hızlı gösteren parametredir. Eşitlik 3.3 püskürtmeli kurutucu tarafından buharlaştırılan su miktarını hesaplanmasına olanak veren formülleri göstermektedir [16].

$$H_2O_{ev} = Pf \cdot Y \quad (3.3)$$

$$Y = \frac{U_i \% - U_f \%}{100 - U_i \%} \quad (3.4)$$

U_i = çamurun içerdiği su miktarı (%)

U_f = püskürtmeli kurutulmuş ürünün içerdiği su miktarı (%)

Pf = nem içerikli son ürün (kg/h)

H_2O_{ev} = buharlaştırılan su (litre/h)

Y = buharlaştırılan suyu hesaplamak için katsayı (çizelge 3.2'e bakınız) Maksimum üretimi hesaplamak için basit bir formül aşağıdaki gibidir:

$$Pf = \frac{H_2O_{ev}}{Y} \quad (3.5)$$

Çizelge 3.2. Püskürtmeli kurutucunun buharlaştırma kapasitesi ve püskürtmeli kurutulmuş ürünün hesap çizelgesi [16]

U _i \ U _f	3	4	5	6	7	8	9	10	U _f \ U _i
30	0.3857	0.3714	0.3571	0.3428	0.3285	0.3142	0.3000	0.2857	30
31	0.4057	0.3913	0.3768	0.3623	0.3478	0.3333	0.3188	0.3043	31
32	0.4264	0.4117	0.3970	0.3823	0.3676	0.3529	0.3382	0.3235	32
33	0.4477	0.4328	0.4179	0.4029	0.3880	0.3731	0.3582	0.3432	33
34	0.4696	0.4545	0.4393	0.4242	0.4090	0.3939	0.3787	0.3636	34
35	0.4923	0.4769	0.4615	0.4461	0.4307	0.4153	0.4000	0.3836	35
36	0.5156	0.5000	0.4843	0.4687	0.4251	0.4375	0.4218	0.4062	36
37	0.5396	0.5238	0.5079	0.4920	0.4761	0.4603	0.4444	0.4285	37
38	0.5645	0.5483	0.5322	0.5161	0.5000	0.4838	0.4677	0.4516	38
39	0.5901	0.5737	0.5573	0.5409	0.5245	0.5081	0.4918	0.4754	39
40	0.6166	0.6000	0.5833	0.5666	0.5500	0.5333	0.5166	0.5000	40
41	0.6440	0.6271	0.6101	0.5932	0.5762	0.5593	0.5423	0.5254	41
42	0.6724	0.6551	0.6379	0.6206	0.6034	0.5862	0.5689	0.5517	42
43	0.7017	0.6842	0.6666	0.6491	0.6315	0.6140	0.5964	0.5789	43
44	0.7321	0.7142	0.6964	0.6785	0.6607	0.6428	0.6250	0.6071	44
45	0.7636	0.7454	0.7272	0.7090	0.6909	0.6727	0.6545	0.6363	45
46	0.7962	0.7777	0.7592	0.7407	0.7222	0.7037	0.6851	0.6666	46
47	0.8301	0.8113	0.7924	0.7735	0.7547	0.7358	0.7169	0.6981	47
48	0.8653	0.8461	0.8269	0.8076	0.7884	0.7692	0.7500	0.7307	48
49	0.9019	0.8823	0.8627	0.8431	0.8235	0.8039	0.7843	0.7647	49
50	0.9400	0.9200	0.9000	0.8800	0.8600	0.8400	0.8200	0.8000	50
U _i \ U _f	3	4	5	6	7	8	9	10	U _f \ U _i

3.5. SİSTEMDE KULLANILACAK EKİPMANLAR

Sistemde kullanılacak malzeme ve ekipman seçiminde malzemelerin kullanım amacı ve kullanılacağı bölgelerde maruz kalacağı dış etkenler hesaba katılmalıdır. Tüm ekipmanlar amacına uygun olarak seçilmelidir.

3.5.1. Isı Geri Kazanım Borulama Hattı

Genel olarak sistemde kullanılacak malzemeler;

Sıcak hava transfer edecek borular, (St-37, Paslanmaz AISI 304, Galvaniz vb.)

Sistemde kullanılacak boru hattı malzemesi içinden geçen havanın sıcaklık, basınç, nem, partikül ve kimyasal madde gibi özellikleri göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Boru malzeme seçiminden sonra tüm sistemde kullanılacak boru çapları sistemdeki son besleme noktasında ihtiyaç duyulan basınç ve sıcaklık durumları baz alınarak, boru çapları ve malzeme cinsi seçimi yapılarak Şekil 3.12’de gösterildiği gibi montajı yapılır.



Şekil 3.12. Boru Hattı Montajı

Boru hattı montajında dikkat edilmesi gereken en önemli konuların başında sistemde oluşacak ısıl genleşmelerin önüne geçmek için standartlara uygun kompensatör seçimleri gelmektedir.

Boru hattı seçiminde içeriden geçen havanın basınç ve hızına uygun seçim yapılması çok önemlidir. Boru hattı montajında Şekil 3.13’de gösterilen flanş bağlantıları aralarına sıcaklığa dayanıklı silikon çekilerek sızdırmazlık tam olarak sağlanmalıdır. Boru hatlarının montajında konsol ile birlikte mutlaka ağırlık hesaplamaları yapılmalı ve sistemde emniyet açısından sismik halatlar bulundurulmalıdır.



Şekil 3.13. Boru Hattı Montajı Flanş Bağlantıları

3.5.2. Endüstriyel Fan Seçimi ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Boru hattı içindeki sıcak hava transferi için gerekli olan fan seçiminde akışkanın kütleli debisi, verimi ve istenilen emme-basma yüksekliği gibi değerler göz önünde bulundurularak detaylı seçim yapılmalıdır. Fan seçiminde motor izolasyon sınıfı ve rulman sınıfları çok önemlidir.



Şekil 3.14. Fan Yerleşimi

Fan platform yapımlarında gerekli ağırlık ve titreşimler hesaba katılarak platform imalatı yapılmalıdır. Örnek platform ve fan yerleşimi Şekil 3.14’de gösterilmiştir.

Fan montajı yapılırken boru hattından titreşim brandaları ile ayrımı yapılarak fandan kaynaklanan titreşimin boru hattına aktarılması engellenmiş olmalıdır.

Fan emme ve basma çıkışlarında yeteri kadar düz çıkış bırakılmalıdır. Genel olarak emme ve basma çaplarının 3 katı kadar düz kanal bırakılması fanın performansını uzun vadede düşmemesini sağlayacaktır.

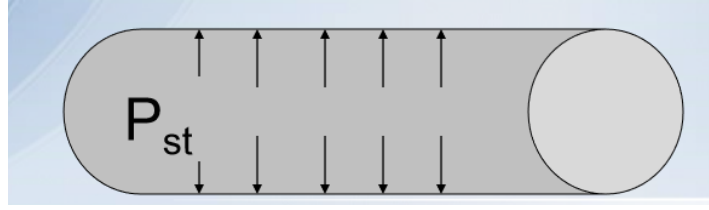
Tüm fanların sistem kontrolü açısından çıkış ve girişlerinde gerekli basınç ve sıcaklık sensörleri yerleştirilmelidir. Aynı zamanda giriş ve çıkışlara yanmaz brandalar atılarak fan platformu ile boru hattı arasında ayrarak titreşimin boru hattına aktırılmaması sağlanır.

Fan seçiminin sisteme uygun olarak seçilebilmesi için;

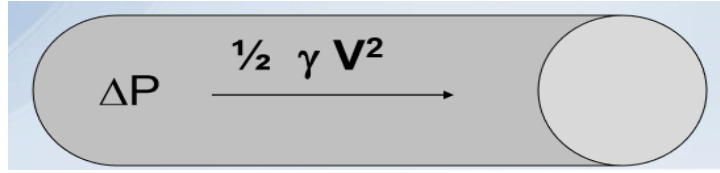
- Kurulacak olan sistem tamamıyla ele alınarak dizayn edilmelidir.

- Isı geri kazanım için transfer edilecek hava debisi iyi belirlenmelidir.
- Sistemde kayıp, kaçak olabilecek tüm ekipmanlar dahil edilerek statik basınç tespit edilmelidir [20].

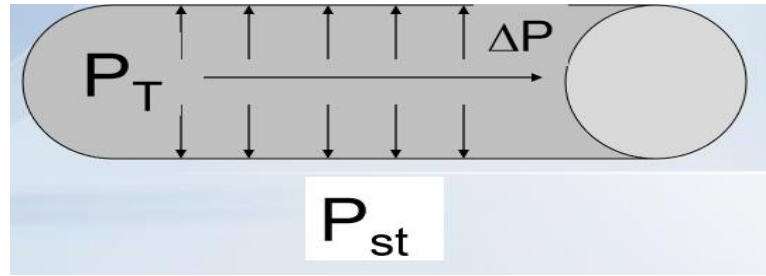
Fanlarda Basınç; Boru hattı içinde boru yüzeyine direkt olarak etki eden Şekil 3.15’de gösterilen ve Şekil 3.16’da gösterilen dinamik basınç, toplam basınç ise Şekil 3.17’de gösterilen toplam basınçtan oluşur. Toplam basınç ölçümü Şekil 3.18 de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Statik basınç, boru yüzeyine direk olarak etki eden basınç [20].

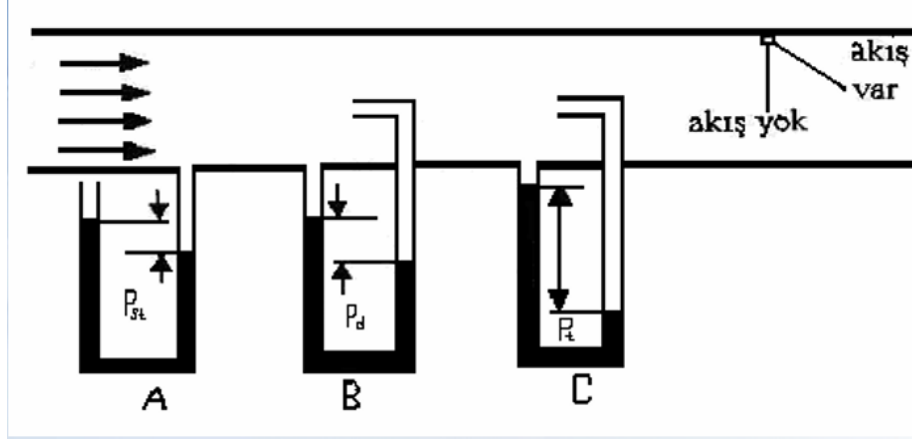


Şekil 3.16. Dinamik basınç, havanın kinetik enerjisinden oluşan basınç [20].



Şekil 3.17. Toplam basınç, $PT = Pst + \Delta P$ [20].

d) Toplam basınç (PT), $PT = Pst + \Delta P$



Şekil 3.18. Toplam basınç , $PT = P_{st} + \Delta P$ [20]

3.5.3. Klapeler

Endüstriyel hava kanallarında hava geçişini yönetmek, hava hız ayar dengesinin kontrol altında tutmak, basınç ayarı yapabilmek amacıyla Şekil 3.19 da gösterildiği gibi tasarlanan bir üründür.

Klapeler ihtiyacınıza en uygun şekilde direkt boruya akuple veya çift tarafı flanş bağlantılı olmakla beraber silindirik veya prizmatik yapıda tasarlanabilmektedir. Debi ayarı klape kolu kullanılarak manuel, elektrik aktüatörü kullanılarak da otomatik sistemle yapılabilmektedir [21].



Şekil 3.19. Hava Ayar Klapesi [21].

3.5.4. İzolasyon

Boru hattı izolasyonlarında önemli olan husus ısı kaybı hesabının doğru yapılarak en doğru yalıtım malzemesinin seçimidir. Şekil 3.20’de ortam ısıtma hattı camyünü uygulaması gösterilmiştir.

Sistemde özellikle tüm fanların yalıtılması çok önemlidir. Sistemde daha sonra bakım yapılması muhtemel yerlerde sökölüp takılması kolay olan ısı ceketleri kullanılmalıdır.



Şekil 3.20. Boru Hattı İzolasyon ve Kaplamalar

Bu tür kompensatör ya da vanalar için yalıtım sistemlerini sürekli değiştirmeniz gerekmez. Olası kompensatör veya klape arızalarında tak-sök işlemi kolayca sağlanarak işlemin daha hızlı yapılması sağlanır. Aynı zamanda sabit yapılan kaplama ve izolasyon tekrar sökme işleminde zarar görme durumu vardır.

Terleme oluşumuna mahal vermemesi tasarruf açısından oldukça yararlıdır. Şekil 3.21’de vana ceket ek yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Ek Yerleri Vana Ceket Kullanımı

Isı yalıtımı özellikle ısı geri kazanım çalışmalarında kaynaktan alınan ısının en az seviyede kayba uğrayarak son besleme noktasına ulaştırılması sistemin daha verimli olması ve kazanç miktarlarının daha yüksek olması açısından çok önemlidir. Boru hatlarında gerekli malzeme seçimi yapılırken malzemelerin Çizelge 3.3’de gösterildiği gibi dikkate alınması gerekir.

Isı geri kazanım sistemlerinde genellikle Sanayi şiltesi Şekil 3.22’de gösterildiği gibi uygun kalınlık seçilerek yalıtım gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 3.3. Malzeme Cinslerine Göre Isıl İletkenlik Katsayısı [22].

CAM YÜNÜ	10 °C’de = 0.030 – 0.050 W/(m.K)
TAŞ YÜNÜ	10 °C’de = 0.035 – 0.050 W/(m.K)
EKSPANDE POLİSTREN KÖPÜĞÜ (EPS)	10 °C’de = 0.030 – 0.040 W/(m.K)
EKSTRUDE POLİSTREN KÖPÜĞÜ (XPS)	10 °C’de = 0.030 – 0.040 W/(m.K)
POLİETİLEN KÖPÜĞÜ	10 °C’de = 0.035 – 0.050 W/(m.K)
KAUÇUK KÖPÜĞÜ	10 °C’de = 0.030 – 0.050 W/(m.K)



Şekil 3.22. Sanayi Şiltesi

3.5.5. Alüminyum Kaplama

Alüminyum sac kaplama paslanmaz nitelik taşır. Sık olarak tercih edilmesinin en önemli nedeni alüminyum malzemesinin su ile paslanmamasıdır. Demir ve çinko korozyona dayanıklı değildir. Fakat alüminyum sac kaplama ürünler doğal ortama, uzun süreli rüzgâr ve güneŐe, kısa sürede paslanmaya ve hava koŐullarına yüksek direnç gösterir. Servis ömrü demir ve çinkoya göre çok daha uzundur.

Alüminyum sac kaplama tesisat sistemini iyi bir Şekilde izole eder. Tesisat alüminyum sac kaplama, temelde bir çeŐit gümüş-beyaz metaldir. Yüksek derecede pürüzsüzlüğe sahip olacak Şekilde işlenebilir. Alüminyum, alüminyum bobin halinde işlendikten sonra parlak gümüş-beyaz metalik parlaklığa sahiptir. Görünümü iyi olmasının dışında bu malzemeler yüksek düzeyde izolasyon sağlar.

Alüminyum sac kaplama uzun ömürlüdür. Demir ve çinko malzemenin paslanması kolay olduğundan, birkaç yıllık kullanımdan sonra yavaş yavaş aşınır ve soyulurlar. Bu yüzden birkaç yılda bir yenilenmeleri gerekir. Ancak tesisat alüminyum sac kaplama ürünler uzun yıllar boyunca dayanıklılık sergiler ve ek maliyetlerin önüne geçer.

Alüminyum sac kaplamanın geri dönüşüm değeri yüksektir. Demir ve çinkonun geri kazanım fiyatı çok düşüktür. Hurda demirin fiyatı, ilk satın alındığında fiyatın sadece onda biri kadardır. Paslanma sonrası geri dönüşüm değeri yoktur. Alüminyum paslanmadığı için geri dönüştürülebilirliği yüksektir. On yıldan uzun süredir kullanılmış olsa bile fiyatı, güçlü bir değer koruma işlevi olan spot alüminyumun yarısından fazlasına ulaşabilir.

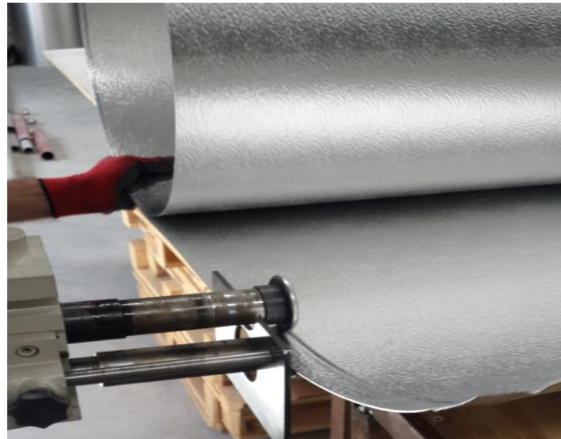
Genel olarak alüminyumların Şekil 3.23’de gösterildiği gibi kolay işlenebilirlik, üstün dayanıklılık, direnç ve uzun ömürlülüğe sahip olduğu bilinmektedir. Bunlar dışında birçok avantaj sağlar:

Düşük bakım: Kar, sıcağa, dona ve diğer doğal tehditlere karşı iyi bir performans gösterebilir. Bakım gereksinimi çok düşüktür.

Nem çekmez: Alüminyum nemi tutmaz ve emmez. Bu da tesisat uygulamaları için ideal bir malzeme olduğunu kanıtlar.

Yapısal koruma: Tesisat alüminyum sac kaplama, ilgili alana yeni bir koruma katmanı ekler. Böylece yapıyı korur ve güçlendirir.

Yüksek izolasyon: oldukça yüksek seviyelerde yalıtım sunabilir. Bu hem sıcaklık yalıtımı hem de ses yalıtımı için geçerlidir.



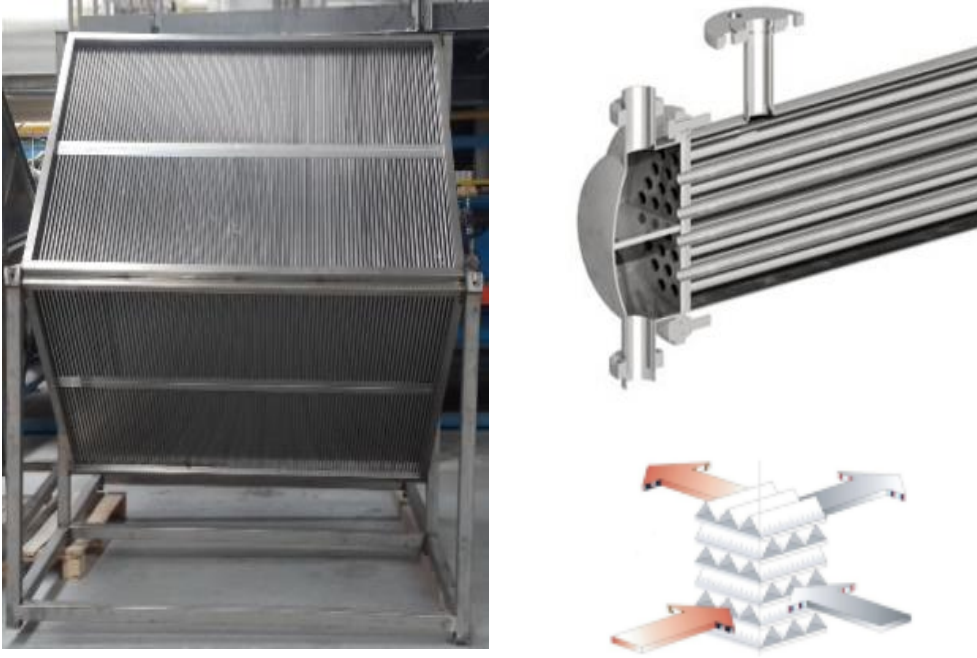
Şekil 3.23. Alüminyum Gofraj Kordon Çekimi

3.5.6. Eşanjör Sistemi ve Seçimi

Eşanjör sistemi hesaplanırken en önemli unsur sıcak hava ihtiyacının tespitidir. Eşanjör sisteminden atık ısı geri kazanım maliyeti direkt kazanılan soğutma bacaları atık ısılarına göre çok çok daha maliyetlidir. Çalışmada 3 adet püskürtmeli kurutucu için yeterli hava miktarı temiz atık olan soğutma ve son soğutmalardan sağlandığından dolayı eşanjör sisteme dahil edilmemiştir. Sistemin püskürtmeli kurutucu hava ihtiyacı karşılanmasaydı örnek olarak gösterilen aşağıdaki reküparatif ısı eşanjörü sıcaklık giriş-çıkış bilgileri görseldekine benzer olarak çıkabilir. Bununla beraber reküparatif ısı değiştirici baz alınmasının nedeni hem plaka kalınlığının malzeme (AISI 310T) seçimine bağlı olarak düşük olması, kapladığı alan borulu tipe göre daha az olmasından dolayı seçilmiştir.

Sistemde kullanılacak eşanjör seçiminde önemli olan husus öncelikle baca gazı içeriğine uygun eşanjör seçimin yapılmış olmasıdır. Bu çalışmada çapraz akışlı reküparatif ısı değiştirici kullanılmıştır. Alternatif olarak sistemde kullanılacak sistemler mevcuttur. Eşanjör çeşitleri Şekil 3.24'deki gibi görsel olarak belirtilmiştir. Bunlar;

- Borulu tip ısı değiştiricisi (Serpantinli, Gövde Borulu, Isı Borulu Isı Eşanjörü),
- Levhalı tip ısı değiştiricisi (Contalı, Spiral, Lamelli Levhalı Isı Değiştiricileri)
- Yüzeysel kanatlı tip ısı değiştiricileri (Levhalı, Borulu Kanatlı Isı Değiştiriciler)
- Rejeneratif (dolgu maddeli) Isı Eşanjörleri (Döner ve reküparatif ısı eşanjörleri)



Şekil 3.24. Eşanjör Çeşitleri Sırasıyla Reküparatör ve Borulu Tip

Sistemin bakımı çok önemlidir. Yıkama sistemi ve otomatik kontrol sistemi sistemin en önemli ve dikkat edilmesi gereken noktasıdır. Sisteme ait giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.25’de de gösterilmiştir.

Baca gazı içeriği ve yüksek sıcaklıktan gelebilecek dengesizliklere önlem olarak sıcaklık ayar klapeleri ile sıcaklık kontrol altında tutulabilir.



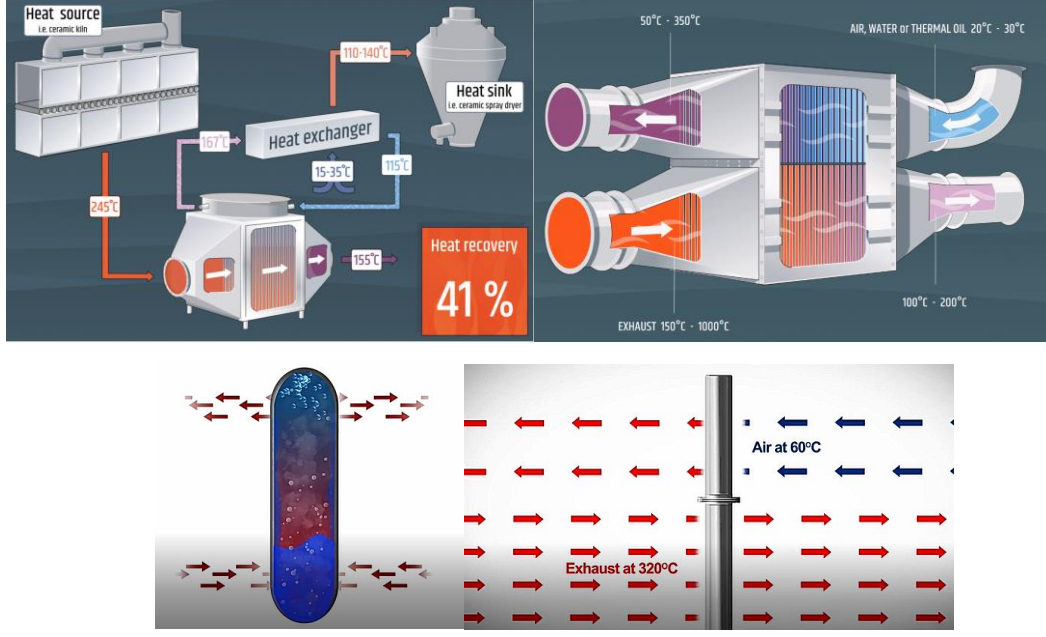
Şekil 4.25. Eşanjör Ekran Bilgileri

Sistemde oluşabilecek en önemli sorun yoğuşmadır. Bunun önüne geçmek için mekanik ve elektriksel olarak otomasyon üzerinden gerekli önlemler alınmalıdır.

3.5.6.1. Isı Borulu Isı Eşanjörü Kullanımı

Sistemde seçtiğimiz reküparatif ısı değiştiricisine ek olarak ısı borulu ısı değiştiricisi ülkemizde yaygınlaşmamış bir teknolojidir. Bundan dolayı maliyet göz ardı edilmesi durumunda sistemlerde kullanılabilir en yüksek verim sağlayan sistemlerdir.

Patentli süper iletken ısı borusu teknolojisi, birçok farklı endüstriyel sektörde çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Teknoloji, son derece sağlam olması ve sürekli artan enerji maliyetlerini düşürmeye çalışan yüksek enerji kullanıcılarının yararına birçok zorlu ısı geri kazanım ortamında çalışabilmesi ile tanınmaktadır. Eşsiz düşük maliyetli üretim süreci ve patentli eşanjör tasarımlarının birleşimi, ısı borulu eşanjörlerin Şekil 3.26' daki gibi birçok teknik avantajının, işletme maliyetlerini ve karbon emisyonlarını azaltmak isteyen endüstriyel kullanıcılara sunulmasını sağlar [23].



Şekil 3.26. Isı Borulu Isı Eşanjörü [23].

Isı Borusu Tabanlı Eşanjörün (HPHE) seramik prosese uygulanmasını ve bunun enerji verimliliği ve çevresel etki üzerindeki etkilerini incelemektedir. Isı eşanjörlerinde ısı borularının uygulanması, geleneksel ısı eşanjörlerine kıyasla daha fazla avantaj ve özellik katmaktadır. Isı, ısı boruları vasıtasıyla pasif olarak sıcak akımdan soğuk akıma taşınır. Birkaç ısı borusu arızalanırsa, HPHE, süreç kesintiye uğramadan çalışmaya devam edebilir ve arızalı ısı boruları, planlanmış bakım planı aracılığıyla değiştirilebilir. HPHE, daha fazla ısı transfer kapasitesine ve daha az ısı transfer alanına sahiptir. Aynı ısı miktarı ve daha düşük maliyet için kompakt ünitelerle sonuçlanan geleneksel sistemlerden daha iyidir. Ek olarak, ısı borulu ısı eşanjörleri, 20 yıla kadar çıkabilen büyük bir ömre sahiptir ve geri ödeme süresi genellikle iki yıldan azdır. Yerçekimi destekli ısı borularından oluşan ısı borulu ısı eşanjörü, sıcak akım ve evaporatör bölümünün, ısı borusunun yoğuşturucu bölümünden ve soğuk akımın alt kotunda olduğu yerde ısıyı yukarı doğru taşır. HPHE üzerinden ısı transferi, sıcak akım ile soğuk akım arasındaki çok düşük sıcaklık farkı ile başlar [23].

3.5.6.2. Eşanjör Seçimi Tespit Öneri

İlk olarak, ısı borusu teknolojilerinin yerleşik, kanıtlanmış performans özelliklerine dayalı olarak HPHE ısı eşanjörünün termal ve akışkan-dinamiği özelliklerinin

hesaplanması için teorik bir yaklaşım önerilmiştir. Hesaplamalar ve ölçümler arasındaki uyum tatmin edici sonuçlar vermiş ve fırının çalışması fiili çalışma koşulları altında simüle edildi. Bu sistem Avrupa ülkeleri başta olmak üzere, seramik endüstrisinin yoğun olduğu bölgelerde en çok tercih edilen yenilikçi bir sistemdir.

Bu nedenle, önerilen sayısal yaklaşım, yalnızca endüstriyel seramik fırınlarında değil, aynı zamanda fırın ve kazanları içeren diğer endüstriyel uygulamalarda atık ısı kaynaklarından yararlanma olanaklarını değerlendirmek için bir tasarım aracı olarak kullanılabilir.

Seramik işleminin enerji verimliliğini ve çevresel etkisini artırmak için ısı boruları teknolojisinin uygulanmasının, enerji tüketimi açısından ve ayrıca çözümün ekonomik yatırımını değerlendirirken avantajlı olduğu kanıtlanmıştır [24].

3.5.7 Sensörler

Sistemde kullanılacak başlıca sensörlerden Şekil 3.27’de gösterilen basınç sensörü, boru hattındaki akışkan havanın istenilen noktada basıncını ölçmek için önemlidir. Şekil 3.28’de gösterilen sıcaklık sensörü ise sıcak hava kazanım hesaplamaları için önemli olup, montaj edilirken Şekil 3.29’de gösterilen yerleşimlere uygun ve boru hattı ile mutlaka arada manşonlar kullanılarak bağlanması uygun olacaktır.

-Sistemde kullanılacak sensörler, (Basınç, sıcaklık, debi vb.)



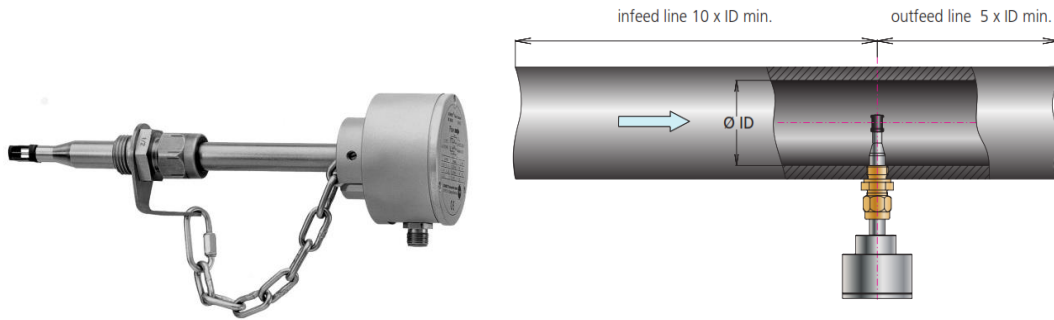
Şekil 3.27. Basınç Sensörleri

Basınç Sensörleri;



Şekil 3.28. Sıcaklık Sensörleri

Atık ısı geri kazanım sistemlerinde geri kazanılan ısılar açısından düşünüldüğünde sıcaklık sensörleri sistemin vazgeçilmezleri arasındadır. Kazanılan havanın sıcaklık değerinin sistem üzerinden görünmesi olası arıza durumlarında kullanıcıya rehber olmasının yanı sıra kazanım miktarlarının hesabı için çok önemlidir.



Şekil 3.29. Boru Kanalına Sıcaklık Sensör Yerleşimi

Sıcaklık sensörleri özellikle ısı geri kazanım sistemlerinde tüm kullanılan fanlardan sonra mutlaka konulmalıdır. Nu sensörlerde montaj aşamasında boru hattı iç sıcaklığından zarar görmemesi adına uygun aparatlar yapılarak monte edilmelidir.

3.5.8. Isı Geri Kazanım Kontrol Panosu

Pano seçimlerinde sistemin kullanılabilirliği ve ulaşım kolaylığı dikkate alınmalıdır. Sistemin tümünün kontrol altında olacağı dikkate alınarak Şekil 3.30'daki gibi standartlara uygun dizayn edilmelidir.



Şekil 3.30. I.G.K. Panoları

Sistemde kullanılacak pano sayıları mesafelere ve sistemde kullanılacak cihazlara göre değişmektedir. Pano yerleşiminde önemli olan yerinde müdahale ve en kısa sürede ulaşımır.

Pano yerleşimlerinde seçilen alanların mutlaka izolasyonu sağlanarak, kapalı alan negatif basınçlandırma yapılmalıdır.

Panolara sistem üzerindeki tüm elektriksel sensör, damper motorları, fan motorları, ethernet hattı vb. kablo çekimleri standartlara ve fabrikadaki diğer parazit oluşturacak durumlar dikkate alınarak yapılmalıdır.

Sistem üzerindeki tüm panolar kendi aralarında ethernet hattı üzerinden haberleşmelidir. Pano içi bağlantılar yapılırken klemens, röle, sigorta gibi elemanlar düzenli olmalıdır.

Damper motoru kablo çekimlerinde ve yerleşiminde sıcaklık sorununa dikkate edilmelidir. Aynı zamanda pano sıcaklık sorununa karşı önlemler alınmalıdır. Pano içi örnek uygulama Şekil 3.31 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Pano içi sürücü ve diğer yerleşimler

Isı Geri Kazanım Sistemine Ait Kontrol Panosunda Genellikle aşağıdaki ekipmanlar bulunmaktadır:

- Plc ve yardımcı kartlar
- İnvörtörler
- Endüstriyel switch
- Güç Kaynağı 24 DC/220 AC
- Klima
- Ayırıcılar
- Enerji Analizörü
- Kontaktörler
- Parafudurlar
- Klemensler, röleler
- Termostatlar

3.5.9. Damper Motorları

Sistemde kullanılan klapelerin Şekil 3.32'deki gibi otomasyon üzerinden kontrolüne olanak sağlayan oransal damper motorları otomasyon üzerine dahil edilir. Klapelerin istenilen zamanda, istenilen pozisyona vakit kaybetmeden getirilmesi ve bu işleyişin

otomatik hale getirilmesi geri kazanım oranının artmasına ve uzun vadede insana bağımlılıktan kurtaracak olup oluşabilecek yanlış uygulamaların önüne geçilecektir.



Şekil 3.32. Damper Motorları

3.5.10. İnvvertörler

Sistemde kullanılan fanların kontrolleri için invertörler (sürücü), fanın verimli ve istenilen değerlerde kullanılması için Şekil 3.33’de gösterildiği gibi önemlidir. Bu sistemlerin asıl amacı enerji kazanımı olup, kazanılan enerji sistemin en önemli enerji harcayan parçası olan fanların kontrolünde kesinlikle olmalıdır.



Şekil 3.33. Sürücüler

Motorun farklı devirlerde ayarlanması sistem açısından özellikle besleme yapılan noktalarda uygun basınçların elde edilmesi ve stabil verilmesi istenmektedir. Bu durum hava kanalı üzerine konulacak en basit basınç sensörü ile fan hızını otomasyon üzerinden kontrol edilmesine olanak sağlayacaktır. Sistem üzerinden kullanıcı uygun basınç aralığını seçecek ve fan devrini sürücü üzerinden otomatik sağlayacaktır.

Motor hızı düşürülmek istenirse frekans düşürülür, hız artırılmak istenirse frekans artırılır [25].

4.5.11. Montaj Aksesuarları

Montaj aksesuarları Şekil 3.34’de gösterildiği gibi sistemin güvenli işlemesi için çok önemlidir. (Konsol, sismik halatlar, kompensatör, destek stoperleri, sızdırmazlık contaları, cıvata)



Şekil 3.34. Konsollama, Kompensatör ve Yanmaz Silikon

Sistemde boru hattı birleşim noktalarında yüksek ısıya dayanıklı silikon kullanımı ısı kaçaqlarının önlenmesi adına mutlaka uygulanmalıdır. Kompensatörler boru hattından geçem sıcaklık ile uzama miktarı hesap edilerek uygun noktalara uygun miktarlarda kullanılmalıdır.

BÖLÜM 4

4.1. ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ UYGULAMA METODU

Bu çalışmada için baz alınan değerler üretici firma katalog değerlerine Çizelge 4.1'de ATM-52 için 50.000 m³ (1 nolu değer) debi maksimum olarak hesaplanmıştır. Katalog değerleri üzerinde ısı kapasitesi 4.300.000 kcal (2 nolu değer) değeri 5200 litre buharlaştırma kapasitesi olup, ortalama işletme değerleri piyasa geneli 5125 litre buharlaştırma kapasitesinde çalıştığı ve bu durumun hem pompa basıncından hem kuru madde miktarından doğruluğu sağlanabilir. Bu durumda 5125 litre çamuru püskürtmeli kurutucuda buharlaştırmak için yine katalog değeri (700-850 kcal/H₂O) (3 nolu değer) 800 kcal enerji harcanacağı baz alınırsa 4.100.000 kcal ısı kapasitesi söz konusudur.

Çizelge 4.1. Püskürtmeli kurutucudaki katalog değerleri [15].

ÖZELLİKLER	ATM 52	
MAKSİMUM BUHARLAŞTIRMA KAPASİTESİ	5200	lt/h 3
TOPLAM KURULU GÜÇ	137	kW
TOPLAM ÜRÜN KAPASİTESİ	54000	kg
TOPLAM ÜRÜN KAPASİTESİ	4300000	kcal/h 2
BRÜLÖR FAN GÜCÜ	7,5	kW
YARDIMCI FAN GÜCÜ	7,5	kW
PÜSKÜRTMELİ KURUTUCU GİRİŞ SICAKLIĞI	500-600	°C
MAKSİMUM DAĞITIM ORANI	2x8000	lt/h
MAKSİMUM BASINÇ	30	bar
GÜÇ	2x15	kW
NOZUL SAYISI	28	nr
MIZRAK SAYISI	20	nr
SPEŞİFİK TERMAL TÜKETİM	700-850	kcal/H ₂ O
ÜRÜN ÇIKIŞ SICAKLIĞI	40-60	°C
ÜRÜN ÇIKIŞ NEM İÇERİĞİ	4-7	%
KURUTMA İÇİN GEREKLİ HAVA MİKTARI	50000	m ³ /h (100 °C, 1 bar) 1
ANA FAN EGZOZ GÜCÜ	90	kW
FAN BASMA YÜKSEKLİĞİ	400	mm H ₂ O
AYIRICI SIKLONLAR	2	nr
ÇIKIŞ HAVASI SICAKLIĞI	60-130	°C
TOZ AYIRICI KAPASİTESİ	1930	lt/h
SU TÜKETİM KAPASİTESİ	36000	lt/h

Sistem hazırlanırken öncelikle yapılacak projenin fizibilitesi yapılarak finansal ve uygulanabilirlik açısından gerekli değerlendirmeler yapılır. Sistemin tasarımında dikkate alınması gereken değerler arasında önemli olanlar, yapılan enerji analizlerine göre atık ısının kullanılacağı proseslerin belirlenmesi, hat güzergahlarının tespiti, istenilen hız ve basınç ayarlamaları için boru çap seçimleri, boru hattı ısı kaybı hesaplamaları, genişleme hesapları, fan seçimleri, basınç ve sıcaklık sensörleri tespiti, otomatik klapeler gibi önemli noktalar proje başlangıcında ayrı ayrı dikkate alınmalıdır. Şekil 5.1 'de prensip şema üzerinden sistem tasarımı gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnek Seramik Fabrikaları Atık Isı Ölçüm Sonuçları

Fırın-Baca Adı	Atık Debi (m³/h)	Sıcaklık (C)	IGK Dağıtım Planı
Fırın-1 Egzoz	32.800	258	-
Fırın-1 Soğutma	31.500	280	Püskürtmeli Kurutucu
Fırın-1 Son Soğutma	41.500	90	-
Fırın-2 Egzoz	30.600	230	-
Fırın-2 Soğutma	35.000	290	Püskürtmeli Kurutucu
Fırın-2 Son Soğutma	45.000	85	-
Fırın-3 Egzoz	32.700	235	-
Fırın-3 Soğutma	33.100	265	Püskürtmeli Kurutucu
Fırın-3 Son Soğutma	51.750	93	Püskürtmeli Kurutucu

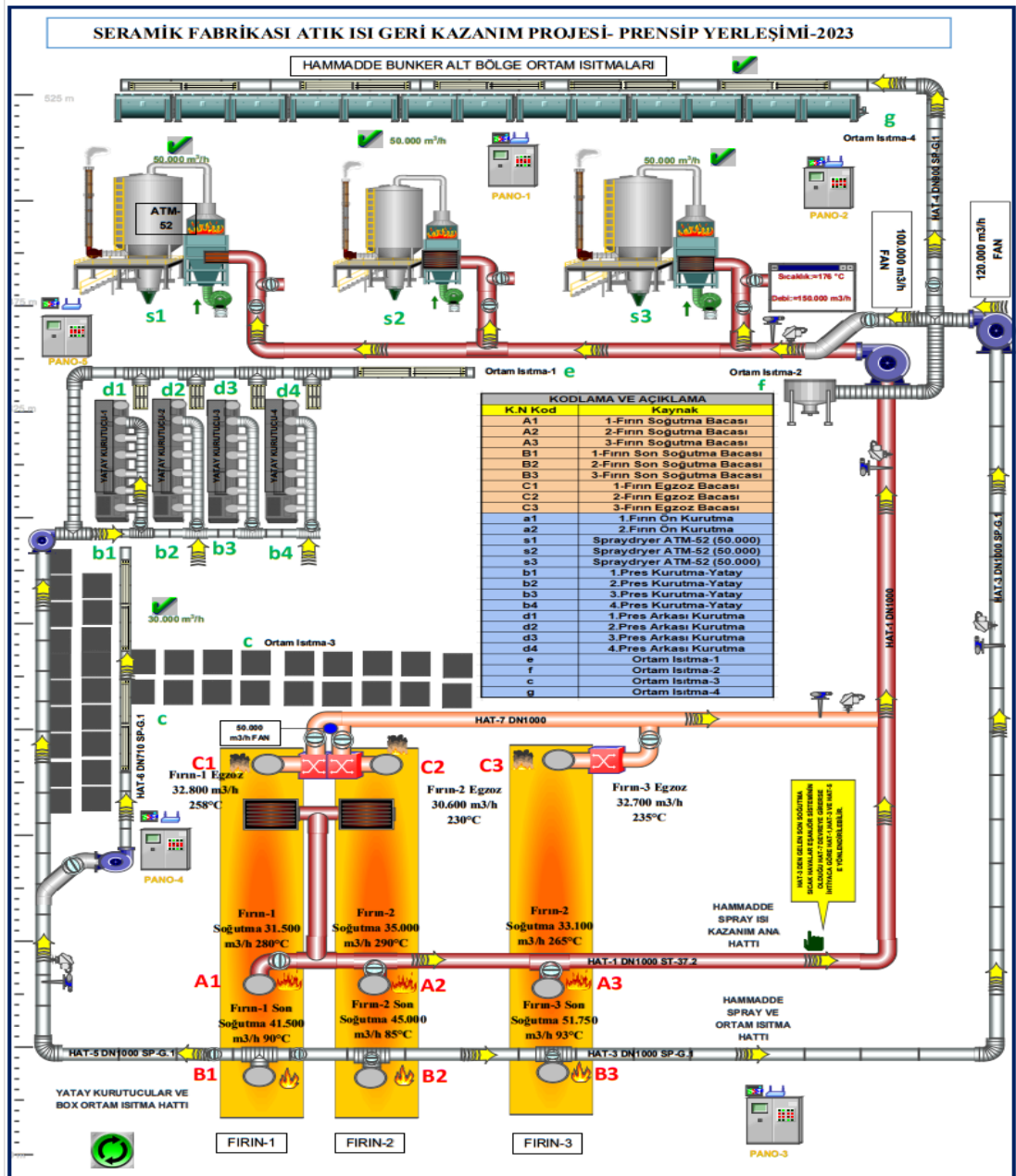
Çizelge 4.2'de örnek fabrikaya ait ölçüm değerleri sektör ortalamaları esas alınarak verilmiştir.

Projede atık ısıların alınacağı fırınlar için genel olarak 3 adet atık hava bacası bulunmaktadır. Bunlar; 1. egzoz bacası kükürtdioksit ve azotdioksit gazları atık partiküllerin olduğu yani eşanjör sisteminin dahil edildiği baca, 2. soğutma bacası diye adlandırılan fırının cehennem bölgesinden sıcak hava emişi yapılan içerik olarak temiz baca ve 3.olarak fırın çıkış bölgesinde olan son soğutma olarak adlandırılan baca olacaktır.

Sistem üzerinde kaynak noktaları A1, A2, A3 ve B3 (%97 teorik) alınarak s1, s2 ve s3 püskürtmeli kurutucuya ısı geri kazanım yapacaktır. Prensip şema üzerinden Şekil 4.1'

de gösterilen B1, B2 ve C1, C2, C3 sonraki aşamalarda eklenen püskürtmeli kurutucu, yatay kurutucu ya da ortam ısıtma ihtiyaç halinde kullanılacaktır.

Sistem anlaşılabilirliği basite indirmek için Şekil 4.1'deki gibi sistem prensip olarak kurgulanmalıdır. Şekil üzerinde fırınlar üzerinden alınan atık ısılar boru hatları ve uygun fanlarla püskürtmeli kurutuculara kazandırılmış, aynı zamanda ortam ısıtmalarında da kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Isı Geri Kazanım Sistemi Prensip Gösterimi

4.2. ISI GERİ KAZANIM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

4.2.1. Bacalardan Atılan Enerji Miktarı;

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

$$\dot{m} = v \cdot \rho \quad (4.2)$$

$$\text{Doğalgaz üst ısıl değeri} = 9150 \text{ kcal üst ısıl değer referans alınmıştır.} \quad (4.3)$$

Q= Isı Enerjisi (kcal/yıl)

\dot{m} = Kütlesel Debi (m³/yıl)

v = Hacimsel Debi (m³/yıl)

ρ = Yoğunluk (kg/m³)

c_p = Havanın Spesifik Isı katsayısı (Kcal/Kg°C)

ΔT =Sıcaklık farkı (°C) [26].

4.2.2. Isı Kayıplarından Oluşan Enerji Miktarı;

Boru hattından kaybolan ısı kaybını bulmak için;

$$Q_{\text{boru}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_2)}{\left(\frac{1}{r_1 \cdot \alpha_1}\right) + \left(\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}\right) + \left(\frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2}\right) + \left(\frac{1}{r_3 \cdot \alpha_2}\right)} \quad (4.4)$$

Burada,

Q_{boru} =Isı kaybı (kcal/saat)

L= Boru boyu (m)

T_1 =Boru iç yüzey sıcaklığı (°C)

T_2 =Boru dış yüzey sıcaklığı (°C)

r_1 =Boru iç yarıçapı (m)

r_2 =Boru dış yarıçapı (m)

α = Isı taşınım katsayısı (kcal/m² h.°C)

$\lambda =$ Isı iletim katsayısı (kcal/m². h.°C)

4.2.3. Karbon Salınımı Miktarı;

Fabrikada tüketilen enerji kaynakları karbondioksit açısından önemlidir. Geldiğimiz noktada tüketici kendi tüketiminden kaynaklı emisyonlardan sorumludur.

$$(1) C+O_2=CO_2+Isı \quad C=12, O_2=32, CO_2=44 \quad (4.5)$$

(2) Doğal gazın içerisinde bulunan sabit C(karbon) oranı %75 civarındadır. Burada

$$(3) (75/100)*(44/12)=2,75 \text{ Kg } CO_2. \quad (4.6)$$

Yani 1 Sm³ Doğal gaz yandığında 2,75 Kg CO₂ oluşmaktadır.

4.2.4. Kuru Hava Yoğunluğu;

Kuru havanın özkütlesi, sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak ifade edilen ideal gaz yasası yaklaşımı kullanılarak ifade edilebilir.

$$\rho = p / R_{\text{hava}} \cdot (273+T) \quad (4.7)$$

Formülü ile hesaplanır.

Sembollerin anlamı;

ρ : Hava yoğunluğu (kg / m³)

p : Mutlak basınç (101.325 Pa)

T : Mutlak Sıcaklık (°C) tır.

R_{hava} : Hava için genel gaz sabitidir (287,1 J / (kg . K)

4.2.5. Denge Sıcaklığı

Denge sıcaklığı farklı atık baca gazı noktalarından alınan havaların karışımında ortalama sıcaklığı bulmak için kullanılır.

1-Denge sıcaklığı hesabı

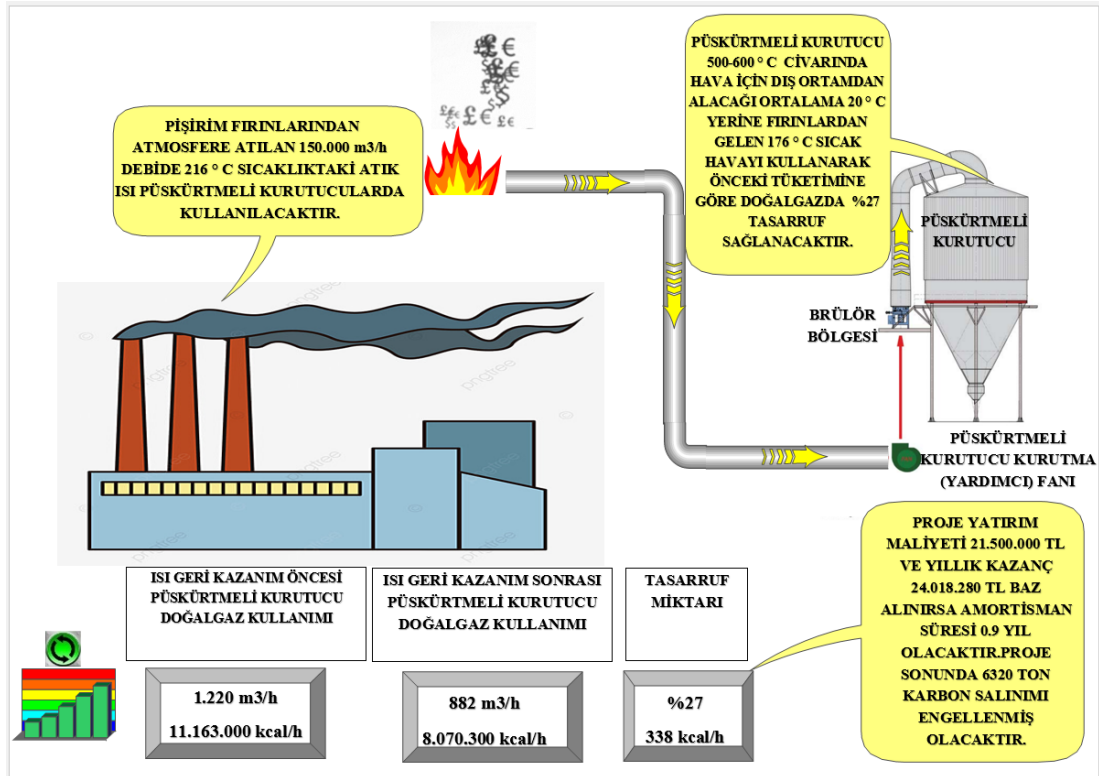
X ve Y akışkan olsun. Bu iki akışkan aynı kaba koyulduğunda oluşan karışımın ısı denge sonucunda ulaştığı denge sıcaklığını $m_x \cdot c_x \cdot (T_x - T_{\text{denge}}) = m_y \cdot c_y \cdot (T_{\text{denge}} - T_y)$ denklemi ile bulabiliriz. Bu denklemde T= sıcaklık , c=öz ısı , m=kütle'dir.

$$T_{\text{denge}} = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \quad (4.8)$$

BÖLÜM 5

SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma bir inceleme ve değerlendirme çalışmasıdır. Çalışmada, incelenen 3 adet püskürtmeli kurutucu için toplam duyulan sıcak hava ihtiyacı saatte 150.000 m³'tür. Aynı zamanda 3 adet püskürtmeli kurutucu için ısı kapasite yıllık 12.300.000 kcal olarak olup, bu değerler Çizelge 4.1'de imalatçı firma katalog değerlerinden alınmıştır. 3 adet seramik pişirme fırınlarından atılan ısılar, F1S = 31.500 m³/h - 280 °C, F2S = 35.000 m³/h - 290 °C, F3S = 33.100 m³/h - 265 °C, F1SS = 41.000 m³/h - 90 °C, F2SS = 45.000 m³/h - 85 °C, F3SS = 51.750 m³/h - 93 °C, F1E = 32.800 m³/h - 258 °C, F2E = 30.600 m³/h - 230 °C, F3E = 32.700 m³/h - 235 °C, (çizelge 4.2). Fırınlardan atılan bu ısılar püskürtmeli kurutucularda kullanıldığında elde sonuçlar ve değerlendirmeler Şekil 5.1 üzerinde ve aşağıda maddeler şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 5.1. Isı Geri Kazanım Tasarruf Şeması

- Yüksek sıcaklıkta olan bacalar öncelik olarak alınıp, F1S, F2S, F3S, F3SS (% 97), bunlardan alınan sıcak havaların debileri toplam 150.000 m³/h'tür. Pişirme fırınlarının her birinden alınan havaların debileri ve sıcaklıkları kullanılarak püskürtmeli kurutuculara giren karışım havasının sıcaklığı 4.8 nolu eşitlikten 216 °C olarak bulunmuştur.
- Boru hattı kaynak ve alıcı arası boru hattı ısı kayıpları hesaba katılırsa yaklaşık 420 m mesafede 40 °C sıcaklık düşüşü ile birlikte son noktadaki sıcaklık 176 °C'dir. Bu sıcaklık düşüşüne bağlı olarak eşitlik 4.4' den hesaplanan ısı kaybı 540.814 kcal/h bulunmuştur.
- Eşitlik 4.1 ve 4.2 kullanılarak, havanın yoğunluğu eşitlik 4.7' ye göre alınır, fırınlardan alınarak püskürtmeli kurutucuya verilen atık havaların ısı karşılığı 4.414.176 kcal/h dir.
- Püskürtmeli kurutucuda elde edilen ısı kazanımının doğalgaz eşleniği dönüşümü için eşitlik 4.3'e göre 482 m³ doğalgaz kazanılmıştır. Bunun yaklaşık %70 sistem verimi (saha deneyimlerine bakılarak, ısı kaybı, enerji giderleri vs.) baz alınır ortalama saatlik 338 m³ doğalgaz geri kazanımı olmuştur.
- İşletmenin günde 20 saat ve yılda 340 gün ortalama çalışma süresi baz alınır toplamda yıllık 2.298.400 m³/yıl doğalgaz kazancı söz konusudur.
- Doğalgaz sanayide 1 m³ fiyatı 10,45 TL baz alınır 24.018.280 tl yıllık kazanç sağlanacaktır.
- Sistemin maliyeti tüm gider ve işletme maliyetleri dahil 21.500.000 TL baz alınır 0,9 yılda sistem kendini amorti edecektir.
- Bu sistemde örnek alınan 3 adet Atm-52 püskürtmeli kurutucu için referans alınan kapasiteye göre doğalgaz tüketimi ortalama toplamda saatlik 1220 m³'tür. 3 kurutucuda toplamda saatlik 338 m³ geri kazanım yapıldığına göre toplamda %27 tasarruf elde edilmiştir.
- Tüm bunlara ek olarak emisyon salınımlarının ve çevre bilincinin geliştirilmesi adına sistem doğaya eşitlik 4.5 baz alınarak 6320 ton karbon salınımı engellenmiş olacaktır [27].

Seramik fabrikalarında ısı geri kazanım için son soğutma havalarının fazla kullanımı kurutucuya verilen atık ısı sıcaklık değerlerinin düşmesine neden olmakla beraber

kazanım miktarlarını da düşürmektedir. Burada önemli olan tüm kurutuculara kazanım yapılmadığı durumlarda soğutma havalarının öncelikli kullanılmasıdır.

Atık ısı geri kazanım kontrolsüz yapıldığı durumlarda fırınlarda basınç sorunları, püskürtmeli kurutucularda basınç ve vakum sorunları daha büyük ekonomik kayıplara yol açabilir.

Yapılan ısı geri kazanımı çalışması sonunda elde edilen % 27 tasarruf değeri için pişirim fırınlarından atılan tüm atık havalar kullanılmamış olup sadece püskürtmeli kurutucu için ihtiyaç olunan hava miktarı sisteme verilmiştir. Bunun dışında fazlalık olarak dışarı atılan egzoz havaları, son soğutma havaları sistemde kullanılabilir. Tesis içerisinde kullanım noktası olarak yatay kurutucular, dikey kurutucular, ortam ısıtmaları, fırın ön kurutmaları, fırın brülör besleme havası verilmesi, sıcak su eldesi gibi tüm alanlarda enerji kazanımı maksimum noktaya çıkartılabilir.

Bu çalışma ile birlikte seramik fabrikasında fırınlardan atılan atık ısılar sisteme geri kazandırılmış olup püskürtmeli kurutucu üzerinde beklenen doğalgaz tasarrufu sağlanarak yıllık 2.298.400 m³ doğalgaz kazancı sağlanmıştır. Bu sayede öncelikle önemli ölçüde dışa bağımlı olduğumuz doğalgaz tüketimlerini azaltmakla beraber doğaya salınacak olan 6320 ton/yıl karbon salınımı engellenmiştir. Bu proje ile ülkemizin enerjide dışa olan bağımlılığının azaltılması sağlanmıştır. Aynı zamanda bu tesiste düşük sıcaklıktaki bacalardan ortam ısıtmalarına verilen sıcak havalar sayesinde, özellikle ürünlerin kış aylarında fazla soğuktan etkilenmesi ve dolaylı olarak defolu ürünlerin önüne geçilmiş olup, işletme insanları için daha iyi ısı konfor şartlarına sahip olmuştur.

Bir tesiste atık ısıdan fayda sağlanması için öncelikli olarak atık ısının kullanım yerinin belirlenmesi ve ne kadar verimli olacağı detaylı bir şekilde ortaya konulmalıdır. Atık ısı kullanımına karar verildikten sonra gerek duyulması halinde hangi tür ısı değiştiricinin kullanılması gerektiği araştırılmalıdır. Hangi tip ısı değiştirici kullanılacağı belirlendikten sonra ısı geçiş miktarları ve cihaz boyutları hesaplanmalıdır. Bu aşamadan sonra maliyet ve fayda analizleri yapılarak sistemin

geri dönüş süresi hesaplanmalı faydaları ve kazançları ile beraber finansal olarak yol göstermelidir.

Isı geri kazanımı sayesinde atmosfere atılan yüksek sıcaklık ve debiye sahip ısılar sisteme kazandırılarak üretimde birim maliyetlerin düşürülmesi sağlanmalıdır. Özellikle karbon salınımı konusunda ciddi faydası bulunmaktadır. Bu sistemler tüm fabrikalarda zorunlu hale getirilmeli ve ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığının azalması sağlanmış olmalıdır.

Sonuçlar özellikle pişirim fırınlarından atmosfere atılan atık havaların yüksek ısı kapasiteye sahip olduğu ve yapılan yatırımların çok kısa sürelerde yatırım bedelini amorti edeceği anlaşılmaktadır. Yapılan uygulamanın geri dönüş süresinin kısa olması özellikle vitriye ve porselen sektöründeki ihtiyaç duyulan sıcak hava için kullanılabilirliği ortaya çıkarmıştır. Tüm seramik üreticilerinin fırın atık ısılarının geri kazanılması ile hem finansal faydalar sağlaması hem de ülke enerji güvenirligi konularında ülkemize ve çevreye önemli katkılar sağlaması önemlidir.

KAYNAKLAR

İnternet: “TMMOB-MMO Enerji Çalışma Grubu Dönem İçi Raporları ve Basın Açıklamaları” [https://enerji.mmo.org.tr/_\(2022\)](https://enerji.mmo.org.tr/_(2022)).

İnternet: “TMMOB-MMO Enerji Çalışma Grubu Türkiye Enerji Görünümü Sunumu” [https://enerji.mmo.org.tr/wp \(2022\)](https://enerji.mmo.org.tr/wp (2022)).

İnternet: “İleri Teknoloji Seramikleri ve Kale Seramik” [https://docplayer.biz.tr/110079202-Ileri-teknoloji-seramikleri-ve-kaleseramik.html \(2020\)](https://docplayer.biz.tr/110079202-Ileri-teknoloji-seramikleri-ve-kaleseramik.html (2020)).

TOKGÖZ N., ÖZGÜN Ö. Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.608955>

Velic, D., Mate, B., Srecko T., Mirela P., 2003, “Simulation, calculation and possibilities of energy saving in spray drying process”, Applied Thermal Engineering, 23: 2119-2131.

Apak, E., 2007, “Bir seramik fabrikasında enerji ekserji analizi”, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya

Turan, M. Bir Endüstriyel Kurutucunun Performansının Enerji ve Ekserji Yöntemleri Kullanarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanları: A. Hepbaşlı ve Z. Utlu). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilim Dalı Kodu: 625.04.00. Sunuş Tarihi: 04.02.2009.

Afşar, H., 2011, “Seramik fabrikası enerji ekserji analizi”, Yüksek lisans tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.

Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., Madadlou, A., 2013, “A review on exergy analysis of drying processes and systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22: 1-22.

Utlu, Z., Hepbaşlı, A., 2014, “Exergoeconomic analysis of energy utilization of drying process in a ceramic production”, Applied Thermal Engineering, 70: 748- 762.

Mezquita, A., Boix, J., Monfort E., Mallol G., 2014, “Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery”, Applied Thermal Engineering, 65: 102-110

Golman, B., Julklang, W., 2014, “Analysis of heat recovery from a spray dryer by recirculation of exhaust air”, Applied Thermal Engineering, 88: 641-649

Çağlayan, A., “Seramik sektöründe ısı geri kazanımlı bir püskürtmeli kurutucunun enerji ve ekserji analizi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak, 40-80 (2015).

İnternet: “Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı, Eğitim-Etüt Yetkilendirme Grubu” <https://enerji.mmo.org.tr/>(2018).

İnternet: <https://sacmi.com/en-US/Ceramics/Tiles/powder-preparation/ATM>

Sacmi, Uygulamalı Seramik Teknolojisi-I, , Özkan, G., 202-234 ve 298-314

İnternet: Akar Ö. “Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Gazlar” <https://www.cag.edu.tr/uploads/site/lecturer-files/yangin-turleri-11-0a-prs> (2020).

İnternet: “Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İzleme ve Ölçüm Başkanlığı Grubu” Partikül Madde Toz Tayini <https://docplayer.biz.tr/10609673-T-c-cevre-ve-orman-bakanligi-cevre-yonetimi-genel-mudurlugu-olcum-ve-izleme-dairesi-baskanligi-partikul-madde-toz-tayini-soner-olgun.html/>(2010).

İnternet: X. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ NİSAN 2011/İZMİR-Endüstriyel Kurutucu Fırının Termodinamik Analizi

İnternet: Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü Çalışması Özdebak A. https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8e4f62a99f58260_ek.pdf (2018)

İnternet: Hava Ayar Klapeleri [https://www.parget.com.tr/urunlerimiz/klape-ve-besleyiciler-\(2020\)](https://www.parget.com.tr/urunlerimiz/klape-ve-besleyiciler-(2020)).

İnternet: X. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ NİSAN 2015/İZMİR-Tesisat Yalıtımında Uygun Malzeme Seçimi (2015).

H. Jouhara, N. Khordehghah, S. Almahmoud, B. Delpech, A. Chauhan, S.A. Tassou, Waste heat recovery technologies and applications, *Therm. Sci. Eng. Prog.* (2018) 268–289 6, doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.

R. Edwards, J.F. Larive, D. Rickeard, W. Weindorf, S. Godwin, H. Hass, A. Krasenbrink, L. Lonza, H. Maas, R. Nelson, A. Reid, K. Rose, H. Hamje, Well-To-Tank Report version 4.a: JEC Well-To-Wheels Analysis Joint Research Center, 2014.

İnternet: Motor Sürücüleri fan başlangıç sürücüleri <https://elektrikinfo.com/motor-surucusu-> (2015)

İnternet:http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8e4f62a99f58260_ek.pdf

Enerji Tüketim ve CO2 Salınım Değerlerinin Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği Selmin ENER RUŞEN* , Mücahid KOÇ

ÖZGEÇMİŞ

Soner YILMAZ 2014 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde 2.95 ortalama ile mezun oldu. 2016 yılından itibaren atık ısı geri kazanım sistemleri üzerine çalışmaktadır.