KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FRİT ÜRETİM FABRİKASINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

ŞEYMA GÖKÇEN GÜVENÇ

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FRİT ÜRETİM FABRİKASINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

ŞEYMA GÖKÇEN GÜVENÇ

Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Prof. Dr. Durmuş KAYA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Yusuf ÇAY
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 21.12.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son on yılda yüksek ekonomik büyüme gösteren ülkelerde, farklı sanayi sektörleri için ihtiyaç haline gelen enerjinin, ülke kalkınmasındaki önemi öne çıkmaktadır. Bu nedenle, enerji, ekonominin rekabet gücü için ve dünyanın dört bir yanında istihdamın korunması için önemli bir faktördür. Ülkemiz de son yıllarda hem ekonomik hem sanayi açısından büyümekte olan, üretim sırasında ihtiyacı olan enerjiyi ithal eden bir ülke konumundadır. Artan enerji fiyatları nedeniyle sanayide tüketilen enerjinin etkin kullanabilmesi, işletme şartlarının optimizasyonu ve kontrolü, mevcut teknolojik gelişmelerin takip edilerek zamanında gerekli güncelleştirilmelerin yapılması sonucunda yapılabilecek tasarruflar ile mümkündür.

Bu çalışmada, Frit üreten bir fabrikanın işletme sahasında olası enerji kayıpları ve ekipmanların performansları tespit edilerek, enerji tüketimi yüksek olan birimlerde yapılabilecek enerji optimizasyonları belirlenmiştir. Ayrıca önerilen optimizasyonun CO_2 salınımına etkisi incelenmiştir. Bu konuda bana çalışma fırsatı veren, tez çalışmam süresince bana sağladığı bilimsel destek ve yönlendirmelerde bulunan değerli hocam Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a ve Yard. Doç. Dr. Muharrem EYİDOĞAN'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmam boyunca mesleki tecrübelerini benimle paylaşan Babam Suat OLĞUN'a ve hayatım boyunca destekçim olan Annem Nursel OLĞUN ve Eşim Mustafa GÜVENÇ'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Aralık – 2017 Şeyma Gökçen GÜVENÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1.GENEL BİLGİLER. 2
1.1. Frit ve Frit Üretimi 3
1.1.1. Döner Fırın 7
1.1.2. Sürekli Fırın 9
1.2. Kyoto Protokolü 10
1.3. Literatür Araştırması 12
2. MALZEME VE YÖNTEM 17
2.1. Etüt Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler 17
3. BASINÇLI HAVASİSTEMLERİ 19
3.1. Basınçlı Hava Kaçaklarının Tespiti 21
3.1.1. Basınçlı hava sisteminde ölçüm yöntemi ve ölçüm cihazları 21
3.1.2. Basınçlı hava kaçakları hesaplamaları 24
3.1.3. Basınçlı hava kaçaklarının azaltılması ile enerji tasarruf imkanları ve miktarları 30
3.2. Kompresör Set Basınç Değerinin Düşürülmesi 30
3.2.1. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili alınan değerler 30
3.2.2. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili hesaplamalar 32
3.3. Mevcut Kompresörlerin Daha Verimli Kompresörlerle Değiştirilmesi 32
3.3.1. Mevcut kompresörlerin değiştirilmesi ile ilgili alınan değerler 33
3.3.2. Mevcut kompresörlerin değiştirilmesi ile ilgili hesaplamalar 33
4. FIRINLAR 35
4.1. Sistem ve Ünite Tarifi 35
4.1.1. Seramik fırınları 35
4.1.2. Emaye fırınları 36

4.1.3. Fırınlarda izolasyon kontrelleri 37
4.1.4. Atık ısı geri kazanım sistemi 37
4.1.4.1. Atık ısı kazanı 38
4.1.4.2. Reküperatör 39
4.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 42
4.3. Hesaplamalar 44
4.3.1. Atık Isı Geri Kazanımı 46
4.3.2. Atık Isı Kazanı 48
5. SOĞUTMA KULELERİ 50
5.1. Sistem ve Ünite Tarifi 50
5.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 54
5.3. Hesaplamalar 55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER. 57
KAYNAKLAR 59
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 62
ÖZGEÇMİŞ 63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Fırın çıkışı akışkan frit 5
Şekil 1.2. Frit üretimine örnek akım şeması 6
Şekil 1.3. Frit üretim kademeleri 7
Şekil 1.4. Döner fırın örnek şekli 8
Şekil 1.5. Kuru sistem döner fırın bölümü 8
Şekil 1.6. Döner fırın yan kesit görüntüsü 9
Şekil 1.7. Sürekli fırının yan kesit görüntüsü 10
Şekil 1.8. Cam imalatında kullanılan sürekli fırın örneği 10
Şekil 3.1. Basınçlı hava sistemi genel görünümü ve elemanları 19
Şekil 3.2. Basınçlı hava sisteminin şematik gösterimi 20
Şekil 3.3. Bir hava kompresörünün ömrü boyunca maliyet dağılımı 20
Şekil 3.4. Ultrasonik sızıntı dedektörü resmi 22
Şekil 3.5. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti 30
Şekil 4.1. Örnek seramik fırınları-1 35
Şekil 4.2. Örnek seramik fırınları-2 36
Şekil 4.3. Örnek emaye fırınları-1 36
Şekil 4.4. Örnek emaye fırınları-2 37
Şekil 4.5. Tipik bir atık ısı geri kazanım sistemi 37
Şekil 4.6. Atık ısı kazanı uygulama örneği 39
Şekil 4.7. Örnek bir reküperatör resmi 40
Şekil 4.8. Reküperatör çalışma sistemi gösterimi 40
Şekil 4.9. Reküperatörün sistem içinde çalışma şekli 41
Şekil 4.10. Termal kamera resimleri 44
Şekil 5.1. Doğal çekişli soğutma kulesi örneği 50
Şekil 5.2. Karşı ve çapraz akışlı kule tasarımı 51
Şekil 5.3. Açık tip soğutma kulesi 52
Şekil 5.4. Kapalı tip soğutma kulesi 52
Şekil 5.5. Soğutma kule dizayn örneği 53
Şekil 5.6. Soğutma kulesi uygulama örneği 54

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Frit üretiminde yaygın olarak kullanılan hammedeler 5
Tablo 2.2. Ölçüm cihazları 18
Tablo 3.1. Kompresörlerin basınç set değerleri 22
Tablo 3.2. Basınçlı hava kaçakları ölçümleri 23
Tablo 3.3. Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti 26
Tablo 3.4. Propeller hava basınç ölçümleri – bölüm 1 31
Tablo 3.5. Propeller hava basınç ölçümleri – bölüm 2 31
Tablo 3.6. Kompresör set basınçlarında güç azalma oranları (%) 32
Tablo 3.7. Kompresör set basınç değerinin düşürlmesi ile ilgili hesaplamalar 32
Tablo 3.8. Mevcut kompresör enerji tüketimleri 33
Tablo 3.9. Önerilen kompresörün enerji tüketimleri 34
Tablo 3.10. Mevcut kompresörlerin daha verimlileri ile değiştirilmesi ve hat basıncının 5,5 bar'a düşürülmesi 34
Tablo 3.11. Basınçlı hava sistemi enerji tasarruf yatırımlarının geri ödeme süreleri 34
Tablo 4.1. Fırın öncesi hava ön ısıtmasının yakıt tasarrufuna etkisi 41
Tablo 4.2. Seramik fırınların ölçüm sonuçları 42
Tablo 4.3. Emaye fırınların ölçüm sonuçları 42
Tablo 4.4. Termal kamera ölçümleri 42
Tablo 4.5. Seramik fırınların atık ısı hesaplamaları 46
Tablo 4.6. Emaye fırınların atık ısı hesaplamaları 47
Tablo 4.7. Seramik fırınlarından buhar üretimi hesaplamaları 48
Tablo 4.8. Emaye fırınlarından buhar üretimi hesaplamalar 49
Tablo 5.1. Soğutma kuleleri ölçümleri 54
Tablo 5.2. Emaye soğutma kulesi ölçümleri 55
Tablo 5.3. Soğutma kuleleri ile ilgili hesaplamalar 56
Tablo 5.4. Emaye soğutma kulesi ile ilgili hesaplamalar 56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: ısınma ısısı
℃	: Derece Santigrat
CH_4	: Metan
CO_2	: Karbondioksit
HFC	: Hidroflora Karbon
m	: hacimsel debi
$\dot{m}$	: kütlesel debisi
m^2	: Metre Kare
N_2O	: Nitröz Oksit
PCF	: Perklorlü Bileşikler
SFB	: Kükürt Heksaflorür
Δt	:Sıcaklık Farkı

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
GSMH	: Gayrı Safi Milli Hasıla
kWh	: Kilo Watt Saat
MWh	: Mega Watt Saat
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TBMM	:Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

FRİT ÜRETİM FABRİKASINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

ÖZET

Sanayi sektörünün hızlı gelişimi ve dolayısıyla makineleşmenin gün geçtikçe ilerlemesi ve kentleşmenin artması enerjiye duyulan talebi de arttırmıştır. Türkiye'nin son yıllarda hızla büyüme göstermesi, özellikle sanayi sektöründe dev adımlar atma çabaları dolayısıyla enerjiye olan talebi gün geçtikçe artırmaktadır. Enerjinin büyük çoğunluğunun ithal ettiğimiz göz önüne alınarak enerji kaynaklarımızı verimli ve etkili kullanımının önemini ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada frit üretim fabrikasında enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yapılan çalışma ile yapılabilecek tasarruf miktarı, bu tasarruf için yapılacak harcama, geri ödeme süreleri ile tasarruf sonrası elde edilebilecek mali kazanç ve yapılan tasarruf ile ne kadar karbondioksit **(**CO_2**)** salınımında azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. Enerji verimliliği çalışması; (1) Basınçlı hava kaçak tespiti, (2) Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi, (3) Mevcut kompresörlerin daha verimli kompresörler ile değiştirilmesi, (4) Fırınlarda Atık Isı Geri Kazanımı, (5)Atık ısı kazanı ile buhar elde etme, (6) Mevcut soğutma kulelerinin daha verimli soğutma kuleleri ile değiştirilmesi, kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık Isı Geri Kazanımı, Basınçlı Hava, Enerji Verimliliği, Frit Üretimi, Soğutma Kulesi.

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS IN PRODUCTION IS FRIT

ABSTRACT

The rapid development of the industrial sector, and therefore the increasing day-to-day progress of mass production and the increase of urbanization, has also increased the demand for energy. Turkey has been growing rapidly, especially in the industrial field. These efforts to make huge steps in the field, creates more demand for energy day by day. As we know that the big amount of this Energy has been imported from foreign contries, therefore we should reconsider the importance of using Energy efficiently and effectively.

In this article, the energy efficiency work carried out in the frit production plant was taken up, the savings amount and financial allowance, investment amount and repayment periods were calculated. We also examined the effect of saving on CO2 emissions. Energy efficiency study; (1) Compressed air leakage detection, (2) Decreasing the compressor set pressure value, (3) Replacing existing compressors with more efficient compressors, (4) Waste Heat Recovery in Furnaces, (5) Steam recovery with waste heat boiler, (6) Replacing existing cooling towers with more efficient cooling towers.

Keywords: Waste Heat Recovery, Compressed Air, Energy Efficiency, Frit Production, Wet Cooling Tower.

GİRİŞ

Ülkemiz, genel olarak enerji üretim kapasitesinin enerji talebinin yüksek olması nedeniyle enerji ithal eden bir ülke konumundadır. Bunun bir sonucu olarak da enerjinin ve enerji kaynaklarının kullanım verimlilikleri ön plana çıkmıştır. OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkeleri genelinde durumu incelediğimizde, gayrı safi milli hasıla (GSMH) artarken, toplam enerji tüketimi giderek azalmaktadır. Enerji yoğunluğu, gayrı safi yurtiçi hasıla başına tüketilen birincil enerji miktarı olup, enerji verimliliğinin takip ve karşılaştırılmasında yaygın bir ölçü olarak kullanılmaktadır [1].

Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke konumundadır ve enerji yoğunluğu OECD ortalaması üzerindedir [2]. Diğer OECD ülkelerinin aksine enerji yoğunluğu artış trendi göstermektedir. Bu da ülkemizde enerjinin etkin kullanılmadığının ve faaliyetlerin enerjiyi yoğun olarak kullandığının işaretidir [1]. Ülkemizde enerji yoğunluğunun düşürülmesi için enerji verimliliğine yönelik çalışmalar artırılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, enerjinin yoğun kullanıldığı Frit üretim sektöründe enerjinin verimli kullanılması ile elde edilecek kazançları ortaya koymaktır.

1. GENEL BİLGİLER

Üretim endüstrisinde üretim için önemli olan enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan başlıca göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir [3,4].

Günümüzde sanayide enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu fosil yakıtların kullanımı ile zararlı birçok gaz özellikle sera gazı etkisi yüksek olan CO_2 gazı ortaya çıkmakta ve CO_2 gibi zararlı gazlar atmosferde birikmektedir. Zararlı gazların atmosferde birikmesi sera gazı etkisini arttırmakta, dünya her geçen gün daha çok ısınmaktadır. Atmosfere salınan zararlı gazların özellikle, CO_2 gazının emisyonunu azaltmak için sanayi bazında çeşitli önlemler alınabilir. Bunların başında sanayide kullanılan yakıt miktarını azaltmak için yapılacak enerji tasarruf çalışmaları gelmektedir.

Enerji tasarrufu çalışmaları değerlendirmelerinde, ülkemizde her yıl 3 milyar $ civarında bir kaybın olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde enerji yoğunluğunun düşürülmesi için sanayi sektöründe enerji verimliliği artırılmalıdır [1]. Enerji verimliliğini artırmak için, sanayi sektöründe tesis bazında enerji verimliği ile üretim kademelerinde enerji tüketiminin azaltılması, baca gazı emisyon değerlerinin düşmesi ve mamul maddenin üretimindeki maliyetlerin düşmesi sağlanabilecektir. Sanayi kuruluşlarımızın çevre dostu ve ekonomik üretim yapması, iç ve dış piyasada rekabet şansını arttıracaktır. Bu durumun Ülke ekonomisine ve çevreye katkısı yadsınamaz derecededir. Bu sayede ülkemizin dış pazarlarda etkinliğinin artması beklenmektedir.

TUİK verilerine göre Sanayi ve hizmet sektörlerinde 2014 yılında toplam 100 milyon 734 bin 472 ton eşdeğer petrol (TEP) enerji tüketilmiş ve İmalat sanayi, 78 milyon 33 bin 897 MWh ile en çok elektrik tüketen sektör olduğu belirtilmiştir [5]. DİE tarafından 1992 ve1995 yıllarında yapılmış 1200 civarındaki sanayi tesisini kapsayan çalışmanın sonuçlarına göre; enerji tüketimi açısından seramik sektörünün payı tüm

sanayi içinde %4,5 olurken, enerjinin maliyeti içinde payın %32,5 civarındadır. Cam sektöründe ise enerjinin maliyeti içinde payı %22-42 oranında değişmektedir [6].

Seramik Frit üretim sektöründe Türkiye 2009 yılı verilerine göre, Avrupa'da en büyük 3. üretici ve dünyada 5. büyük üretici konumundadır. Emaye frit üretim sektöründe ise Dünya'nın en büyük üreticisi konumundadır. Frit üretim sektöründe enerji, üretim maliyetin %30-40'nı oluşturmaktadır [7]. Frit üretimini daha bilinçli yaparak daha uygun fiyata sunmak için Dünya piyasası içerisinde yerimizi korumamızı sağlayacaktır.

1.1. Frit ve Frit Üretimi

Frit, cam yapılı ara bir mamul elde etmek üzere eritilen ve daha sonra toz haline getirilen bir reçeteye göre tartılıp karıştırılarak elde edilen seramik karışımları ifade eder [8]. Frit üretim aşaması, öğütülmüş olarak alınan hammaddelerin reçeteye göre tartılması ve homojen hale gelene kadar bir karıştırıcıda kuru bir şekilde karıştırılması ile başlar. Bu işlem 'harman hazırlama', hazırlanan karışım ise 'harman' olarak isimlendirilir. [9]

Frit, hammaddeleri eriticide yüksek sıcaklıkta eriterek hazırlanır. Erimiş malzeme daha sonra su ile söndürülür ve eriyik hızla katılaşır ve frit olarak adlandırılan parçalanabilir parçacıklara parçalanır. Cam frit, seramik sır üretiminde hammadde olarak kullanılır. Bu seramik bir gövde üzerine uygulanan ve ısı uygulaması ile eritilen cam bir kaplamadır. Benzer şekilde, emaye frit emaye üretiminde kullanılan hammaddedir. Bu, dekoratif ve / veya koruyucu amaçlı olarak metallere uygulanır. Sırlar ve emayeler ya kuru ya da ıslak uygulanabilir, ikincisi çoğunlukla bir kayma ya da bulamaç biçimindedir.

Eriyik hale getirme işlemi suda çözünür hammaddeleri çözünmeyen bir cama dönüştürür, böylece bu materyallerin sır veya mine süspansiyonuna düzgün bir şekilde dağıtılmasını daha sonraki işlemler sırasında kolaylaştırır. Ayrıca, sır veya emaye üretiminde kullanılan bazı hammaddeler hem toksik hem de suda çözünür. Bu materyallerin çözünmeyen bir cama dönüştürülmesi toksik maddelerin çözünmesini ve dolayısıyla çevreye bırakılma riskini en aza indirir.

Cam ve emaye frit üretiminde kullanılan hammaddeler aslında aynıdır. Refrakterler, akışkanlar, matlaştırıcılar ve renklendirici ajanlar olmak üzere dört farklı gruba ayrılabilirler. Refrakterler, kil, feldispat ve kuvars gibi malzemeleri içerir. Genel olarak asidiktirler ve fritin gövdesini oluştururlar. Flukslar karakteristik olarak basittir ve camı oluşturmak için asitli refrakterlerle reaksiyona girer. Bunlar, soda külü, potasyum hidrat, boraks, kriyolit ve fluorspar gibi malzemeleri içerir.

Opaklaştırıcılar birçok emayenin nitelikli beyaz opak görünüme sahip olmasını sağlarlar. Bunlar, titanyum dioksit, kalay oksit ve zirkonyum oksit gibi çözülmez olabilir veya cryolite veya fluorspar gibi camlaştırıcı opaklaştırıcılar olabilir. Daha sonra, emayeleri daha akışkan eriyebilir hale gelir. Opaklaştırıcılar camlaştırma aşamasında her zaman bulunmaz, ancak bunun yerine ilerleyen süreçte eklenebilir. Renklendirmede kullanılan maddeler oksitler, elementler veya tuzlar olabilir. Opaklaştırıcılar renklendirme özelliklerinin yanı sıra, refrakterler veya akılar gibi davranabilirler, bu maddeler kobalt oksit, krom oksit ve manganez oksit gibi malzemeleri içerirler.

Hammaddeler silolarda depolanabilir ve pnömatik veya mekanik olarak tartım alanına taşınabilir. Bununla birlikte, bazı üreticilerin nispeten küçük boyutlarda üretiminden dolayı birçok malzeme Torbalarda saklanır ve manuel olarak tartı aparatına dozlanır. Çeşitli hammaddeler, fırına yüklenmeden önce kimyasal ve fiziksel olarak standart olan bir parti üretmek üzere tartılır ve karıştırılır.

Frit endüstrisinde hem sürekli hem de döner fırınlar kullanılmaktadır. Fırın türünün seçimi, üretim ölçeğine ve ürün formülasyonuna bağlıdır. Küçük ölçekli üretimlerde işletmenin doğası gereği geniş bir aralıkta benzer frit reçetesi kullanılır. Frit fırınlarında genellikle doğalgaz veya akaryakıt kullanılır, sadece en modern frit fabrikalarında oxy-oil kullanılmaktadır [10].

Fırında sıcaklıklar genel olarak 1000 ° C ila 1500 ° C aralığında olmakla birlikte, yüksek kurşun fritler için daha düşük sıcaklıklar kullanılmaktadır. Erime işlemi sırasında metal dumanı ve diğer partiküller oluşabilir. Fırında kalma süresi genellikle 4 saatten azdır. Reçeteye göre hazırlanan hammaddelerin %75-80'ni tam erime verimi göstermektedir. %20-25 oranındaki kayıpların sebebi eritme sırasında çıkan CO2'den oluşur.

En yaygın harman için kullanılması gereken hammaddeler aşağıdaki Tablo 1.1 de verilmiştir [10]. Gösterge niteliğinde olan tabloda rakamlar değişiklik gösterse de genel olarak en çok kullanılan reçete oranları verilmektedir.

Tablo 1.1. Frit üretiminde yaygın olarak kullanılan hammaddeler

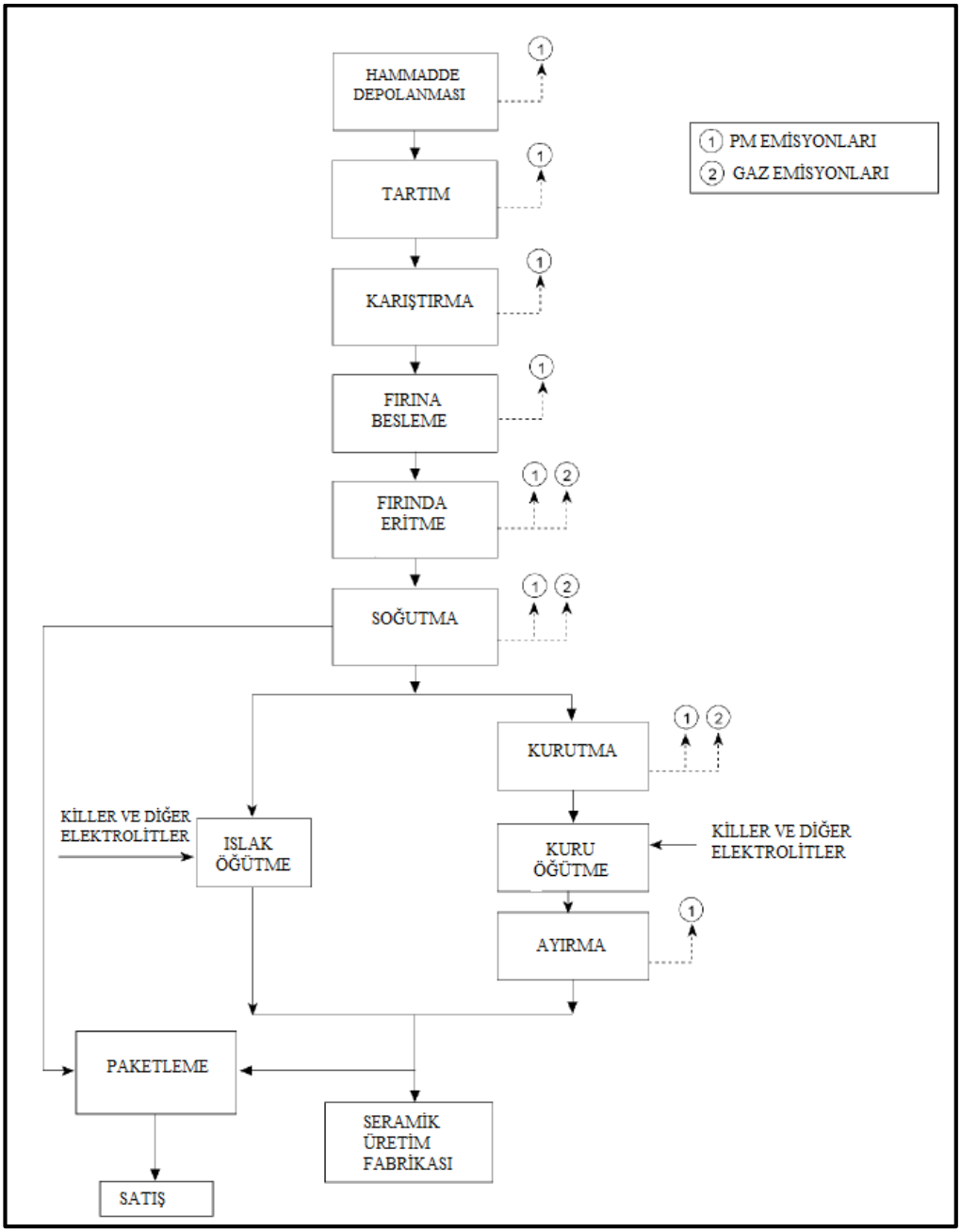
Frit Çeşiti	Hammadde	Yaklaşık % oranları
Seramik Cam Frit	Zirkonyum bileşikleri	7,7
	Feldispat	26,8
	kuvars	25,9
	borik asit	6,8
	çinko oksit	8,4
	dolomi	8,4
	kalsiyum karbonat	13,4
	potasyum nitrat	2,6
Emaye Frit	Boraks	19,1
	kuvars	42
	sodyum nitrat	7,8
	Sodyum fluorsilicate	1,2
	Potasyum fluorsilikat	7,8
	Sodyum Fosfat	3,2
	Titanyum oksit	18,9
Düşük erime noktalı fritler	Kırmızı kurşun Pb_3O_4	50
	kuvars	19,8
	çinko oksit	15,1
	borik asit	15,1

Fırının dönmesi tamamlandıktan sonra erimiş vaziyette olan frit boşaltılır. Boşaltma işleminde frit soğuk su şokuna tabi tutulur. Boşaltma hızlı olduğundan frit büyük parçalar halinde kristalleşir. Yavaş soğutma ile kırılarak küçük parçalara ayrılır. Süzgeç potalarda süzülerek suyu alınır. Tekrar kreyn vasıtası ile yukarıya kaldırılır. Sırlama bölümünde kullanılmak üzere silolanır [11].

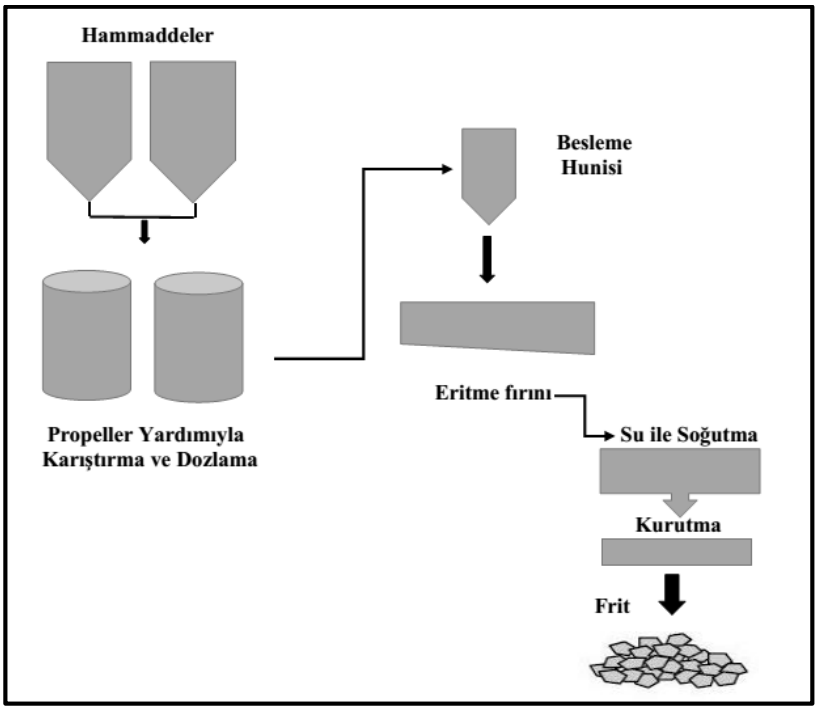


Şekil 1.1. Fırın çıkışı akışkan frit

Fırınlarda boşaltma ve besleme ayrı kaplarda yapılır. Yakıt fırının bir ucundan girer, yanan baca gazları ise diğer ucundan çıkar. Çıkan gazlar ısıya dayanıklı tuğlalardan örülmüş bacalardan gider [11]. Frit üretim aşamaları ve üretim esnasında ortaya çıkan emisyonlar Şekil 1.2 [12] de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Frit üretimine örnek akım şeması



Şekil 1.1. Frit üretim kademeleri

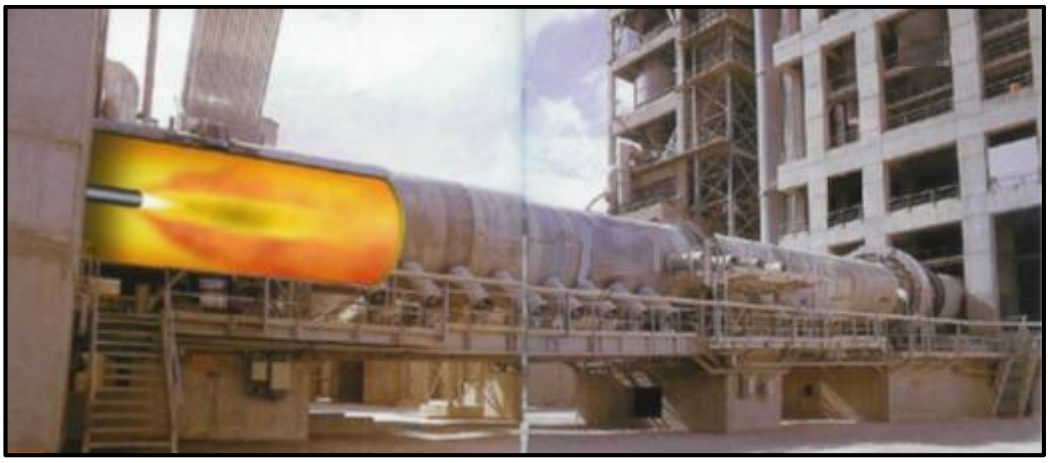
Şekil 1.3.'de Frit üretim kademeleri basitçe gösterilmiştir. Frit üretim fırınları, sırçalaştırılması gereken sırların camsı elemanı olan fritin elde edildiği fırınlardır. Frit üretimi, döner fırın veya sürekli üretim yapan yatay alevli sürekli fırınlarda gerçekleştirilir.

1.1.1. Döner fırın

Ergitilecek olan frit reçetesine ısının daha kolay ulaşması ve ergitmenin daha ekonomik olmasını sağlamak amacı ile ekseni etrafında döner hale getirilmiş silindir fırın tipidir. Hazırlanmış karışım, fırına kapak kısmından doldurulur ve ergitme işlemi fırın dönerken yapılır. Ergime gerçekleşince viskoz haldeki eriyik suya boşaltılarak parçalar halinde sertleştirilir. Günlük kapasiteleri, silindir fırının hacmine ve üretimi yapılacak fritin ergimesine bağlı olmak üzere 4-7 ton arasında değişmektedir. Fırına beslenecek reçetenin ergimesi için gerekli enerji, sıvı veya gaz yakıtlar yardımıyla elde edilmektedir. Fırın içi gaz hava oranının 1/10 olmasına dikkat edilmelidir. Fırın içi sıcaklık, üretimi yapılan frit reçetesinin ergime sıcaklığına göre ayarlanır. Döner Fırın örnekleri Şekil 1.4. [13] ve Şekil 1.5. [14]'de gösterilmektedir. Eriyik maddenin suya direk boşaltılması, söndürme suyunda partiküller madde ve eriyikten çözünür bileşenler ile kontamine olmasına sebep olabilir.

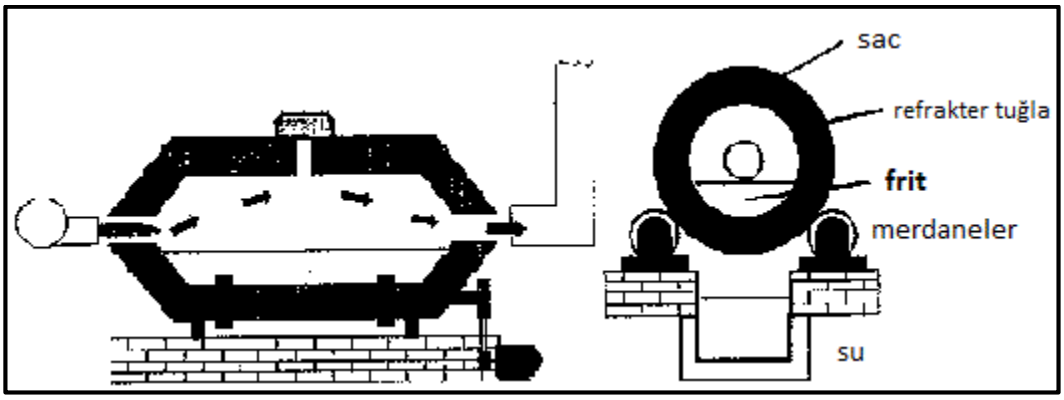


Şekil 1.1. Döner fırın örnek şekli [13]



Şekil 1.2. Kuru sistem döner fırın bölümü [14]

Genelde 1400-1450^{o}C arasında üretim gerçekleştirilir. Mükemmel bir ergimenin elde edilmesi için yüksek sıcaklığın yanında tartılan malzemenin fırın içinde kalma süreside oldukça önemlidir. Fritin cinsine göre fırın içinde kalma süresi 2-3,5 saat arası değişmektedir. Ergimenin tamamlanmasından sonra devam eden ergitme işlemi aşındırma yoluyla fırın iç çeperine zarar verecektir. Aynı şekilde ergimenin tamamlanmaması; yani fırın içinde kalma süresinin kısa tutulması, fırın içi sıcaklığın yeterli olmaması, frit içerisinde kalacak ergimemiş parçaların cam faza geçmeyerek fritin kalitesini düşürmesi ve fritten istenen özelliklerin sağlanamaması gibi durumlar ortaya çıkacaktır [15].

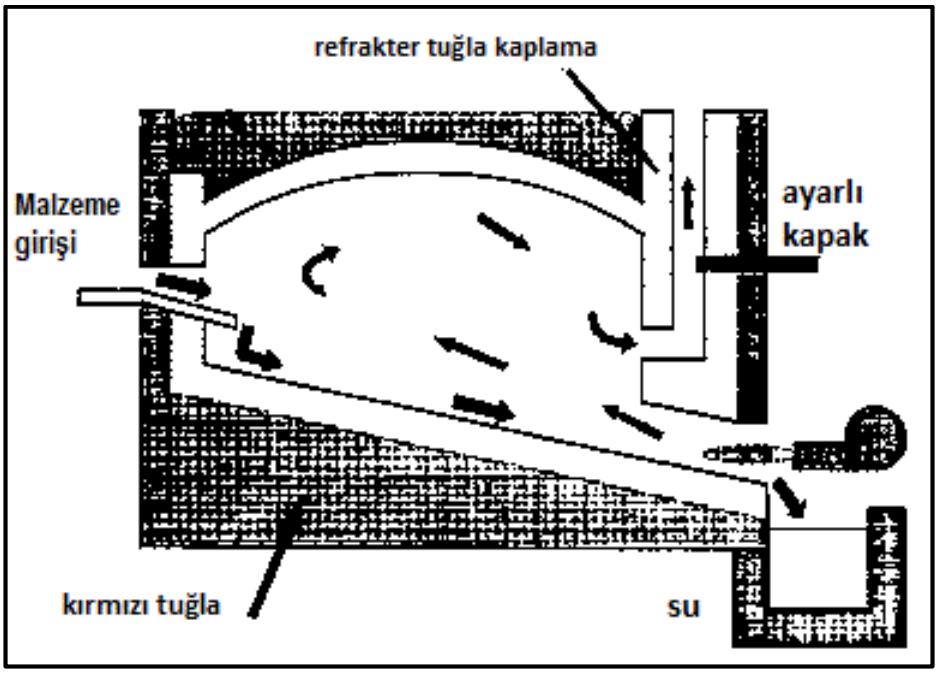


Şekil 1.1. Döner fırın yan kesit görüntüsü [11]

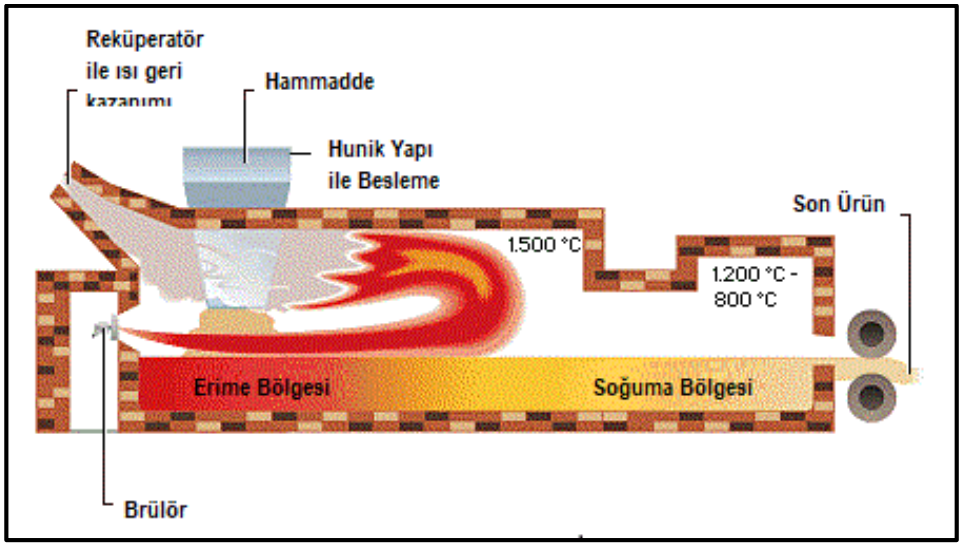
1.1.2. Sürekli fırın

Sürekli fırınlarda fritleştirilecek sır hammaddeler birbirine homojen olarak karıştırılmış şekilde fırın içine sürekli olarak beslenir. Bu tip fırınların, devamlı bir hammadde girişine ve ergimiş sıvının çıkışına sahip olmalarıdır. Doğal olarak üretim kapasiteleri, döner fırın kapasitesinin oldukça üzerindedir

Fritleştirilecek sır hammaddeler birbirine homojen olarak karıştırılmış şekilde fırın içine sürekli olarak beslenir. Bu tip fırınların, döner fırından farkı devamlı bir hammadde girişine ve ergimiş sıvının çıkışına sahip olmalarıdır. Doğal olarak üretim kapasiteleri, döner fırın kapasitesinin oldukça üzerindedir. Üretilecek Frit boyutuna ve cinsine göre günlük kapasiteleri 10-15 ton arasında değişmektedir. Genellikle 1450-1550^{o} C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Döner fırına göre daha fazla brülörü ve sıcaklık dağılımını daha iyi sağlamak, sıcaklık kontrollerini daha iyi yapabilmek için, ısıl çiftleri vardır. Sürekli fırınlarda, sıcaklık dağılımının daha iyi olması, karışım malzemenin cam fazına geçişini çok daha kolaylaştırdığı için frit kalitesi de daha iyi olmaktadır [15]. Erimiş frit direkt olarak bir su içinde söndürülebilir veya daha küçük parçalı frit ürünü üretmek için su soğutmalı merdaneler arasında soğutulabilir.



Şekil 1.2. Sürekli fırının yan kesit görüntüsü [11]



Şekil 1.3. Cam imalatında kullanılan sürekli fırın örneği [16]

1.1. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, emisyonların azaltımını ülkeler temelinde ve yükümlülük derecesinde düzenleyen, 1997 yılında imzalanıp 2005 yılında yürürlüğe giren "uluslararası bağlayıcılığı" olan tek metindir [17].

Sanayileşme aşamasına geçiş sürecindeki ülkeler ile sanayileşmiş ülkeler, atmosfere saldıkları karbon dioksit (CO_2), nitröz oksit (N_2O), metan (CH4), hidrofloro karbon (HFC), Perflorlu Bileşikler (PCF) ve kükürt heksaflorür (SF6) sera gazı emisyonlarının salınımını Kyoto Protokolü anlaşmasına göre azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmayı kabul etmişlerdir [17].

Kyoto Protokolü ile 2005 yılı itibariyle karbon salınım miktarının 1990 yılında ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarı seviyesine düşürmelerini lüzumlu kılmaktadır. 16 Şubat 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü aslında 1997 yılında imzalanmıştır. 1997 yılında imzalanan protokolün yasal açıdan bağlayıcı olarak yürürlüğe girebilmesi için sera gazı emisyonuna etkisinin en az %55'inden sorumlu olan 55 ülkenin onayını gerekmekteydi ve 2004 Kasım ayında Rusya Devleti'nin Protokolü imzalaması ile bu oran sağlanarak 2005 yılında Protokol yürürlüğe girdi. Protokolü onaylayan 55 ülke öncelikle karbondioksit ve metan gazları olmak üzere diğer sera gazlarıyla birlikte atmosfere saldıkları sera gazlarında 2012 yılına kadar 1990 yılında ölçülen kirlilik düzeyinden toplam yüzde 5,2 oranında bir indirime gitmeyi kabul ettiler [17].

Küresel ısınmada başrolü oynayan karbondioksit atmosferde yüz yıl kadar kaldığı için de önümüzdeki on yıl boyunca sera gazı emisyonlarında büyük çaplı indirime gidilmesi gerektiğine işaret edilmektedir. Bilim adamları, atmosferdeki sera gazlarının bugünkü düzeyinde kalabilmesi için emisyonlarda %60'lara varan kesinti yapılması gerektiği görüşündeler [17].

1972 yılında yapılan İnsan ve Çevre Konferansı, 1992 tarihli Rio'daki Yeryüzü Zirvesi ve 2002 yılında gerçekleşen ve enerji, biyoçeşitlilik ve su kaynaklarına odaklı Johannesburg Zirvesi, Türkiye'nin uluslararası iklim değişikliği müzakere sürecine katılmasında etkili olmuştur. Bu sürecin dışında, AB (Avrupa Birliği) ile olan üyelik müzakereleri, Türkiye'nin geleneksel çevre politikasının daha kapsamlı ve yasal zeminde daha sağlamlaştırılmış örneklerinin yaygınlaşmasında itici güç olmuştur. Hatta AB ile kurulan yakın ilişkiler ve üyelik müzakereleri üzerinden Türkiye, uluslararası ortamdaki yerini belirleme sürecine girmiştir [17].

Türkiye, 1992 yılında BMİDÇS(Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)'nin EK-I ve EK-II listesinde yer almıştır. Ancak 2001 yılında kendi özel

konumundan dolayı, 26/CP7 Kararı ile EK-II listesinden çıkarılmış ve EK-I listesinde diğer ülkelerden farklı bir konumda yer almayı tercih etmiştir. Her yıl düzenli olarak BM Sekreteryası'na sunulan ulusal emisyon salım bildirimi, Türkiye tarafından ilk kez 2007 tarihinde sunulmuştur. Bir sonraki yıl TBMM (Türkiye Büyük Millet Meclisi)'ne sunulan Karar ile Türkiye, Kyoto Protokolü'ne imza atmaya hazır hale gelmiştir. 2009 yılında Türkiye'nin Protokol'e resmen katılımı ile zorlu ve maliyetli bir süreç Türkiye'ye sunulmuştur. Ancak Türkiye, henüz Kyoto Protokolü kapsamında 2020 yılına kadar sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik net bir hedef belirlememiştir ve bu durum Türkiye'nin önündeki en temel sorunlardan biridir. Bu sayısallaştırılmamış emisyon azaltımı konusu, hem 2011 yılındaki Durban'da hem de 2012 yılındaki Doha'da gerçekleşen konferanslarda deklare edilmiştir. Bu aşamada, Türkiye'de çevre politikasını irdelemek gerekmektedir [17].

1.3. Literatür Araştırması

Türk Seramik Sektörü Sanayi anlamında 1950'li yıllarda üretime başlamış olup, 1980'li yıllardan sonra büyük gelişme içerisine girmiştir. Türkiye'de Frit sektörü 1979 yılından itibaren üretimi olan endüstriyel bir faaliyettir [18]. Frit sektörü genelde seramik ve emaye sektörünün bir kolu gibi düşünülmekte olsa da, son yıllarda frit kalitesinin dış piyasa ve rekabete olan etkisi frit sektörünün başlı başına ayrı bir sektör olarak değer kazandırmaktadır. Frit sektörünün seramik ve emaye sektöründen ayrı düşünülmesi ve dünya genelinde frit üretiminin yan sanayi olmaktan kurtulması ile frit sektörü değer kazanmıştır. Dış piyasada büyük önem ve yer bulan frit sektörü günümüz enerji kaynaklarının kısıtlı olması dolayısıyla, bu konuda enerji çalışmaları yapılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bölümde seramik ve benzer sektörlerde enerji çalışmaları incelenecektir.

Ciacco, Rocha ve Coutinha seramik endüstrisinde enerji tüketimi ve enerji tüketiminin proseslere göre dağılımı incelemiştir. Brezilya'da ülke geneli enerji tüketiminin yaklaşık %1,9'unun seramik sektörü oluşturduğu belirtilmiştir. Seramik sektörünün bir kolu olan seramik karo üretiminde iki farklı üretim prosesine sahip fabrikalarda toplam enerji tüketiminin %56'sının pişirme fırınlarından kaynaklı olduğu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte üretim aşamasında kullanılan enerji kaynaklarının %80'nin termal enerji, %20'sinin ise elektrik enerjisi olduğu belirtilmiştir.

Araştırmacılar termal enerjinin fosil yakıtlardan yararlanılarak elde edildiği ve yenilebilir bir enerji kaynağı olmadığına dikkat çekerek, fırın sistemlerinden oluşan atık ısının kazanılması dahilinde enerji tüketiminin azaltılabileceğini savunmuşlardır [19].

Galan-Arboledas, Alvarez de Diego, Dondi, Bueno, 300 ton/gün kapasiteye sahip seramik fabrikasında kil hammaddesine çelik cüruf eklenmesi sonrası gerçekleşecek CO2 emisyonu ve enerji talebindeki değişim incelenmiştir. Bunun yanında elektrik ark ocağı paslanmaz çelik cürufunun (EAF-SS) daha sürdürülebilir bir hale getirmek için seramik tuğla imalinde nihai özelliklerden ödün vermeyerek, kil hammaddesi olarak kullanılması sağlanmıştır. Kil materyallerinde kullanılan cüruf oranları ağırlıkça %10, %20 ve %30 ilave edilmiş, şekillendirme ve kurutma işlemleri sırasında ekstrüzyon ile işlenmiş ve sinterlenmiş malzemelerin nihai özellikleri (hacimsel yoğunluk, doğrusal büzülme, su adsorpsiyonu, kopma modülü) 850 ºC,900 ºC,950 ºC,1000 ºC ve 1050 ºC sıcaklıklarda bakılmıştır. Laboratuvar numuneleri üzerinde çevresel etkiyi gözlemlemek için fırınlama esnasında gaz emisyonları ölçülmüş ve cürufun içeriğinin çözeltiye alınmasının sıcaklığa etkisinin belirlenmesi ile ilgili liç deneyi yapılmıştır. Ayrıca, standart sanayi ölçeğine göre formüle edilmiş bileşimlerin üretilmesi için gereken enerji talebi ve yakıt (doğalgaz), kurutucuda ve fırında hesaplanmıştır. Bu teorik endüstriyel işleme sırasında CO_2 emisyonlarının hesaplanması da gerçekleştirildi. Sonuçlar, 950 ºC sıcaklıkta, ağırlıkça %30 oranında cürufun dahil edilmesinin mevcut teknolojik özelliklerin yeterli olduğunu, doğal gaz tüketiminin% 17'sine kadar potansiyel bir tasarruf sağladığını ve CO_2 emisyonunda% 24'e varan oranda bir azalma sağladığını söylemişlerdir [20].

Gabald on Estevan, Mezquita, Ferrer, ve Monfort çevreyi korumaya yönelik AB mevzuatı ve enerji politikaları üzerinde çalışmalar yapmıştır. AB mevzuatları ile yüksek enerji ihtiyacı ile üretim yapan seramik karo sektörünün durumu incelenmiştir. 2050 yılında CO2 emisyonlarının % 83 ile % 87 arasında azaltılmasını içeren bu yeni senaryoda hayatta kalmak için Avrupa şirketleri, orta vadede CO2 emisyonlarını azaltmaya başlanması gerektiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, bunun başka bir teknolojik devrime ihtiyacı olacağı, örneğin, CO2 emisyonlarını% 50'den fazla azaltmak için minimum karbon emisyonlu elektrikli kurutucuların ve fırınların kullanılmasına izin vermek için Avrupa'da daha az karbon üretimine ve daha ucuz

elektrik üretimine ihtiyaç duyulacağı saptanmış. Biyokütle veya biyogazın yakıt olarak kullanılması 2050 hedefini karşılamak için yeterli emisyon azaltımı sağlamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Enerji yoğun sanayilerin rekabet gücü üzerine bir diğer baskı, AB politikaları tarafından dolaylı olarak etkilenen enerji fiyatı olduğu belirtilmiş. Seramik karo üretim maliyetlerinin yaklaşık üçte birini temsil eden enerji maliyetleri, AB'de rekabet eden ülkelere göre iki ila dört kat daha yüksek olduğu; bu nedenle, enerji maliyetlerini etkileyen politikalar Avrupa endüstrisinin hayatta kalması için çok önemli olacağı buna göre AB mevzuatların tekrar düzeltilmesi gerekliliği yoksa AB Seramik sektörünün gün geçtikçe güç kaybedeceği sonucuna ulaşılmıştır [21].

Possamai, Oba ve Nicolau, oksi-yakıt yanmalı seramik frit eritme fırınının CFD yazılımı ile bir simülasyon geliştirilmesi yoluyla termal enerjinin modellemesi üzerine çalıştılar. Bu çalışmanın amacının, seramik endüstrisi için ekonomik açıdan uygulanabilir teklifleri desteklemek amacıyla teknik yardımlar üretmek olduğu belirtilmiştir. CFD modellemesi, sınırlı hacim metoduna dayanan ticari yazılım Ansys CFX 11.0 kullanılarak yapılmıştır. Aktif halde çalışan frit fırınından elde edilen bilgilerle, simülasyon ile elde edilen fırın analiz bilgilerinin oldukça uyumlu olduğu belirtilmiştir. Gerçek sürecin, sayısal modelden çok daha karmaşık olduğu, örneğin yanma sürecinin sadece fiziksel büyüklüklere bağlı olmadığı, kimyasal bir sürecinde gerçekleştiği belirtilmektedir. Ayrıca oluşturulan simülasyonla, fırın içindeki ısı dağılımı, gerçek verilerle tutarlı olduğu saptamışlardır. Buradan hareketle enerji optimizasyonu ve küresel enerji kayıplarının tahmin edilebilir olduğu gözlenmiştir. Fırın yüzeyinden dışarı radyasyonla ısı transferinin analiz edilmesi, toplam ısı akışına ait verilerin elde edilmesinde büyük katkı sağlamıştır. İzolasyon kayıplarının gidermek için 3 farklı duvar yalıtımı denenmiş ve yüksek izolasyon ile fırın verimi arttırılabilmiştir. Bunun yanında fırın veriminin artması ile fırın içi sıcaklığın yükselmesi sonucu fırın duvarlarında termal aşınmalar arttığı saptanmıştır. İzolasyonun düşük olduğu durumda ise fırın içi ısıl denge daha sabit, ürün kalitesinin arttığı fakat üretim hızının düşeceği tahmin edilmektedir. Yakma fırını seçim ve tasarlanmasında en uygun fırının seçilmesinde birçok faktörün etkili olduğu, enerji optimizasyonunu sağlamak için ise fırın tasarımında temel olarak geometrik tasarımın ana faktör olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, deneylerden elde edilen sonuçlardan, enerji tasarrufu prosedürü belirlenmesinde, baca gazından ısı kazanma ve optimum

yalıtım koşulları sağlanması ile mümkün olduğu gözlenmiştir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için birden fazla simülasyon oluşturularak incelenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Deneysel incelemelerin pahalı ve endüstriyel ekipmanların uygulanması zorda olsa, önerilen simülasyonun geçerliliğini kontrol etmek için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır [22].

Karataş, Bir Çelik Fabrikasının basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği hakkında inceleme yapmıştır. Yaptığı ölçümler ve analizler sonucunda, basınçlı hava sisteminde özellikle ana hatlar üzerinde ve makine giriş bağlantılarında hava kaçakları tespit etmiştir. Ayrıca enerjinin en son noktaya kadar ulaşımında problemler olduğu ve mevcut basınç hattında takip edilemeyen bir basınçlı hava sistemi gözlemiştir. Basınçlı hava sisteminin daha verimli çalışabilmesi ve her noktaya sabit basınçta hava ulaştırılabilmesi için hava kaçaklarının giderilmesi ve mevcut tesisatın kapalı devre ring hattı ile değiştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Böylece basınçlı hava kesintisiz ve güvenli bir biçimde işletmenin her yerine iletilebilecek, yeni kurulacak makinelerde bile basınçlı hava yetersizliği oluşmadan hava temini sağlanabilecektir. Kompresörlerin egzoz gazlarından ısı geri kazanımı ile elde edilecek enerji ile tesis içindeki herhangi bir alanın ısıtmasını gerçekleştirmek ya da proseslerde kullanılan sıcak suyun elde edilmesini sağlamak mümkün olduğu saptamıştır. Ayrıca yaptığı incelemeler sonucu basınçlı hava üretim binalarında kullanılan depoların yetersiz olduğu ve tüketime uygun kapasite artırımları önermiştir. Basınçlı havanın en pahalı enerji olduğu gerçeği göz önünde bulundurularak yapılacak müdahalelerle hem sistemin güvenli çalışması sağlanacak hem de enerji tasarrufu elde edilebileceğini belirtmiştir [23].

Erçetin, çalışmasında, bir porselen fabrikasının sır ve bisküvi fırınlarındaki enerji tasarrufları ve enerjinin geri kazanıla bilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla sır ve bisküvi fırınlarının yüzey sıcaklıkları ve fırın yüzeylerinden kaybolan ısı miktarı tespit edilip, ilave yalıtım malzemesi uygulandığında sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarı hesaplamıştır. Yapılan hesaplamalar fırın yüzeylerine ilave yalıtım yapılarak mevcut durumdaki ısı kayıplarının, bisküvi fırınında 19195 W, sır fırınında ise 31554 W kadar azaltılabileceğini saptamıştır. Fırın yüzeylerinden kaybolan bu ısı enerjisinin doğrudan geri kazanımının mümkün olmadığı bilinmektedir. Ancak ilave yalıtım yapılırsa, LPG ile çalışan bisküvi ve sır fırınları içindeki ısının dış ortama geçişi biraz daha

engellenerek, fırının gerekli sıcaklığa ulaşması için yakılacak yakıtın miktarında bir düşüş sağlanacaktır. Bu da iki fırın için saatte 4 kg LPG tasarrufu sağlayacağı ve tasarruf miktarının her iki fırın için yaklaşık % 0.7 olacağını hesaplamıştır. İlave yalıtım ile porselen fabrikasının yakıta ödediği miktar ve üretim maliyetleri az da olsa azalacak, en önemlisi yalıtım sayesinde fırının içinden ortama doğru olan ısı kaybı da azalacağından ortam sıcaklığı düşecek, böylece işçiler konfor şartına yakın bir sıcaklıkta ve daha verimli çalışacakları sonucunu ortaya koymuştur [24].

Yapılan çalışmalara bakıldığında, seramik kalitesini ve maliyetini doğrudan etkileyen Frit üretiminde enerjinin etkin kullanımı konusunda herhangi bir çalışma yapılmadığı gözlenmiştir. Bunun yanında seramik sektöründe yapılan enerji verimliliği çalışmalarının birçoğu işletmede sadece belirli proseslerde yapılmış, yapılan etüt çalışması genele yayılmamıştır. Bu çalışmada ise Seramik sektörünün ayrılmaz bir parçası olan Frit üretiminde enerjinin en çok kullanıldığı ana prosesler; Basınçlı Hava Sistemi, Fırınlar ve Soğutma Kulelerinde detaylı bir enerji analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonrası iyileştirme noktaları tespit edilerek, enerji veriminin zayıf olduğu noktalarda verimliliği arttırmak adına öneriler sunulmaktadır. Sunulan öneriler enerji tasarruf imkânları ve geri ödeme süreleri ile birlikte verilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Enerji tasarrufu, kaliteden ödün vermeden, yeni teknolojiler kullanılarak üretimde iyileştirmeyi de sağlayarak enerjinin etkin bir şekilde kullanılması olarak tanımlanabilir. Ülkemizde kişi başına enerji ve elektrik tüketimi her yıl %4 ile %6'lık oranda artmaktadır. Ekonomik faaliyet alanlarının küresel sera gazı emisyonlarına bakıldığında, sanayi kaynaklı emisyonlarının 2014 verilerine göre %21 olduğu gözlenmektedir. Bu nedenlerle, sanayide enerji tasarrufu ülkemiz açısından büyük önem taşımaktadır [25].

Frit fabrikasında gerçekleştirilen enerji etütlerinin amacı enerjinin etkin kullanılması, enerji tasarruf imkânlarının belirlenerek mevcut durumda verimlilik arttırıcı projelerin hayata geçirilmesi. Yapılan etütlerle birlikte çevrenin korunması ve enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesidir.

İşletmede gerçekleştirilen enerji verimliliği etütleri kapsamında yapılan ölçümler ve incelemeler sonucunda genel enerji tüketim analizi yapılmıştır. Basınçlı hava kompresör sisteminin incelenerek mevcut durumda kompresör basınç değerleri ile sistemde yeterli olacak basınç değerleri karşılaştırılarak, enerji ihtiyacına ve elektrik çekimine etkisi hesaplanmıştır. Basınçlı hava sisteminde sızıntı kaçaklarının tespiti ile olası enerji kayıplarının önüne geçilmiştir. Fırın çıkışı mevcut atık ısı kazanlarının baca gazı sıcaklıkları kontrol edilerek reküperatör verimi, kontrol edilmiştir. Soğutma kulelerinin kapasiteleri ve giriş sıcaklıkları kontrol edilerek verimleri incelenmiş yetersiz görülen soğutma kulelerinin verimliliğini artırmak için öneriler sunulmuştur. Elde edilen verilere göre alınacak önlemlerle enerji maliyetinin ve üretim sürecinde sera gazı etkisinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

2.1. Etüt Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler

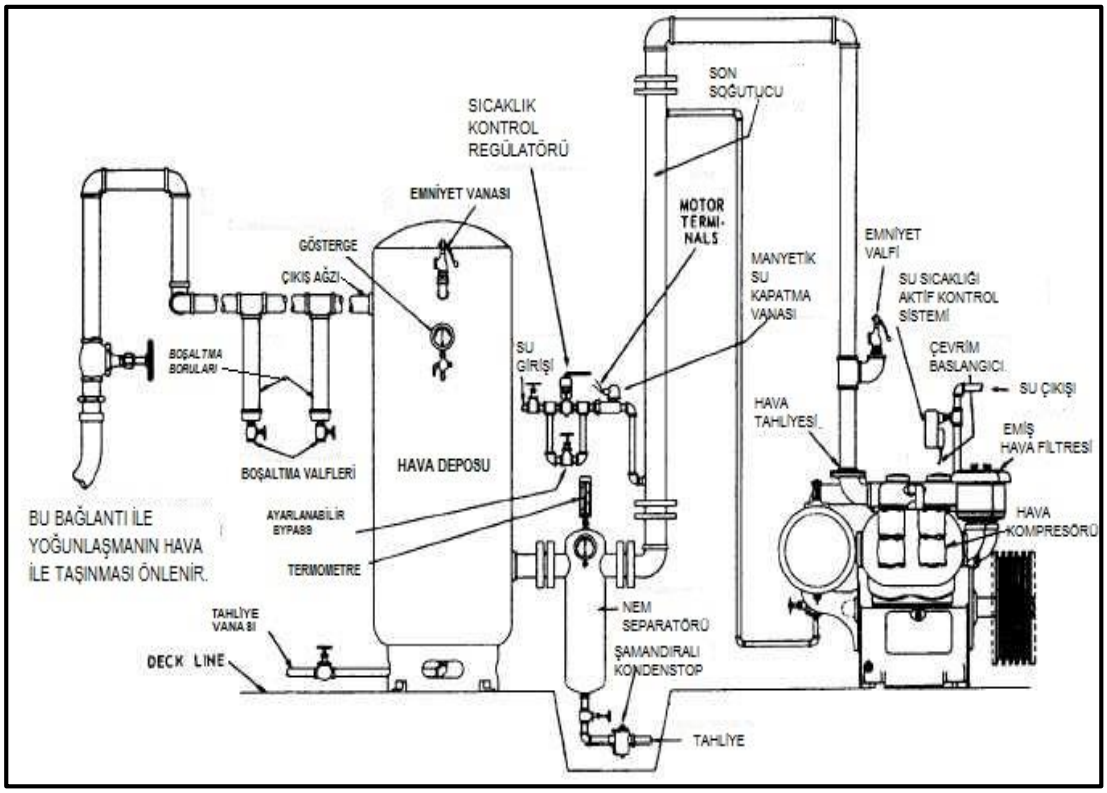
Enerji etüdü sırasında kullanılan cihazların listesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Ölçüm cihazları

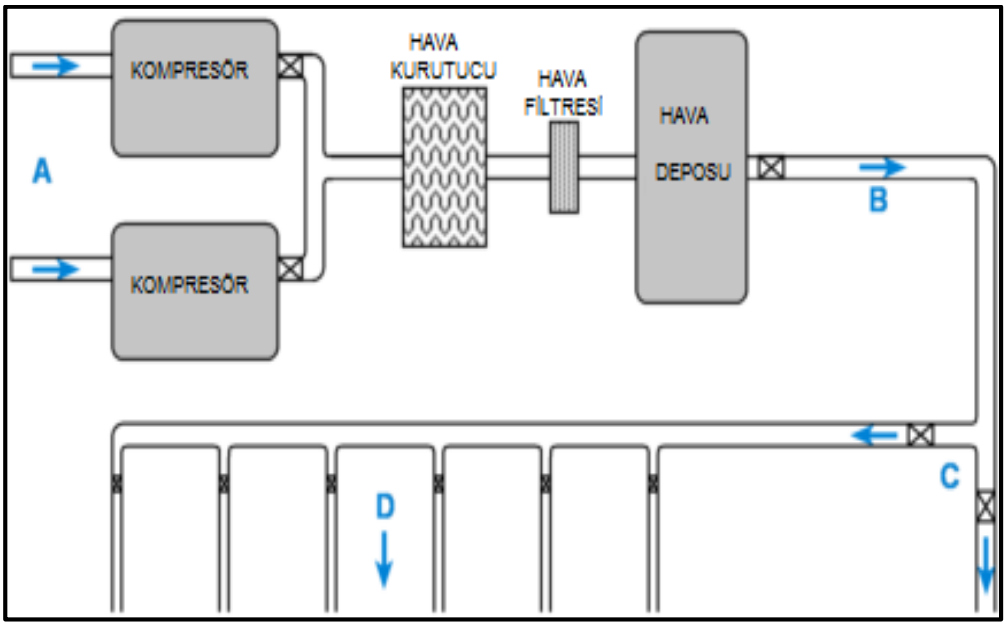
Cihaz Adı	Marka / Model
Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	Ue System INC-Ultraprobe 3000
Termokupl	Testo / 435-4
Baca Gazı Analiz Cihazı	Testo / 330-2LL
Ultrasonik Debimetre	GE / PT878

3. BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİ

Atmosfer hava bakımından zengindir ve değişik yöntemlerle alınıp, depolanabilir, basınç kazandırılarak kullanım sonrası tekrar atmosfere bırakılabilir. Basınçlı hava sistemleri aşırı sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilir, yüksek dönme hızlarına kısa sürede ulaşılabilir, basınçlı hava temizdir ve çevreyi kirletmez. Hammaddesi havadır ve her yerde bol miktarda bulunur. Kıvılcım oluşması sonucu patlama tehlikesinin olmaması gibi nedenlerden dolayı birçok sektörde tercih edilmektedir. Basınçlı hava üretmek için kullanılan en basit ve bilinen yöntem bisiklet lastiği şişirmekte kullanılan pompa ile lastik içindeki basıncın artırılmasıdır [26]. Günümüzde, sanayinin %70'inde basınçlı hava kullanılır ve sanayi tarafından kullanılan küresel enerji harcamasının %10'nu basınçlı hava oluşturmaktadır. Şekil 3.1.'de Basınçlı hava sistemi genel görünümü ve elemanları , Şekil 3.2.'de basınçlı hava sisteminin basitçe gösterilmiştir.



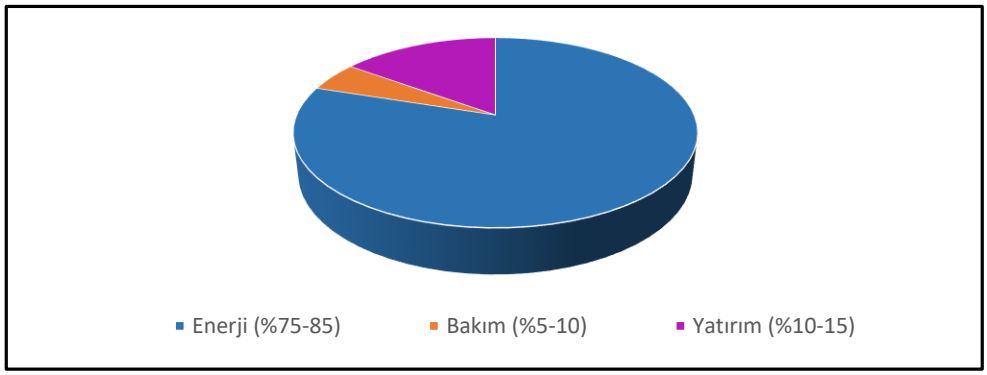
Şekil 3.1. Basınçlı hava sistemi genel görünümü ve elemanları [27]



Şekil 3.2. Basınçlı hava sisteminin şematik gösterimi [28]

Yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında, enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu alanlardan birinin basınçlı hava sistemi olduğu görülmüştür. Basınçlı hava sisteminde meydana gelecek bir arıza birçok tesiste üretimin durmasına sebep olmaktadır. Endüstride ve günlük yaşantımızda yer alan uygulamalarda gerekli olan basınçlı havayı elde etmek için kompresör kullanılır.

Basınçlı hava Kompresör ömrü 10 yıl olarak ele alındığında, üç gruptan oluşan işletme giderinin dağılımı yaklaşık olarak %5-10 bakım, %10-15 ilk yatırım ve %75-85 enerji gideri (çalıştırma maliyeti) biçiminde olmaktadır Şekil 3.3 [29].



Şekil 3.3. Bir hava kompresörünün ömrü boyunca maliyet dağılımı [29]

Çalıştırma maliyetinin yüksek olması sebebiyle, kullanılacak sistem için en verimli kompresör satın alınmalı ve hava tesisatı uygulamaya göre tasarlanmalıdır.

Makine ve tesis imalat sektörünün bir yan sanayi kuruluşu olan bir şirket 8 bar'lık bir regülasyon basıncıyla çalışılan imalathanelerinin birinde yıllık yaklaşık 13,06 milyon metreküp seviyesinde basınçlı hava tüketiyor. Metreküpü 0,19 kr'tan yıllık basınçlı hava maliyeti yaklaşık 2.470.000 TL tutarında. Şirket açısından bu aşırı yüksek bir maliyet oluşturur. Bu örnek basınçlı hava sistemindeki tasarrufun rakamsal boyutunu ortaya koymaktadır. Oysa bu sistemlerde pratik bazı önlemlerle önemli miktarda enerji ve mali tasarruflar sağlanabilir. Buna basit bir örnek, havanın kompresöre giriş sıcaklığının düşük olması da harcanan enerji maliyetini düşürebilir. Örneğin havanın kompresöre giriş sıcaklığını 5 °C düşürmek enerji harcamasında % 2 'lik düşüş yaratır [30].

Kompresörler, endüstriyel faaliyetlerde diğer tip tüm donanımlardan daha fazla elektrik tüketmektedir. Bu da kompresör ünitelerinde yapılacak iyileştirmeler sayesinde çok yüksek oranlarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Bu sistemlerde yapılacak iyileştirmeler aynı zamanda bakım maliyetlerini azaltmaktadır.

3.1. Basınçlı Hava Kaçaklarının Tespiti

Kompresörlerde ve basınçlı hava hatlarında enerji verimliliği kapsamında, fabrikada mekanik ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler, kompresörlerin basınç değerleri ve basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarının tespitini kapsamaktadır.

Hava kaçaklarının tamiri ve tıkanmış filtrelerin değiştirilmesi ve bakımların yapılması ile birçok işletmede %10-20 oranında çalışma maliyetlerini düşürebilir.

3.1.1. Basınçlı hava sisteminde ölçüm yöntemi ve ölçüm cihazları

Basınçlı hava ana ve dağıtım hatlarında, hatlardaki vanalarda, pnömatik valflerde, buffer tanklarda, propeller tanklarında basınçlı hava kaçak kontrolleri yapılmıştır. Kompresörlerin basınç set değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kompresörlerin basınç set değerleri

	Kurulu Güç	Basınç Set Değeri
	(kW)	(bar)
KOMPRESÖR-1 (VSD)	132	7,0
KOMPRESÖR-2 (VSD)	132	7,0
KOMPRESÖR-3 (VSD)	132	7,0
KOMPRESÖR-4 (VSD)	200	7,5

Fabrikada ultrasonik dedektörle basınçlı hava hatları taranarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarı "UE SYSTEMS UP 3000" ultrasonik sızıntı dedektörü ile tespit edilmiştir. Cihazdan okunan dB değeri cihazın yazılımıyla hacimsel debiye dönüştürülmüştür. Basınçlı hava hatlarında sızıntı kontrolü yapan ultrasonik sızıntı dedektörü Şekil 3.4'de [31] verilmiştir.



Şekil 3.4 Ultrasonik sızıntı dedektörü resmi

Fabrikada ultrasonik dedektörle basınçlı hava taraması yapılarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Hava kaçaklarının tespit edildiği nokta adı, cihazın ölçtüğü dB değeri ve bu değere karşılık gelen tahmini kaçak debileri ve basınçlı hava kaçaklarının maliyetini hesaplamak için gerekli diğer değerler listelenmiştir.

Basınçlı hava hatlarının uzunluğu nedeniyle basınçlı hava sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. 83 noktada basınçlı hava kaçağı tespit edilmiştir. Basınçlı hava sızıntı ölçümleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Basınçlı hava kaçakları ölçümleri

Ölçüm No	Ekipman Adı	Ölçüm Değeri (dB)
1	1 Nolu Ölçüm Noktası	60
2	2 Nolu Ölçüm Noktası	80
3	3 Nolu Ölçüm Noktası	80
4	4 Nolu Ölçüm Noktası	70
5	5 Nolu Ölçüm Noktası	85
6	6 Nolu Ölçüm Noktası	75
7	7 Nolu Ölçüm Noktası	75
8	8 Nolu Ölçüm Noktası	60
9	9 Nolu Ölçüm Noktası	75
10	10 Nolu Ölçüm Noktası	80
11	11 Nolu Ölçüm Noktası	75
12	12 Nolu Ölçüm Noktası	80
13	13 Nolu Ölçüm Noktası	60
14	14 Nolu Ölçüm Noktası	75
15	15 Nolu Ölçüm Noktası	65
16	16 Nolu Ölçüm Noktası	75
17	17 Nolu Ölçüm Noktası	90
18	18 Nolu Ölçüm Noktası	70
19	19 Nolu Ölçüm Noktası	65
20	20 Nolu Ölçüm Noktası	60
21	21 Nolu Ölçüm Noktası	60
22	22 Nolu Ölçüm Noktası	80
23	23 Nolu Ölçüm Noktası	55
24	24 Nolu Ölçüm Noktası	70
25	25 Nolu Ölçüm Noktası	65
26	26 Nolu Ölçüm Noktası	70
27	27 Nolu Ölçüm Noktası	60
28	28 Nolu Ölçüm Noktası	60
29	29 Nolu Ölçüm Noktası	60
30	30 Nolu Ölçüm Noktası	65
31	31 Nolu Ölçüm Noktası	75
32	32 Nolu Ölçüm Noktası	85
33	33 Nolu Ölçüm Noktası	60
34	34 Nolu Ölçüm Noktası	40
35	35 Nolu Ölçüm Noktası	50
36	36 Nolu Ölçüm Noktası	55
37	37 Nolu Ölçüm Noktası	60
38	38 Nolu Ölçüm Noktası	70
39	39 Nolu Ölçüm Noktası	80
40	40 Nolu Ölçüm Noktası	65
41	41 Nolu Ölçüm Noktası	65
42	42 Nolu Ölçüm Noktası	65
43	43 Nolu Ölçüm Noktası	60
44	44 Nolu Ölçüm Noktası	80
45	45 Nolu Ölçüm Noktası	60

Tablo 3.2. (Devam) Basınçlı hava kaçakları ölçümleri

46	46 Nolu Ölçüm Noktası	65
47	47 Nolu Ölçüm Noktası	60
48	48 Nolu Ölçüm Noktası	50
49	49 Nolu Ölçüm Noktası	80
50	50 Nolu Ölçüm Noktası	80
51	51 Nolu Ölçüm Noktası	60
52	52 Nolu Ölçüm Noktası	70
53	53 Nolu Ölçüm Noktası	70
54	54 Nolu Ölçüm Noktası	68
55	55 Nolu Ölçüm Noktası	90
56	56 Nolu Ölçüm Noktası	70
57	57 Nolu Ölçüm Noktası	66
58	58 Nolu Ölçüm Noktası	69
59	59 Nolu Ölçüm Noktası	50
60	60 Nolu Ölçüm Noktası	60
61	61 Nolu Ölçüm Noktası	70
62	62 Nolu Ölçüm Noktası	65
63	63 Nolu Ölçüm Noktası	65
64	64 Nolu Ölçüm Noktası	65
65	65 Nolu Ölçüm Noktası	75
66	66 Nolu Ölçüm Noktası	81
67	67 Nolu Ölçüm Noktası	71
68	68 Nolu Ölçüm Noktası	73
69	69 Nolu Ölçüm Noktası	70
70	70 Nolu Ölçüm Noktası	82
71	71 Nolu Ölçüm Noktası	62
72	72 Nolu Ölçüm Noktası	61
73	73 Nolu Ölçüm Noktası	70
74	74 Nolu Ölçüm Noktası	80
75	75 Nolu Ölçüm Noktası	60
76	76 Nolu Ölçüm Noktası	60
77	77 Nolu Ölçüm Noktası	65
78	78 Nolu Ölçüm Noktası	60
79	79 Nolu Ölçüm Noktası	65
80	80 Nolu Ölçüm Noktası	65
81	81 Nolu Ölçüm Noktası	85
82	82 Nolu Ölçüm Noktası	60
83	83 Nolu Ölçüm Noktası	65

3.1.2. Basınçlı hava kaçakları hesaplamaları

Basınçlı hava kaçaklarının parasal değeri, atmosfer basıncındaki havanın kompresör çıkış (set) basıncına sıkıştırılması için gerekli enerji bedeline eşittir. Kaçak hava miktarı hat basıncına, basınçlı havanın kaçak noktasındaki sıcaklığına, kompresör emişindeki hava sıcaklığına ve havanın kaçtığı deliğin çapına bağlıdır. Bu nedenle

kullanım yerinde gerekli asgari basınç tespit edilerek basınç regülatörleri ile düşürülmesi sızıntı kaçaklarının maliyetini de azaltacaktır. Ayrıca temizlik için kullanılan havanın basıncı da mutlaka düşürülmelidir.

Hava kaçaklarının artması nedeniyle kompresör çıkış basıncının düşürülmesi imkânsız hale gelmektedir. Bu da ikinci bir maliyet oluşturmaktadır. Kaçakların yeri insan kulağı ile bulunabildiği gibi bu amaçla geliştirilmiş Ultrasonik ses dedektörleri ile de tespit edilebilir. Basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların sebep olduğu enerji sarfiyatını desibel hesabı ile yapılmış olup, basınçlı hava kaçaklarının hesaplamaları aşağıdaki Denklem (3.1) yardımı ile hesaplanmıştır,

$$L=\{P_i\times V_f\times(k/k-1)\times N\times[(P_0/P_1)\text{^}((k-1)/(k\times N))-1]\}/(E_a\times E_m) \quad (3.1)$$

Burada;

Pi= Atmosfer basıncı (kPa),

P_0=kompresör çalışma basıncı (kPa),

Pl=kaçak hava basıncı (kPa),

Vf=kaçan hava debisi (m3/s),

k=havanın özgül ısı oranı (1.4),

N=kademe sayısı,

Ea=Kompresör adiyabatik verimi

Em= kompresör motor verimi

Enerji Tasarrufu=LXH

H= hava hattının yıllık basınç altında olduğu süre (saat)

1 kWh Elektrik : 0,617 kg eşd. CO_2 salınımı

Basınçlı hava sisteminde basınçlı hava üretmek için harcanan 1 kWh Elektrik maliyeti 0,2100 TL alınmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları Tablo 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.3. Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

Ölçüm No	Ekipman Adı	Ölçüm Değeri	Hacimsel Debi	Güç Kaybı	Yıllık Enerji Kaybı	Enerji Kaybının Maliyeti	CO_2
		(dB)	(l/s)	(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(ton CO_2 /kWh)
1	1 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
2	2 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
3	3 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
4	4 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
5	5 Nolu Ölçüm Noktası	85	3,80	0,72	6.081,55	1.277,13	3,75
6	6 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
7	7 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
8	8 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
9	9 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
10	10 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
11	11 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
12	12 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
13	13 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
14	14 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
15	15 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
16	16 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
17	17 Nolu Ölçüm Noktası	90	3,96	0,75	6.345,96	1.332,65	3,92
18	18 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
19	19 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
20	20 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
21	21 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
22	22 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
23	23 Nolu Ölçüm Noktası	55	1,56	0,29	2.493,06	523,54	1,54
24	24 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42

Tablo 3.3. (Devam) Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

25	25 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
26	26 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
27	27 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
28	28 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
29	29 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
30	30 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
31	31 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
32	32 Nolu Ölçüm Noktası	85	3,80	0,72	6.081,55	1.277,13	3,75
33	33 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
34	34 Nolu Ölçüm Noktası	40	0,80	0,15	1.284,30	269,70	0,79
35	35 Nolu Ölçüm Noktası	50	1,42	0,27	2.266,41	475,95	1,40
36	36 Nolu Ölçüm Noktası	55	1,56	0,29	2.493,06	523,54	1,54
37	37 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
38	38 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
39	39 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
40	40 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
41	41 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
42	42 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
43	43 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
44	44 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
45	45 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
46	46 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
47	47 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
48	48 Nolu Ölçüm Noktası	50	1,42	0,27	2.266,41	475,95	1,40
49	49 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
50	50 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
51	51 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
52	52 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42

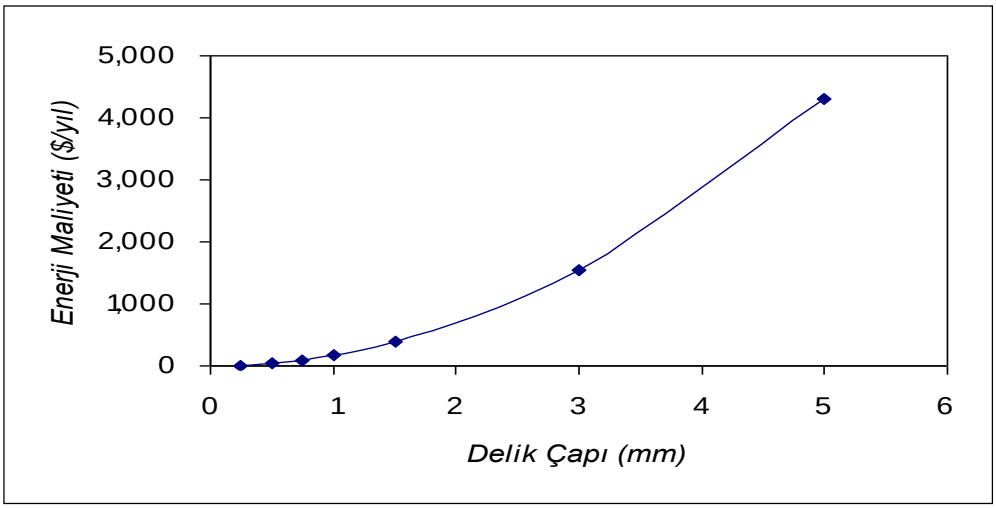
Tablo 3.3. (Devam) Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

53	53 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.948,00	829,08	2,44
54	54 Nolu Ölçüm Noktası	68	2,30	0,44	3.686,70	774,21	2,27
55	55 Nolu Ölçüm Noktası	90	3,96	0,75	6.345,96	1.332,65	3,92
56	56 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
57	57 Nolu Ölçüm Noktası	66	2,15	0,41	3.444,95	723,44	2,13
58	58 Nolu Ölçüm Noktası	69	2,38	0,45	3.807,58	799,59	2,35
59	59 Nolu Ölçüm Noktası	50	1,42	0,27	2.266,41	475,95	1,40
60	60 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
61	61 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
62	62 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
63	63 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
64	64 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
65	65 Nolu Ölçüm Noktası	75	3,04	0,58	4.872,79	1.023,29	3,01
66	66 Nolu Ölçüm Noktası	81	3,67	0,69	5.870,01	1.232,70	3,62
67	67 Nolu Ölçüm Noktası	71	2,57	0,49	4.117,32	864,64	2,54
68	68 Nolu Ölçüm Noktası	73	2,81	0,53	4.495,06	943,96	2,77
69	69 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
70	70 Nolu Ölçüm Noktası	82	3,70	0,70	5.922,90	1.243,81	3,65
71	71 Nolu Ölçüm Noktası	62	1,85	0,35	2.961,45	621,90	1,83
72	72 Nolu Ölçüm Noktası	61	1,77	0,34	2.840,57	596,52	1,75
73	73 Nolu Ölçüm Noktası	70	2,45	0,46	3.928,45	824,97	2,42
74	74 Nolu Ölçüm Noktası	80	3,63	0,69	5.817,13	1.221,60	3,59
75	75 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
76	76 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
77	77 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
78	78 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
79	79 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
80	80 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05

Tablo 3.3. (Devam) Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

81	81 Nolu Ölçüm Noktası	85	3,80	0,72	6.081,55	1.277,13	3,75
82	82 Nolu Ölçüm Noktası	60	1,70	0,32	2.719,70	571,14	1,68
83	83 Nolu Ölçüm Noktası	65	2,08	0,39	3.324,08	698,06	2,05
	TOPLAM		201,81	38,20	204.015,14	67.845,750	125,88

Tablo 3.3'de görüldüğü üzere kaçan basınçlı hava miktarı delik çapının büyüklüğüyle eksponansiyel olarak artmaktadır. Basınçlı hava hattında tespit edilen basınçlı hava kaçaklarının maliyeti Şekil 3.5. te daha iyi görülmektedir.



Şekil 3.5. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti

3.1.3. Basınçlı hava kaçaklarının azaltılması ile enerji tasarruf imkânları ve miktarları

Kompresör odasında, basınçlı hava ana dağıtım hatlarında, pnömatik selenoidlerde, basınçlı hava tabancalarında vb. noktalarda ultrasonik sızıntı dedektörü ile yapılan ölçümlerde enerji tasarrufu yapılabilecek kaçak noktaları tespit edilmiştir.

Ultrasonik sızıntı detektörüyle tespit edilen noktalarda gerçekleşen enerji kaybı 204.015,14 kWh/yıl ve kaybedilen enerjinin yıllık toplam maliyeti 67.845,750 TL/yıl'dir. Belirlenen 83 noktada kaçaklar giderilerek yılda 125,88 ton CO_2 salınımının önlememek mümkündür. Basınçlı hava sisteminde meydana gelebilecek sızıntı kaçaklarının kolayca tespiti ve basınçlı hava sisteminin periyodik kontrolü için sızıntı tespit hizmetinin alınması ile zamanında yapılacak müdahaleler ilerde yaşanabilecek arızaların önüne geçilmiş olunur. Bununla birlikte enerji tasarrufu sağlanmış ve sera gazı etkisinin azaltılabileceği mümkün olduğu gözükmektedir.

3.2. Kompresör Set Basınç Değerinin Düşürülmesi

Seramik ve emaye üretimi için fırınlara beslenen hammaddelerin taşınımı propeller ile gerçekleştirilmektedir. Propeller ile taşınan hammaddelerin tane yapısı ve taşıma

mesafeleri farklılık gösterdiğinden dolayı kullanılan havanın basınç değerleri değişkenlik göstermektedir. Propellerde istenilen basınç değeri regülatörler ile sağlanmaktadır.

3.2.1. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili alınan değerler

Propeller hava basınç ölçümleri Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Propeller hava basınç ölçümleri – bölüm 1

Bölüm-1	Regülatör Öncesi (bar)	Regülatör Sonrası (bar)
P1	6,7	5,5
P2	6,7	4,6
P3	6,7	3,2
P4	6,7	Arıza var
P5	6,7	5,0
P6	6,7	6,5
P7	6,7	4,8
P8	6,7	4,9

Tablo 3.5. Propeller hava basınç ölçümleri – bölüm 2

Bölüm-2	Regülatör Öncesi (bar)	Regülatör Sonrası (bar)
P1	6,7	4,2
P2	6,7	5,0
P3	6,7	4,0
P4	6,7	3,8

Mevcut kompresörler ile 7-7,5 bar'da üretilen basınçlı havanın regüle edilmesi (basıncının düşürülmesi) ile enerji kaybı meydana gelmektedir. Basınçlı havanın 6 bar'da üretilmesi ile regüle edilen basınç değerinin düşürülmesi ve böylelikle enerji kaybının azaltılması mümkündür. Tablo 3.6'da Kompresör basınç değerinin düşürülmesi ile güç azalma oranları tablosundan [32] yararlanılarak Tablo 3.7'de Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3.6. Kompresörlerde Set Basınçlarında Güç Azalma Oranları (%)

Mevcut Kompresör Set Basıncı (Bar)	Yeni Kompresör Set Basıncı (bar)								
	4,0	4.5	4,0	5.5	4,0	6.5	4,0	7.5	4,0
4,0	0,00	4,0	0,00	4,0	0,00	4,0	0,00	4,0	0,00
4,5	0,07	4,5	0,07	4,5	0,07	4,5	0,07	4,5	0,07
5,0	0,13	5,0	0,13	5,0	0,13	5,0	0,13	5,0	0,13
5,5	0,17	5,5	0,17	5,5	0,17	5,5	0,17	5,5	0,17
6,0	0,22	6,0	0,22	6,0	0,22	6,0	0,22	6,0	0,22
6,5	0,25	6,5	0,25	6,5	0,25	6,5	0,25	6,5	0,25
7,0	0,28	7,0	0,28	7,0	0,28	7,0	0,28	7,0	0,28
7,5	0,31	7,5	0,31	7,5	0,31	7,5	0,31	7,5	0,31
8,0	0,33	8,0	0,33	8,0	0,33	8,0	0,33	8,0	0,33

3.2.2. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili hesaplamalar

Tablo 3.7. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile ilgili hesaplamalar

	Kurulu Güç	Basınç Set Değeri	Mevcut Durum Birim Enerji Tüketimi	6 bar'daki enerji tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	Mali Tasarruf	CO_2
	(kW)	(bar)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	($tonCO_2$/kWh)
KOMPRESÖR-1 (VSD)	132	7,0	120,00	112,80	7,20	60.480	12.700	37,32
KOMPRESÖR-2 (VSD)	132	7,0	52,00	48,88	3,12	26.208	5.503	16,17
KOMPRESÖR-3 (VSD)	132	7,0	110,00	103,40	6,60	55.440	11.642	34,21
KOMPRESÖR-4 (VSD)	200	7,5	158,00	143,78	14,22	119.448	25.084	73,70
					31,14	261.576	54.930	161,39

3.3. Mevcut Kompresörlerin Daha Verimli Kompresörlerle Değiştirilmesi

İşletmede aktif olarak çalışan 4 adet kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörlerin tamamı hız sürücülüdür. Fabrikada üretilen basınçlı havanın çok büyük bir kısmı propeller tanklarında bunun yanı sıra pnömatik kontrollü sistemlerde ve temizlik havalarında kullanılmaktadır.

3.3.1. Mevcut kompresörlerin değiştirilmesi ile ilgili alınan değerler

Fabrikada aktif olarak çalışan 4 adet kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörlerin tamamı hız sürücülüdür. Kompresörlerin basınç set değerleri ve kurulu güçleri Tablo 3.7'de verilmiştir. Fabrikada üretilen basınçlı havanın çok büyük bir kısmı propeller tanklarında kullanılmaktadır. Bunun yanısıra pnömatik kontrollü sistemlerde ve temizlik havalarında kullanılmaktadır.

3.3.2. Mevcut kompresörlerin değiştirilmesi ile ilgili hesaplamalar

Tesiste kullanılan basınçlı havanın çok büyük miktarının basınç ihtiyacının 5,5 bar'ın altında olduğu gözlemlenmiştir. Fakat mevcut kompresörlerin, 6 bar'ın altında sağlıklı bir şekilde çalışamayacağı üretici firma tarafından teyit edilmiştir. Mevcut kompresörlerin daha verimli ve daha esnek çalışma basınç aralığına sahip kompresörler ile değiştirilmesi ile enerji tasarruf sağlanması mümkündür. Mevcut kompresörlerin enerji tüketimleri Tablo 3.8.'de gösterilmektedir. Önerilen Kompresörün enerji tüketimi Tablo 3.9.'da gösterilmektedir.

Tablo 3.8. Mevcut kompresör enerji tüketimleri

Basınç Set Değeri	Mevcut Durum Birim Enerji Tüketimi
(bar)	(kW)
6,0	413,60

*Enerji tüketimi hesaplanırken 76 m^3/dk değeri referans alınmıştır.

Tablo 3.9. Önerilen kompresörün enerji tüketimleri

Basınç Set Değeri	Mevcut Durum Birim Enerji Tüketimi
(bar)	(kW)
5,5	380

*Enerji tüketimi hesaplanırken 76 m^3/dk değeri referans alınmıştır.

Mevcut kompresörün 76 m3/dk 6 bar basınçlı hava üretmek için harcadığı güç 413.6 kW'dır. Katalog verisinden yararlanarak 5,5 barda yeni kompresörün özgül güç tüketimi 5kW.dk/m^3 faydalanılarak 76 m^3/dk 5,5 bar basınçlı hava için tüketilen güç

380 kW bulunmuştur. Buna göre yapılan hesaplamalar Tablo 3.10 ve basınçlı hava sistemi için tüm hesapların özetleri Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Mevcut kompresörlerin daha verimlileri ile değiştirilmesi ve Hat basıncının 5,5 bar'a düşürülmesi

Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	BGÖS	CO2
(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	(tonCO_2/kWh)
33,60	282.240,00	59.270,40	487.084,00	8,22	174,14

Tablo 3.11. Basınçlı hava sistemi enerji tasarruf yatırımlarının geri ödeme süreleri

Önlem	Kazanılan Enerji	Maddi Kazanç	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi	CO2
	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	(tonCO_2/kWh)
Basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların giderilmesi	204.015,14	67.845,75	6.000,00	0,09	125,88
Kompresör set basınç değerinin 6 bar'a düşürülmesi	261.576,00	78.215,76	-	-	229,81
Mevcut kompresörlerin daha verimlileri ile değiştirilmesi ve hat basıncının 5,5 bar'a düşürülmesi	282.240,00	59.270,40	487.084,00	8,22	174,14

4. FIRINLAR

4.1. Sistem ve Ünite Tarifi

Frit fabrikasında yüksek sıcaklık ve ısı kapasitelerinde çalıştırılan emaye ve seramik fırınlarında yakma havası, baca gazı atık ısısı ile ısıtılmaktadır. Mevcut reküperatör ısı transfer yüzey alanı artırılarak yakma havasının daha da ısıtılması ve böylelikle fırın yakıt tüketiminde tasarruf sağlanması mümkündür. Fırın atık ısılarının kullanılmasına yönelik yapılan hava ön ısıtma hesaplamalarının ve fizibilite çalışmasının yanı sıra, reküperatör sonrasında hala kullanılabilir bir atık ısı olduğu ve bu ısının da buhar üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Üretilen buharın, tesisin bulunduğu organize sanayi bölgesinde satışa sunulabileceği düşünülerek gerekli enerji kazancı ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

4.1.1. Seramik fırınları

Seramik fırınlarına silolardan beslenen hammadde 1500 ˚C sıcaklıkta ergitilmektedir. Fırından ergiyik halde çıkan mamül, soğutma suyu ile direkt temas ettirilerek kristalleştirilmektedir. Yakma havası, fırın baca gazı ile ön ısıtmaya tabii tutulmaktadır.



Şekil 4.1. Örnek seramik fırınları-1



Şekil 4.2. Örnek seramik fırınları-2

4.1.2. Emaye fırınları

Emaye fırınlarına silolardan beslenen ham madde 1200˚C sıcaklıkta ergitilmektedir. Fırından ergiyik halde çıkan mamül silindirlerin arasından geçirilerek soğutma suyu vasıtasıyla kristalleştirilmektedir. Yakma havası, fırın baca gazı ile ön ısıtmaya tabii tutulmaktadır.



Şekil 4.3. Örnek emaye fırınları-1



Şekil 4.4. Örnek emaye fırınları-2

4.1.3. Fırınlarda izolasyon kontrolleri

İzolasyon ölçümleri kapsamında emaye fırınlarının ve seramik fırınlarının yüzeyleri termal kamera yardımıyla incelenmiştir. İncelemeler sırasında izolasyonun zayıf olduğu bazı noktalar tespit edilmiştir. İzolasyon iyileştirmesi yapmak mevcut durumda mümkün değildir ve bu çalışma önlenemeyen ısı kayıplarını göstermek için yapılmıştır.

4.1.4. Atık ısı geri kazanım sistemi

Atık Isıdan Enerji Geri Kazanımı, yüksek ısıl işlemlere sahip olan proseslerde kullanılmayan ısıl enerjiden, elektrik enerjisi, sıcak hava ve sıcak su üretimi teknolojisidir.



Şekil 4.5. Tipik bir atık ısı geri kazanım sistemi [33]

Çimento, demir-çelik ve cam sanayi gibi ısıtmanın söz konusu olduğu proseslerde genellikle kullanılan ısının ancak belli bir bölümü, prosesin gerçekleşmesi için kullanılabilmektedir. Kalan bölüm ise, değişik yollarla ve çoğunlukla da baca gazları vasıtasıyla atılmaktadır. Atık Isı Geri Kazanım Sistemi ile, atmosfere atılan bu sıcak gazlar kullanılarak elektrik üretimi ile ekonomik fayda temin edilmekte hem de çevre duyarlılığı açısından önemli katkı sağlanmaktadır. Ayrıca Endüstriyel tesislerde kullanılan kazan, fırın, kojenerasyon tesisleri vb. makinalarda atmosfere atılan bacadaki atık ısı enerjisi bir ekonomizer veya reküperatör sistemiyle geri kazanılarak sıcak su veya sıcak hava elde etmede kullanılarak enerji tasarrufu elde edilebilir [33].

4.1.4.1. Atık ısı kazanı

Atık Isı Kazanları (AIK), sıcak bir gaz akışından ısıyı geri kazandıran bir enerji geri kazanımlı eşanjördür. Bir proseste kullanılabilen buhar üretir veya buhar türbini elektrik elde etmek için kullanılır. Atık Isı Kazanları (Heat Recovery Steam Genarator)'ler üç ana bileşenden oluşur; ekonomizer, evaporatör ve kızdırıcılar. Ünitenin çalışma gereksinimleri saptanarak bu gereksinimleri doğru karşılamak için farklı bileşenler bir araya getirilir. Sistemde fırın çıkışı gazlarla AIK'da buhar üretilebilir bu buhar ısıtma sistemlerinde veya üretim aşamasında doymuş buhar gereksinimi olan alanlarda kullanılabilir. Bunun için seçilecek AIK 2 kademeli yani ekonomizer, evaporatör'den oluşan bir ısı kazanı tercih edilir. Eğer elde edilecek buhardan buhar türbini yardımı ile elektrik üretme ihtiyacı sistem için daha verimli olacağı düşünülürse 3 kademeli yani ekonomizer, evaporatör ve kızdırıcılar'dan oluşan atık ısı kazanı tasarlanır.



Şekil 4.6. Atık ısı kazanı uygulama örneği [34]

Atık ısı kazanı ile bacadan atılan sıcak gaz kullanılarak, sıcak su elde edilebilir. Bu sıcak su da ısıtma sisteminde ve işçilerin soyunma odasında sıcak su ihtiyacı olarak değerlendirilebilir [35]. Sistemde fırın çıkışı gazlarla AIK'da buhar üretilebilir ve bu buhar ısıtma maksatlı kullanılılabilir. Çıkan gazlarla AIK 'da üretilen buhar, bir buhar Turbo-generatöründen geçirilerek Elektrik üretilebilir. Buhar Türbinininden ara buhar çekilerek hem elekrik üretilip hem proses ve/veya ısıtma da sağlanabilir.

Frit fabrikalarında, kullanılan fırınların yüksek sıcaklıklarda çalışması sebebiyle baca gazı sıcaklıkları da fazlasıyla yüksektir. Bu tesislerde atık ısı enerjisi kullanılarak, sıcak su, ısınma ihtiyaçları giderilebilir veya kızgın buhar elde edilebilir ve bu buhardan da elektrik üretilerek tesisin verimliliği arttırabilir [34]. Atık ısı kazanlarında sıcaklığı düşürülerek atmosfere verilen baca gazı, hava kirliliğinin bir unsuru olan atmosferin ısınma probleminin azaltılması demektir. Bununla birlikte atık ısıdan faydalandığımız kWh 'lik enerji üretimi için harcanacak yakıt tasarrufu ve yakılmayan fosil yakıtla CO_2 salınımı azaltılması da sağlanmış olacaktır.

4.1.4.2. Reküperatör

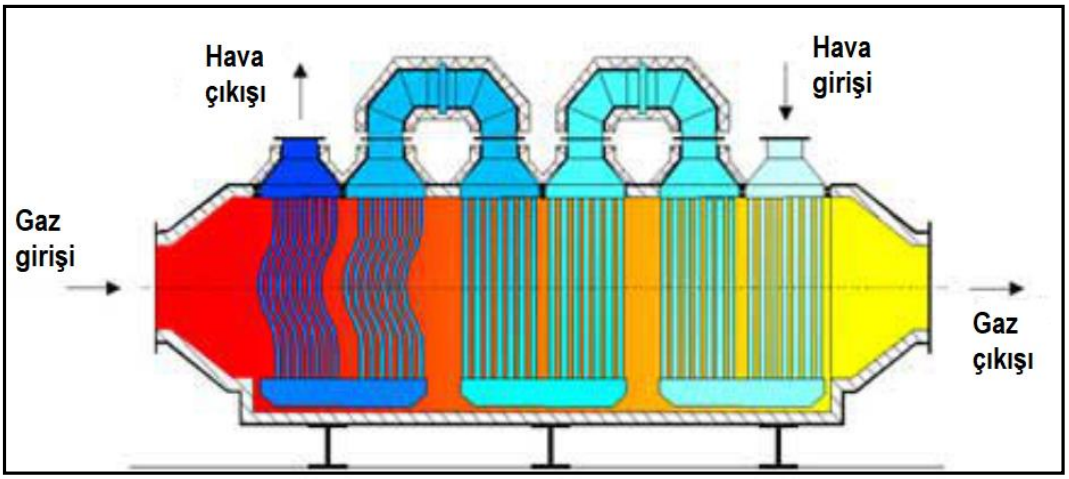
Reküperatör ısı değiştiricilerinde farklı sıcaklıklardaki iki akışkan, ince bir boru veya levha yüzeyi ile ayrılırlar ve ısı değiştiricisi içerisinde karışmadan hareket ederler. Bu tip ısı değiştiricisinde akışkanları birbirinden ayıran yüzeyler hareketsizdir ve buradaki ısı transferi dolaylı olarak gerçekleşmektedir. Sıcak akışkanın geçtiği kanallarda, ısı

önce taşınımla kanal duvarlarına, daha sonra iletimle kanal duvarının bir yüzeyinden diğer yüzeyine ve buradan da yine taşınımla soğuk akışkana aktarılır [36] . Örnek bir reküperatör resmi [37].



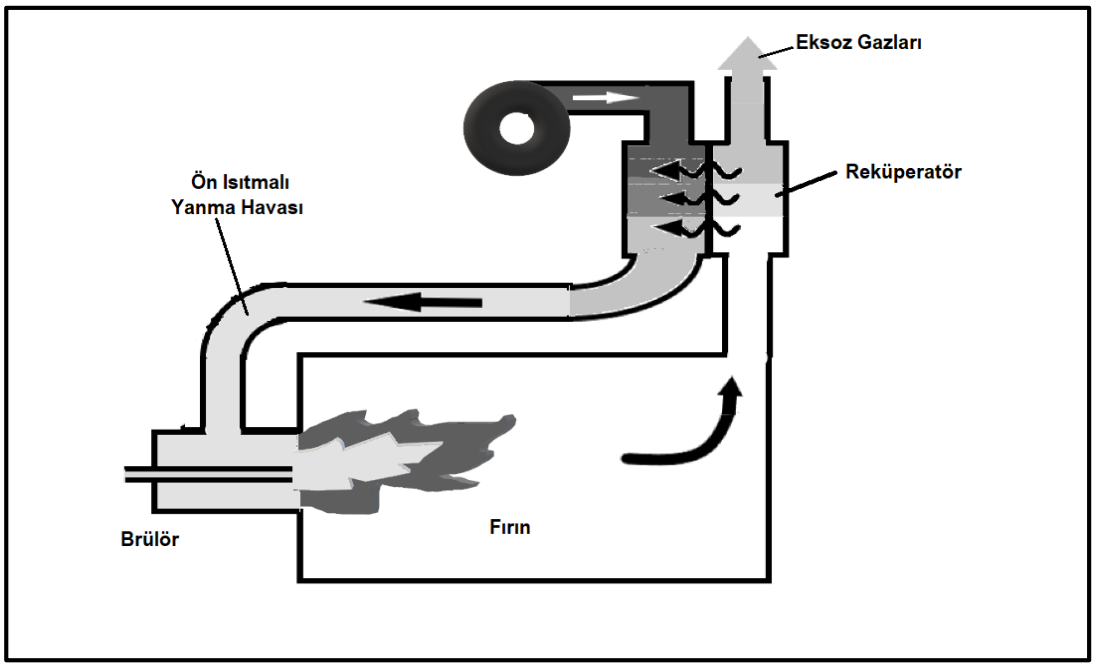
Şekil 4.1. Örnek bir reküperatör resmi [37]

Bu sistemlerde parçacıklar içermeyen atık gaz mümkün olan en küçük çaplı borulardan geçirilerek ısı transfer yüzey alanı arttırılır; ısıtılacak akışkan yönlendirici plakalar yoluyla birden fazla geçiş yaparak ısı transfer süresi artırılmış olur. Yüksek verimli ısı transferi için tercih edilen bu sistemler hacimsel sıkıntı olmayan tesislerde tercih edilmektedir [36].



Şekil 4.2. Reküperatör çalışma sistemi gösterimi [37]

Elde edilen sıcak hava tekrar fırınlara verilmekte ve fırın verimi artırılmaktadır.



Şekil 4.1. Reküperatörün sistem içinde çalışma şekli [38]

Tablo 4.1. de fırın öncesi havanın reküperatörde ön ısıtmaya tabi tutulması sonrası %13-%51 oranında yakıt tasarrufu sağlanabileceği gösterilmektedir [38].

Tablo 4.1. Fırın Öncesi Hava Ön Isıtılmasının Yakıt Tasarrufuna Etkisi

	% Yakıt Tasarrufu					
Egzoz Sıcaklığı, ℃	Havanın ön ısıtma sıcaklığı, ℃					
	315,5	426,6	537,7	648,8	759,9	871
537,7	13	18	-	-	-	-
648,8	14	19	23	-	-	-
759,9	15	20	24	28	-	-
871	17	22	26	30	34	-
982	18	24	28	33	37	-
1093	20	36	31	35	39	43
1204	23	29	34	39	43	47
1315,4	26	32	38	43	47	51

4.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Her bir fırında geri kazanılabilecek atık ısı miktarını belirleyebilmek için baca gazı debisi ve sıcaklığı ölçülmüştür. Aktif olarak çalışan her bir fırın için ilgili ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Seramik fırınların ölçüm sonuçları

	Baca Gazı Debisi (kg/h)	Yakma Havası Sıcaklığı (˚C)	Baca Gazı Sıcaklığı (˚C)
Seramik Fırın-1	3.729,30	377	800
Seramik Fırın-2	3.985,89	487	800
Seramik Fırın-3	1.013,28	466	800

Tablo 4.3. Emaye fırınların ölçüm sonuçları

	Baca Gazı Debisi (kg/h)	Yakma Havası Sıcaklığı (˚C)	Baca Gazı Sıcaklığı (˚C)
Emaye Fırın-1	3.424,53	212	620
Emaye Fırın-2	3.092,27	375	700
Emaye Fırın-3	2.737,46	185	580
Emaye Fırın-4	1.844,00	176	580
Emaye Fırın-5	1.913,74	418	812
Emaye Fırın-6	3.345,13	520	741
Emaye Fırın-7	1.113,67	340	600
Emaye Fırın-8	2.693,48	275	710

Etüt çalışması kapsamında emaye fırınlarının ve seramik fırınlarının yüzeyleri termal kamera yardımıyla izolasyonları kontrol edilmiştir. Termal kamera ile yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

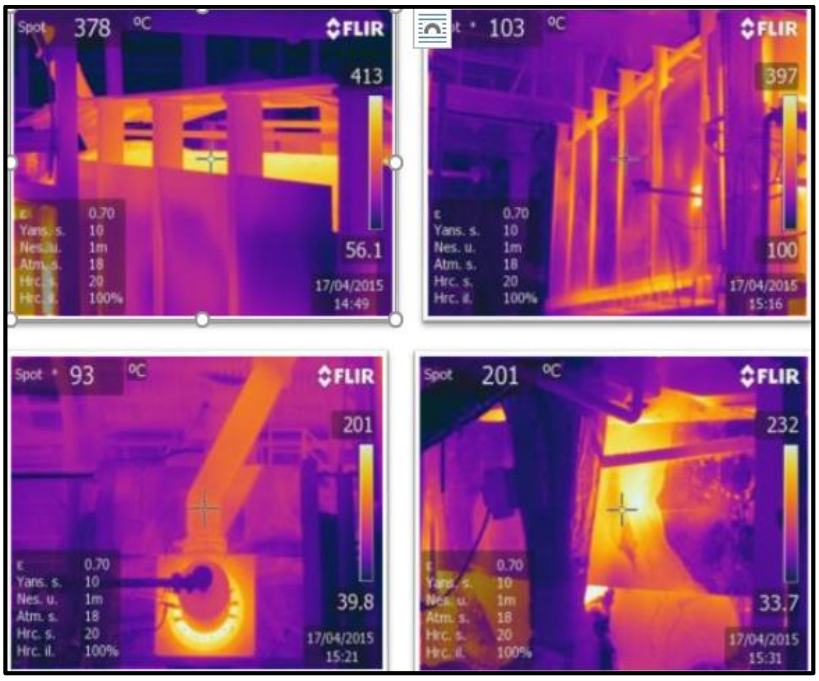
Tablo 4.4. Termal kamera ölçümleri

No	Ekipman Adı	İç Sıcaklık (ºC)
1	1 Nolu Ölçüm Noktası	330
2	2 Nolu Ölçüm Noktası	260
3	3 Nolu Ölçüm Noktası	310
4	4 Nolu Ölçüm Noktası	330
5	5 Nolu Ölçüm Noktası	290

Tablo 4.4. (Devam) Termal kamera ölçümleri

6	6 Nolu Ölçüm Noktası	310
7	7 Nolu Ölçüm Noktası	340
8	8 Nolu Ölçüm Noktası	310
9	9 Nolu Ölçüm Noktası	450
10	10 Nolu Ölçüm Noktası	400
11	11 Nolu Ölçüm Noktası	100
12	12 Nolu Ölçüm Noktası	150
13	13 Nolu Ölçüm Noktası	100
14	14 Nolu Ölçüm Noktası	80
15	15 Nolu Ölçüm Noktası	150
16	16 Nolu Ölçüm Noktası	80
17	17 Nolu Ölçüm Noktası	100
18	18 Nolu Ölçüm Noktası	400
19	19 Nolu Ölçüm Noktası	280
20	20 Nolu Ölçüm Noktası	330
21	21 Nolu Ölçüm Noktası	130
22	22 Nolu Ölçüm Noktası	200
23	23 Nolu Ölçüm Noktası	350
24	24 Nolu Ölçüm Noktası	100
25	25 Nolu Ölçüm Noktası	450
26	26 Nolu Ölçüm Noktası	200

Ölçümler sırasında elde edilen bazı termal kamera resimleri Şekil Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.10. Termal kamera resimleri

Termal kamera ile yapılan ölçüm sonuçlarını incelediğimizde, fırın yüzeyinden dışarı radyasyonla ısı transferinin besleme kapağı, ölçüm cihazları bağlantı yerleri ve frit boşaltım hattında olduğu gözlenmiştir. Fırın içi sıcaklığının yeterli ve üretimin verimli olduğu göz önüne alınarak mevcut izolasyon kayıplarının önlenemez olduğu kabul edilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları incelendiğinde; izolasyon kayıplarının gidermek için yapılabilecek duvar yalıtımlarında fırın veriminin artması ile fırın içi sıcaklığın yükselmesi sonucu fırın duvarlarında termal aşınmalara sebep verebileceği belirtilmektedir. Bunun yanında İzolasyonun düşük olduğu durumda ise fırın içi ısıl denge daha sabit, ürün kalitesinin arttığı fakat üretim hızının düşeceği tahmin edilmektedir. Mevcut durumda izolasyon kayıplarının optimum seviyede olduğu ve herhangi bir izolasyon çalışmasına ihtiyaç duyulmadığı kabul edilmiştir.

4.3. Hesaplamalar

Mevcut fırınlarda yakma havası baca gazı atık ısısı ile ön ısıtma işlemine tabii tutulmaktadır. Fakat yapılan ölçümler reküperatör ısı transferinin yeterli olmadığını göstermektedir. Mevcut reküperatörün yüzey alanı küçüktür ve atık ısıdan tam manasıyla faydalanılamamaktadır. Fırın bacasına mevcut reküperatör sonrası ek bir reküperatör eklenmesi sonrası atık ısıdan daha fazla fayda sağlanacaktır.

Reküperatör seçimi yapılırken ek reküperatörü koyacağımız alan, reküperatör verimi ve atık gaz debisi dikkate alınmıştır. Reküperatör hesaplamalarında Denklem (4.1) ile yapılmıştır,

$$Q = \dot{m} \times (c_{pg}°C \times T_g) - (c_{pç}°C \times T_ç) \quad (4.1)$$

$\dot{m}$= Baca gazı debisi, (kg/h),

c_{pg}°C= reküperatör girişinde atık baca gazın ısınma ısısı (kJ/kg.K)

$c_{pç}$°C= reküperatör çıkışında atık baca gazın ısınma ısısı (kJ/kg.K)

T= Sıcaklık °C

Baca gazı analizlerinde ölçülen egzoz gazı molekül içeriği ve baca gazı sıcaklıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Her fırın için ısınma ısısı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Fırınlarımız 1 yılda 7000 saat çalışmaktadır.

Fırınları ısıtmak için kullanılan 1 kWh Doğalgaz 0,087 TL'dir.

1 kWh Doğalgaz: 0,234 kg eşd. CO2 Salınımı

Reküperatör sonrası atık ısıdan daha çok faydalanmak için tasarlanan Atık Isı Kazan hesapları Denklem (4.2) ile yapılmıştır,

$$Q = \dot{m} \times (h_ç - h_g) \quad (4.2)$$

$\dot{m}$= Baca gazı debisi, (kg/h)

$h_ç$=çıkan doygun buharın entalpisi (kj/kg)

h_g= giriş sıcaklığındaki buharın entalpisi (kj/kg)

4.3.1. Atık ısı geri kazanımı

Mevcut fırınlarda yakma havası baca gazı atık ısısı ile ön ısıtma işlemine tabii tutulmaktadır. Fakat reküperatör ısı transfer yüzey alanı küçük olduğundan dolayı atık ısıdan tam manasıyla faydalanılamamaktadır. Fırın bacasına mevcut reküperatör sonrası yeni bir reküperatör eklenmesi ile atık ısıdan daha fazla faydalanması sonucu kazanılacak ısı miktarı hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. Seramik fırınların atık ısı hesaplamaları

	Baca Gazı Debisi		Baca Gazı Sıcaklığı	Uygulama Sonrası Baca Gazı Sıcaklığı	Isınma Isısı	Atık Isı Miktarı	Enerji Kazancı	Mali Kazanç	Yatırım Maliyeti	BGÖS	CO_2
	(kg/h)	(˚C)	(˚C)	(˚C)	(kJ/kg.K)	(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	(ton CO_2/ kWh)
Seramik Fırın-1	3.729,30	377	800	600	1,3247	274,46	1.921.220,00	167.146,14	435.796,92	2,61	449,57
Seramik Fırın-2	3.985,89	487	800	600	1,3276	293,98	2.057.860,00	179.033,82	435.796,92	2,43	481,54
Seramik Fırın-3	1.013,28	466	800	600	1,3272	74,71	522.970,00	45.498,39	435.796,92	9,58	122,37
						643,15	4.502.050,00	391.678,35	1.307.390,76	3,34	1.053,48

Tablo 4.6. Emaye fırınların atık ısı hesaplamaları

	Baca Gazı Debisi	Yakma Havası Sıcaklığı	Baca Gazı Sıcaklığı	Uygulama Sonrası Baca Gazı Sıcaklığı	Isınma Isısı	Atık Isı Miktarı	Enerji Kazancı	Mali Kazanç	Yatırım Maliyeti	BGÖS	CO_2
	(kg/h)	(˚C)	(˚C)	(˚C)	(kJ/kg.K)	(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	(ton CO_2 /kWh)
Emaye Fırın-1	3.424,53	212	620	420	1,2539	238,56	1.669.920,00	145.283,04	435.796,92	3,00	390,76
Emaye Fırın-2	3.092,27	375	700	500	1,2824	220,31	1.542.170,00	134.168,79	435.796,92	3,25	360,87
Emaye Fırın-3	2.737,46	185	580	380	1,2506	190,19	1.331.330,00	115.825,71	435.796,92	3,76	311,53
Emaye Fırın-4	1.844,00	176	580	380	1,2586	128,94	902.580,00	78.524,46	435.796,92	5,55	211,20
Emaye Fırın-5	1.913,74	418	812	612	1,3021	138,44	969.080,00	84.309,96	435.796,92	5,17	226,76
Emaye Fırın-6	3.345,13	520	741	641	1,3084	121,58	851.060,00	74.042,22	435.796,92	5,89	199,15
Emaye Fırın-8	2.693,48	275	710	510	1,2946	193,72	1.356.040,00	117.975,48	435.796,92	3,69	317,31
						1.310,59	9.174.130,00	798.149,31	3.486.375,36	4,37	2.146,75

4.3.2. Atık ısı kazanı

Emaye ve seramik fırınlarının atık ısılarının kullanılması ile elde edilebilecek buhar miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen 6 bar'lık buharın satış fiyatı 40 TL/ton olarak kabul edilerek mali tasarruf hesaplanmıştır.

Tablo 4.7. Seramik fırınlarından buhar üretimi hesaplamaları

	Atık Isı Kazanında Kullanılacak Atık Isı Miktarı	Geri Kazanılan Enerji Miktarı	Buhar Basıncı	Buhar Üretim Miktarı	Buhar Üretim Miktarı	Buhar Satışı Birim Maliyeti	Mali Kazanç	Alım Bedeli	BGÖS	CO_2
	(kW)	(kWh/yıl)	(barg)	(kg/h)	(ton/yıl)	(TL/ton)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	(ton CO_2 /kWh)
Seramik Fırın-2	552,17	3.865.190,00								904,45
Seramik Fırın-3	140,37	982.590,00								229,93
TOPLAM	1.208,15	8.457.050,00	6	1.769,00	12.383,00	40	495.320,00	672.691,66	1,36	1.978,95

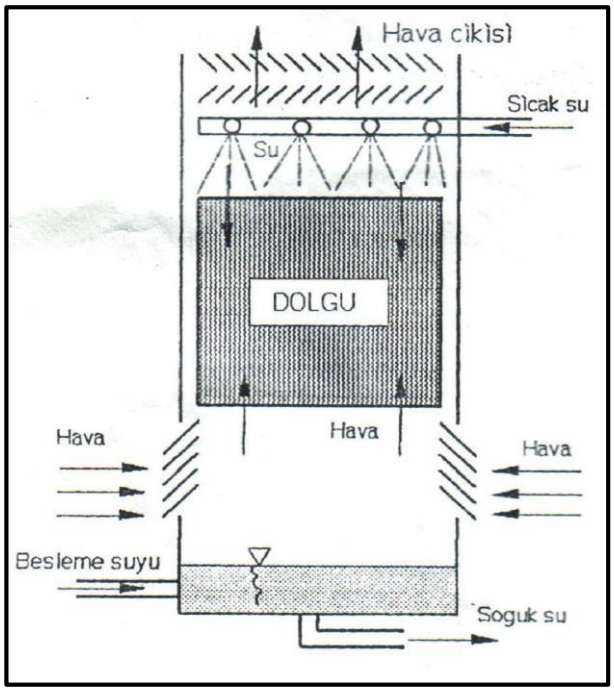
Tablo 4.8. Emaye fırınlarından buhar üretimi hesaplamaları

	Atık Isı Kazanında Kullanılacak Atık Isı Miktarı	Geri Kazanılan Enerji Miktarı	Buhar Basıncı	Buhar Üretim Miktarı	Buhar Üretim Miktarı	Buhar Satışı Birim Maliyeti	Mali Kazanç	Alım Bedeli	BGÖS	CO_2
	(kW)	(kWh/yıl)	(barg)	(kg/h)	(ton/yıl)	(TL/ton)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)	($tonCO_2$ /kWh)
Emaye Fırın-1	292,26	2.045.823,64								478,72
Emaye Fırın-2	350,24	2.451.666,11								573,69
Emaye Fırın-3	198,33	1.388.321,20								324,87
Emaye Fırın-4	134,44	941.072,80								220,21
Emaye Fırın-5	266,08	1.862.529,14								435,83
Emaye Fırın-6	498,41	3.488.851,46								816,39
Emaye Fırın-8	316,58	2.216.028,35								518,55
TOPLAM	2.145,62	15.019.371,70	6	3.181,48	22.270,36	40	890.814,40	1.345.383,3	1,51	3.514,53

5. SOĞUTMA KULELERİ

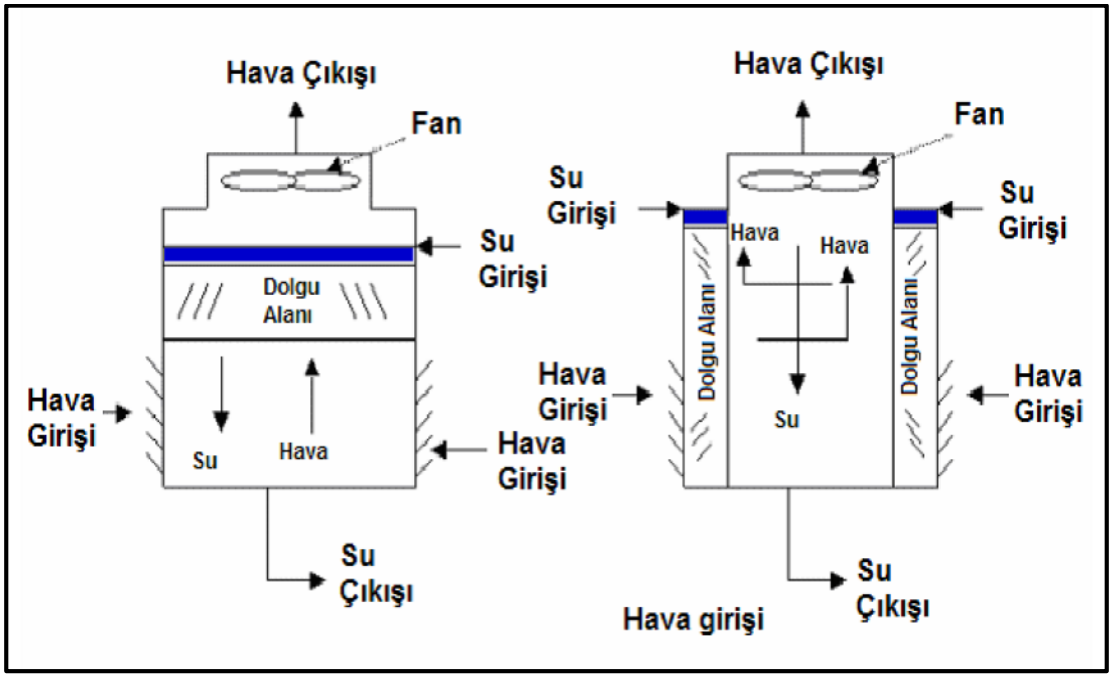
5.1. Sistem ve Ünite Tarifi

Su soğutma kuleleri, sistemden gelen sıcak suyun dolgu üzerine püskürtülmesi ile ısının atmosfere verilerek ortamdan uzaklaşması ile soğuma sağlayan sistemlerdir. Soğutma sistemlerinde kondenselerin soğutma suyu, termik santrallerin kondenselerinin soğutma suyu ve endüstride soğutma yapmak amacıyla kullanılan soğutma suları görevlerini yerine getirmeleri esnasında ısınır, yani sıcaklıkları artar. Bu ısınan sular soğutma kulelerinde soğutularak tekrar kullanılmak üzere kondenselere gönderilir. Ters akımlı soğutma kulelerinde, çevre havası kulenin altından girerek düşen su damlacıklarına zıt yönde akar ve kulenin üstünden çıkar. Hava akımı sıcak su ile temas ederek ısınan havanın yoğunluğunda meydana gelen fark nedeniyle gerçekleşiyorsa doğal çekişli, bir vantilatör yardımıyla sağlanıyorsa zorlanmış çekmeli soğutma kulesi söz konusu olur. Şekil 5.1'de doğal çekmeli bir soğutma kulesinin şeması görülmektedir [39]



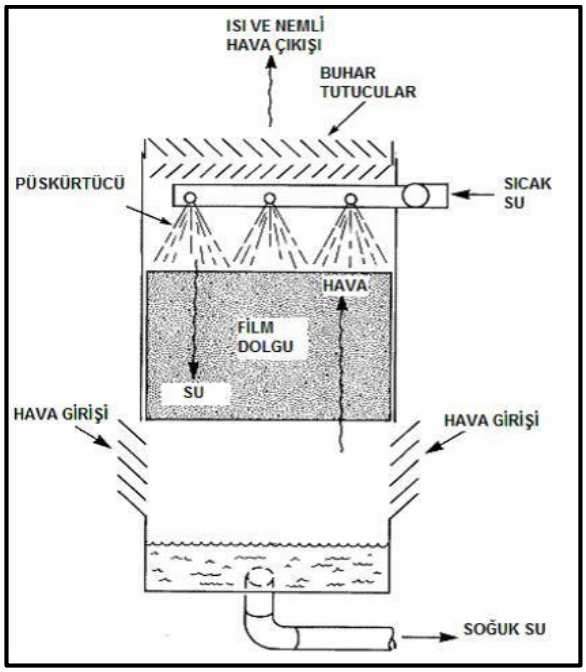
Şekil 5.1. Doğal çekişli soğutma kulesi örneği

Su soğutma kuleleri hava ve suyun akış geometrilerine, kule kapasitesi, su devridaim sistemi ve dolgu tipine göre sınıflandırılabilir. Hava ve suyun akış geometrisine göre karşı akışlı ve çapraz akışlı kuleler iki sınıfa ayrılabilir. Şekil 5.2.'de [39] gösterilmektedir.

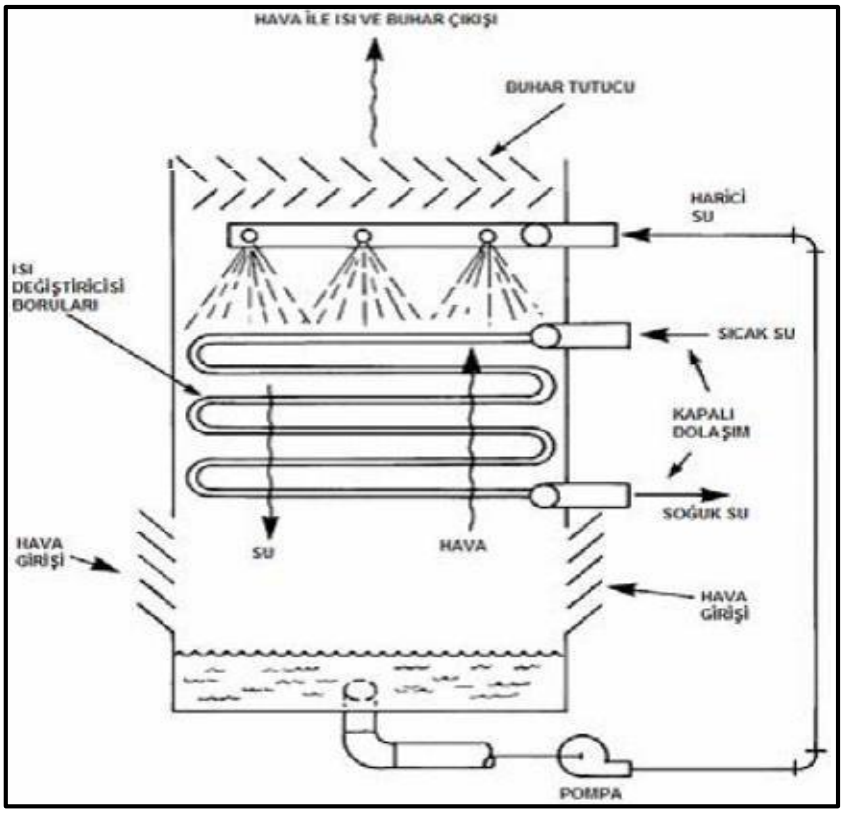


Şekil 5.2. Karşı ve Çapraz akışlı kule tasarımı

Ayrıca su devridaim sistemine göre, açık tip soğutma kulesi ve kapalı tip soğutma kulesi olarak da iki sınıfa ayrılır. Su devridaim sistemine göre Soğutma Kulesi tipleri şekil 5.3 ve şekil 5.4.'de [39] gösterilmektedir;



Şekil 5.3. Açık tip soğutma kulesi

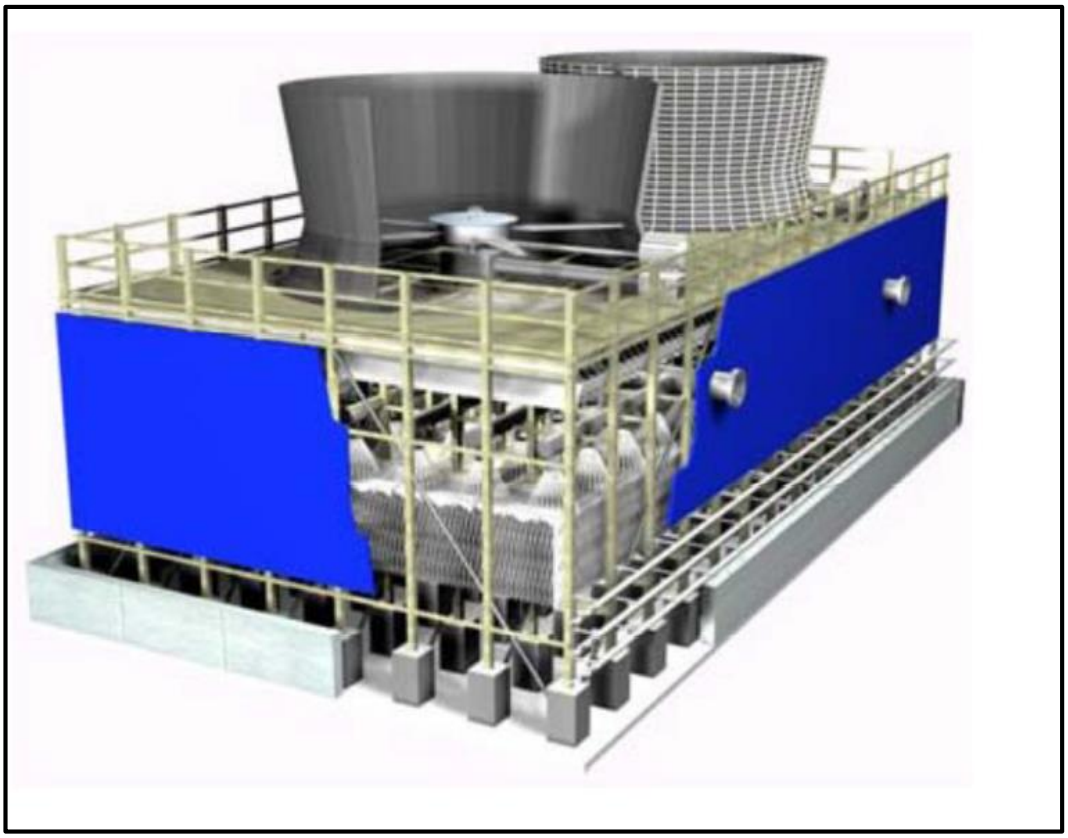


Şekil 5.4. Kapalı tip soğutma kulesi

Bir soğutma kulesinde çevre havası ile temas haline gelen suyun bir kısmı buharlaşır ve su sıcaklığının düşmesine neden olur. Buharlaşan su, hava içine nem olarak girerek, havanın özgül neminin ve izafi neminin artmasına sebep olur.

Soğutma kulesinde su teorik olarak en fazla giriş havasının yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulabilir. Soğutma kulesi ne kadar etkili ise pratikte yaş termometre sıcaklığına o kadar yaklaşılabilir. Pratikte su sıcaklığı giriş havasının yaş termometre sıcaklığının 4°C veya 5°C üzerindeki sıcaklığa kadar soğutulabilir. Soğutma kulesinin su havuzuna, buharlaşan su miktarına eşit miktarda besleme suyu ilave edilmelidir. İlave edilen su miktarı (buharlaşan su miktarı) üzerinden enerji denkliği yapılır [39].

Frit soğutma kulesinden elde edilen soğutma suyu fırından ergiyik olarak çıkan friti parçalara ayırarak soğutmaktadır. Frit soğutma kulesi dizayn örneği Şekil 5.5'de [40] verilmiştir. Soğutma Kulesi uygulama örneği Şekil 5.6.'da gösterilmektedir [41] .



Şekil 5.5. Soğutma kule dizayn örneği



Şekil 5.6. Soğutma kulesi uygulama örneği [41]

5.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

Seramik ve Emaye Kulelerinde ultrosonik debimetre ile soğutma suyu debileri, mevcut termometreler ile giren su-çıkan su sıcaklıkları ve nem ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Soğutma kuleleri ölçümleri

	Soğutma Suyu Debisi	Kule Giriş Sıcaklığı	Kule Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Atmosfer Sıcaklığı	Basınç	Nem
	(m^3/h)	(˚C)	(˚C)	(˚C)	(˚C)	hpa	%
Seramik Soğutma Kulesi	109,8	48	27,5	20,5	23,9	1.018,2	30
Emaye Soğutma Kulesi	290	39,6	34,6	5,0	19,6	1.018,2	44,4

2 adet soğutma kulesinde yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda bu iki kulenin soğutma kapasiteleri hesaplanmış ve emaye soğutma kulesinin, oldukça verimsiz çalıştığı tespit edilmiştir. Normal standartlarda çalışma kuleleri sıcaklığının 10°C ile 20°C sıcaklık farkına kadar soğutma yapabilmektedirler. Emaye soğutma kulesinin aynı gücü sistemden harcayacak fakat daha az debi ile daha iyi bir soğutma verimine ulaşılabilecek bir kule ile değiştirilmesi planlanmıştır. Mevcut ve sonradan alınacak kuleler açık tip, çapraz akışlı ve fan yardımı ile hava çekişi sağlayan soğutma kuleleridir. Emaye soğutma kulesinin uygulama öncesi ve sonrası ölçümleri tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Emaye soğutma kulesi ölçümleri

Emaye Soğutma Kulesi	Soğutma Suyu Debisi	Kule Giriş Sıcaklığı	Kule Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı
	(m^3/h)	(˚C)	(˚C)	(˚C)
Mevcut Durum	290	39,6	34,6	5
Uygulama Sonrası	150	39,6	29,95	9,65

5.3. Hesaplamalar

Soğutma kulesi hesaaplamaları Denklem (5.1) yardımı ile yapılmıştır,

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (5.1)$$

Q= Soğutma için harcanan güç (kW)

m= suyun debisi (m3/h)

c=ısınma ısısı

Δt= sıcaklık farkı

Soğutma kulesinde fan ve pompa enerji tüketimi için harcanan 1 kWh Elektrik maliyeti 0,2100 TL alınmıştır.

Soğutma kulelerine ait sıcaklık, performans, fan-pompa enerji tüketimi, kapasites ve buharlaşma kayıpları Tablo 5.3'de, Emaye soğutma kulesi ile ilgili hesaplamalar Tablo 5.4'de verilmiştir.

Soğutma kulelerine ait sıcaklık, performans, fan-pompa enerji tüketimi, kapasites ve buharlaşma kayıpları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Soğutma kuleleri ile ilgili hesaplamalar

	Yaş Termometre Sıcaklığı	Performans	Fan Enerji Tüketimi	Pompa Enerji Tüketimi	Soğutma Kulesi Kapasitesi	Soğutma Kulesi Kapasitesi	Etiket Kapasitesi	Buharlaşma Kaybı
	(˚C)	%	(kW)	(kW)	(kW)	(kcal/h)	(kcal/h)	(m³/h)
Seramik Soğutma Kulesi	13,6	59,59	32		2.619,80	2.254.127,87	2.430.000,00	3,44
Emaye Soğutma Kulesi	13	18,80	60		1.687,64	1.452.079,35		2,22

Tablo 5.4. Emaye soğutma kulesi ile ilgili hesaplamalar

	Yaş Termometre Sıcaklığı	Performans	Fan Enerji Tüketimi	Pompa Enerji Tüketimi	Soğutma Kulesi Kapasitesi	Enerji Tasarruf Miktarı	Tasarrufun Mali Değeri	Yatırım Maliyeti	CO2
	(˚C)	%	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(tonCO_2 /kWh)
Mevcut Durum	13	18,80	60,00		1.687,64	229.442,40	48.182,90	121.771	141,56
Uygulama Sonrası	13	36,28	31,03		1.684,73				
TASARRUF			28,97						

Emaye soğutma kulesinin değiştirilmesi ile yapılacak yatırımın amortisman süresi 2,5 yıl olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Frit üretiminde basınçlı hava sistemi, fırınlar ve soğutma kulelerinde yapılan ölçümler ve çalışmada ele alınan başlıca enerji verimliliği uygulamaları aşağıda sunulmuştur.

1. Basınçlı hava kaçaklarının azaltılması ile sağlanan enerji tasarrufu 334.628,19 kWh/yıl, kaçaklar giderilerek yılda 70.271,92 TL'lik mali tasarruf sağlanabilmekte, yatırımın mali tutarı 6.000 TL ve basit geri ödeme süresi 0,09 yıldır.
2. Kompresör set basınç değerinin düşürülmesi ile yıllık 282.240,00 kWh enerji tasarrufu ve 54.930,96 TL mali tasarruf sağlanır. Bu proje için yatırım maliyeti bulunmamaktadır.
3. Mevcut kompresörlerin daha verimli kompresörlerle değiştirilmesi ile 282.240,00 kWh/yıl enerji tasarrufu, 59.270,40 TL/yıl mali tasarruf sağlanabilmekte, yatırımın mali tutarı 487.084,00 TL ve basit geri ödeme süresi 8,22 yıl'dır.
4. Fırın çıkışlarına ek reküperatör konulması ile sağlanan enerji tasarrufu seramik fırınlarında 4.502.050,00 kWh/yıl, 391.678,35 TL/yıl mali tasarruf, yatırımın mali tutarı 1.307.390,76 TL ve yatırımın basit geri ödeme süresi 3,34 yıldır. Emaye fırınlarından ise 9.174.130,00 kWh/yıl, 798.149,31TL/yıl mali tasarruf, yatırımın mali tutarı 3.486.375,36 TL ve yatırımın basit geri ödeme süresi 4,37 yıldır.
5. Emaye ve seramik fırınlarının atık ısılarının kullanılması ile elde edilebilecek buhar ile seramik fırınlarından enerji tasarrufu 8.457.050,00 kWh/yıl, mali tasarruf 495.320,00 TL/yıl, yatırımın mali tutarı 672.691,66 TL ve yatırım basit geri ödeme süreci 1,36 yıldır. Emaye fırınlarından elde edilecek buhar ile enerji tasarrufu 15.019.371,70 kWh/yıl, mali tasarruf 890.814,40 TL, yatırımın mali tutarı 1.345.383,31 TL ve basit geri ödeme süresi 1,51 yıldır.
6. Fırın yüzeylerinde oluşabilecek izolasyon taramaları yapılmış olup, izolasyon yapmanın mümkün olmadığı ve önlenemeyen ısı kayıpları gösterilmiştir.

7. Mevcut soğutma kulelerinden emaye soğutma kulesi yetersiz bulunup daha verimli soğutma kulesi ile değiştirilmesiyle 229.442,40 kWh/yıl enerji tasarrufu, 48.182,90 TL/yıl mali tasarruf, yatırımın mali tutarı 175.793,00 TL ve basit geri ödeme süresi 3,65 yıldır.
8. Bu çalışmada yapılan enerji analizine bakıldığında atık ısıların kullanılması ile elde edilecek enerji kazanımının en yüksek olduğu, mevcut kompresörün set basınç değerinin 6 bar'a düşürülmesinin, herhangi bir yatırıma ihtiyaç duyulmadan kazanç sağlanabileceği görülmektedir.

Üretim aşamasında enerji kullanımı yüksek olan alanlarda yapılacak enerji analizleri ve zamanında yapılacak müdahaleler sayesinde sanayide enerji yoğunluğunu düşürmenin mümkün olduğu belirlenmiştir. Ekipman değişikliği yaparken enerji verimi yüksek ekipmanlar tercih edilmesi ile üretilen her bir ürünün maliyetinde düşme sağlanacağı görülmüştür. Yapılan enerji çalışmalarının sadece enerji ve mali kazanç sağlamadığı aynı zamanda sera gazı etkisine sahip gazların salınımında ciddi oranda azalmalar sağlayacağı gözler önüne serilmiştir.

Sonuç olarak, gereksinimlerin doğru belirlenmesi, mevcut düzenin eksikliklerinin giderilmesi ve zamanında yenileme çalışması enerji verimliliğini, doğaya atılma potansiyeli olan atığın atılmayarak kaynağında emisyonun azaltılması, dolayısıyla üretimde karlılığı ve dış piyasada hem çevreci hem uygun fiyatlı ürünler sunma imkanı ortaya çıkarmaktadır. Sanayi bazında yapılacak her enerji çalışmasının hammadde üretimindeki enerji yoğunluğunu düşürülmesi ve ürünlerin üretimi açısından enerji kullanımıyla dünyaya verilen zararın en aza indirilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Eral İ.M., Aybar E., Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu Yönetici Özeti, *Tübitak - TTGV Bilim - Teknoloji - Sanayi Tartışmaları Platformu,* 8-10, 2016.

[2] Nezu R., OECD, Measuring Productivity OECD Manual, Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth, 2001; http://www.oecd.org/dataoecd/59/29/2352458.pdf (Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2012).

[3] Koç, E., Kaplan, E., Dünyada ve Türkiye'de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi,* 2008, **187,** 70-80.

[4] Koç, E., Kaplan, E., Dünyada ve Türkiye'de Genel Enerji Durumu-II Dünya Değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi,* 2008, **188,** 106-118.

[5] Erdoğan M., Sektörel Enerji Tüketim İstatistikleri 2014, TUİK, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21587, (Ziyaret tarihi: 25 Mayıs 2016).

[6] Eral İ.M., Aybar E., Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu-Alt Grup Raporu, *Tübitak - TTGV Bilim - Teknoloji - Sanayi Tartışmaları Platformu,* 37-38, 2016.

[7] Ballık T., Gizem Frit Söyleşi, *Seramik Türkiye Dergisi*, Temmuz- Eylül 2009, **29**, 84-87.

[8] Bilici İ., Seramikler, Hitit Üniversitesi, http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/ibrahimbilici_31.12.2015_8F5R.pdf, (Ziyaret tarihi: 05 Şubat 2016).

[9] Doğan, Ş., *Açıklamalı Seramik Teknolojisi*, 1.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1985.

[10] Stefonov S., Batschwarov S., *Ceramic glazes : chemistry, technology and practical application with 1400 glaze formulae,* Wiesbaden Germany, 1988.

[11] URL 1: http://collections.infocollections.org/ukedu/en/d/Jg17gle/8.3.html. (Ziyaret tarihi: 08 Ekim 2015)

[12] Marinshaw R., Frit Manufacturing Review and Update Remaining Sections of Chapter 8 (Mineral Products Industry), *U. S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park,* AP-42 EPA Contract 68-D2-0159, 11-14, 1998.

[13] URL 2: http://www.machineryandequipment.com/featured/kilns.html. (Ziyaret Tarihi: 03 Aralık 2015).

[14] Yeğinbolu A. *Çimento –Yeni Bir Çağın Malzemesi*, 2.Baskı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 2004.

[15] Norsker H., Danisch J., *Glazes fort he Self Reliant Potter*, 1st edition, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Almanya, 1993.

[16] URL-3: http://www.monografias.com/trabajos14/el-vidrio/el-vidrio.shtml (Ziyaret tarihi: 30 Haziran 2017).

[17] Kıvılcım İ., 2020'ye Doğru Kyoto –Tipi İklim Değişikliği Müzakereleri, *İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları,* Yayın No: 268, İstanbul, Aralık 2013.

[18] URL-4: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/01/20130125-35-1.pdf (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2016).

[19] Ciacco F.S.E., Rocha R.J., Coutinho R.A, The Energy Consumption in The Ceramic Tile İndustry in Brazil, Zhao T.S., *Applied Thermal Engineering,*V113, Elsevier, Brazilya, 1283-1289, 2017.

[20] Galán-Arboledas R.J., Álvarez De Diego J., Dondi M., Bueno S., Journal Of Cleaner Production, Energy, Environmental And Technical Assessment for The İncorporation of EAF Stainless Steel Slag İn Ceramic Building, Materialsklemeš J.J., Lozano R., *Journal Of Cleaner Productio*n,2016, **142**(1), 1778–1788.

[21] Gabaldon-Estevan D., Mezquita A., Ferrer S., Monfort E., Unwanted Effects of European Union Environmental Policy to Promote A Post-Carbon İndustry. The Case of Energy in The European Ceramic Tile Sector, Materialsklemeš J.J., Lozano R., *Journal Of Cleaner Productio*n, 2016, **117**(1), 41-49.

[22] T.S. Possamai, R. Oba, V.P. Nicolau, Numerical and experimental thermal analysis of an industrial kiln used for frit Production, Zhao T.S., *Applied Thermal Engineering,* 2012, **48**(1), 414-425.

[23] Karataş M.A., Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basınçlı Hava Denetleme Çalışması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2012, **36**(132), 19-26.

[24] Erçetin Ü., Fırınların İlave Yalıtımla Enerji Tüketimlerinin Azaltılması, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **22**(3),101-111.

[25] URL-5: http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2Fdocuments %2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf (Ziyaret tarihi: 23 Mart 2017)

[26] Çiftçi Ü., *Basınçlı Hava Tesisatı ve Kompresörler*, 343, Yapım Tanıtım Yayıncılık, İstanbul, 2005.

[27] Dizon R.D., Navy Engineman 2, http://www.hnsa.org/wp-content/uploads/2014/07/engineman2.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2017).

[28] URL-6: http://www.epiflow.com/thermal-mass-flow-meters-compressed-air.php (Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2017)

[29] Delvaux N., *Atlas Copco Compressed Air Manual*, 8th ed., Atlas Copco Airpower NV, Belgium, 2015.

[30] Karaca Makina Hırdavat San. ve Tic. Ltd. Şti, *Basınçlı Hava Sistemleri Kılavuzu*, İstanbul, 2016.

[31] URL-7: http://www.uesystems.com/products/digital-ultrasound-detectors/up 3000 (Ziyaret tarihi: 3 Nisan 2016).

[32] Kaya D., Öztürk H., *Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği*, 1. Baskı Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 2014.

[33] URL-8: https://victoryenergy.com/enhanced-heat-recovery/explorer-series/ (Ziyaret tarihi: 7 Eylül 2016).

[34] URL-9: http://www.optimus-tulsa.com/hrsg.htm (Ziyaret tarihi: 3 Şubat 2017).

[35] Üçüncü K., Enerji Yönetimi Ders Notları, aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=154&USER=4049 (Ziyaret tarihi: 9 Eylül 2016).

[36] Güngör A., Bazı Isı Değiştiricilerle Geri Kazanım Sistemleri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 1993, 11, 21

[37] URL-10: http://termo enerji.com/en/rekupurator_imalati_atik_gaz_ degerlendirme_sistemleri.html (Ziyaret tarihi: 3 Şubat 2017).

[38] URL-11: http://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_mehmet-kanoglu-enerji-verimliligi-ornek-projeleri.pdf (Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2017).

[39] URL-12: http://kocaelimakine.com, (Ziyaret tarihi: 27 Mart 2015).

[40] Tütüncü G., Çimento Sektöründe Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin Termodinamik İncelemesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2016, **18**(53), 205-223

[41] URL-12: http://www.yolyapi.com.tr/tr/Urunlerimiz/PaketTipKuleler, (Ziyaret tarihi: 01 Ekim 2017).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **GÜVENÇ Ş. G.**, Frit Üretim Fabrıkasında Enerji Verimliliği Çalışması, *IV. Enerji Verimliliği Kongresi*, TMMOB Makine Mühendisliği Odası, Kocaeli, 13-14 Ekim 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İskenderun Hatay'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Bursa'da, Lise öğretimini ise Kocaeli'nde tamamladı. 2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2010-2016 yılları arasında İSU Genel Müdürlüğü Projeler Daire Başkanlığında Proje Mühendisi olarak görev yaptı. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği'nde yüksek lisansa başladı. 2016 yılından itibaren Ordu Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığında görev yapmaktadır. Evli ve 1 çocuk annesidir.