

**YARI EBERHART TİPİ KİREÇ FIRINLARININ
MODİFİKASYONUNUN ÜRETİM ENERJİSİ, YAKIT EKONOMİSİ
VE HAVA KİRLİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Evin Uğur YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2010

ANKARA

Evin Uğur YILDIRIM tarafından hazırlanan YARI EBERHART TİPİ KİREÇ FIRINLARININ MODİFİKASYONUNUN ÜRETİM ENERJİSİ, YAKIT EKONOMİSİ VE HAVA KİRLİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç.Dr. Hüseyin TOPAL

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Hüseyin TOPAL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Beril Akın SALMAN

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 05 / 07 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Evin Uğur YILDIRIM

**YARI EBERHART TİPİ KİREÇ FIRINLARININ MODİFİKASYONUNUN
ÜRETİM ENERJİSİ, YAKIT EKONOMİSİ VE HAVA KİRLİLİĞİ
AÇISINDAN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Evin Uğur YILDIRIM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2010**

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde yaygın olarak kullanılan yarı Eberhart tipi (yamaç türü) kireç fırınlarında yapılacak çeşitli iyileştirmelerle, fırınların çevreye verdikleri zararı en aza indirmek, emisyon salınımını sınır değerler içinde tutmak ve aynı zamanda minimum yakıt tüketimiyle birlikte kullanılan enerjiyi maksimize etmektir. Bu amaçla; çalışma alanı olarak Eberhart türü kireç fırını kullanan bir firma seçilmiş ve deneysel olarak çalışılmıştır.

Deneysel çalışma öncesinde firmaya ait kireç ocaklarında bazı yapısal değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler arasında yakma havası kontrolü ve özel kanallarla bir yanma bölgesinin oluşturulması ile otomatik kontrollu baca gazı rejenerasyonu yer almaktadır. Baca gazı sürekli şartlarda ölçülerek yakma havası fanlarının debilerinin ayarlanması sağlanmıştır. Yapılan deneylerdeki baca gazı ölçümleri ve emisyon ölçüm sonuçları, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir. Baca gazı hızı, karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), azotoksitler (NO_x), toz konsantrasyonu ve ısılık değerleri yönetmelikte verilen sınır değerleri

sağlamıştır. Sonuç olarak tesiste emisyon salınımlarının iyileştirilmesi için yapılan tüm çalışmalarla birlikte, tesis emisyon sınır değerlerini sağlamıştır.

Uygulanan modifikasyonlar sonucunda üretim hızında % 33 lük bir artış elde edilmiştir. Bu artışın nedeni, sürekli ve kontrollü olarak bir yakma havası fanı kullanılması sonucu daha hızlı biçimde yakıtın yakılmasıdır. Yakıtın hızlı yanması doğal hava akışı ile olan yanmaya kıyasla üretimin birim zamanda daha fazla yapılabilmesi sonucunu doğurmuştur.

Bilim Kodu : 903.1.054
Anahtar Kelimeler : Kireç, kireç fırınları, Eberhart, hava kirliliği
Sayfa Adedi : 68
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

**INVESTIGATING THE EFFECTS OF MODIFICATIONS TO SEMI
EBERHART TYPE KILNS ON PRODUCTION ENERGY, FUEL ECONOMY
AND AIR POLLUTION
(M. Sc. Thesis)**

Evin Uğur YILDIRIM

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE**

July 2010

ABSTRACT

The aim of this study is making improvements to a widely used type of kiln in Turkey so that the hazardous environmental effects are minimized, emissions are kept in permissible range, fuel consumption is minimized while energy output of the burned fuels are maximized. To this objective, a company using semi Eberhart type kiln is chosen for this experimental study. Some structural modifications were introduced in the kiln prior to the experimental work.

These modifications include air flow control, creation of a special combustion chamber where hot air is blowed through special and kiln gas regeneration using automatic control system. Air flow rates were adjusted through fans by periodical monitoring of the flue gases. Emission measurements taken during the experiments are evaluated based on the Industrial Air Pollution Regulation. Flue gas speed, carbon monoxide (CO), sulphur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), smoke and aerosol concentration measurements are found to be in the range permitted by the regulation. As a result, regulation limits on the plant emissions have been satisfied after all the work performed to improve the emissions.

Application of the modifications resulted 33% increase in the production rate. The reason for this increase is attributed to the use of air flow fans that blows air in a steady and controlled form so that fuels are burned more rapidly. Rapid burning of fuels when compared to natural air flow burning provides more production rate in unit time.

Science Code : 903.1.054
Key Words : Lime, lime kilns, Eberhart, air pollution
Page Number : 68
Adviser : Assist. Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezimin tüm aşamaları boyunca derin bilgilerinden faydalandığım, sonsuz ilgi ve desteğini aldığım danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL'a,

Tüm çalışmam boyunca manevi desteğini hiç esirgemeyen babam Mehmet İrfan YILDIRIM ve annem İmran YILDIRIM'a,

Tezimin nihai haline kadar tüm aşamalarında vaktini benimle paylaşan ve destek sağlayan arkadaşlarım Sn. Ayhan MOLLA'ya ve Sn. Derya ÇALIŞKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. KİREÇ ÖZELLİKLERİ VE KİREÇ ÜRETİM PROSESİ	9
3.1. Kireç ve Kireçtaşı Özellikleri.....	9
3.1.1. Kirecin fiziksel özellikleri.....	11
3.1.2. Kirecin kimyasal özellikleri	12
3.2. Kireç Kullanım Alanları.....	14
3.3. Kireç Üretim Teknikleri	21
3.3.1. Fırın türleri	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	33
4.1. Tesis ve Seçilen Fırın Özellikleri	34
4.2. Yapısal İyileştirmeler	39
4.3. Test Metodları ve Analiz Cihazları	43
4.3.1. Ölçümde kullanılan cihazlar ve özellikleri	43
4.3.2. Ölçüm standartları ve metodları.....	45
4.4. Üretimde Kullanılan Yakıt Cinsi ve Isıl Değerleri, Yakıt Özellikleri, Yıllık Tüketim Miktarları Hakkında Bilgiler	51
4.5. Ölçümler.....	52

Sayfa

4.5.1. Tesisten kaynaklanan emisyonların yönetmelikteki durumları.....	55
4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	71
EK-1 Tesis mimari projeleri.....	72
EK-2 Tesise ve emisyon kaynaklarına ait fotoğraflar	74
EK-3 Ölçümlerde kullanılan cihazlara ve hesap yöntemine ait belirsizlik analizi ...	77
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sıcaklık değişimi-özellik ısı arasındaki bağıntı	12
Çizelge 3.2. 2001-2002 Yılı kireç tüketiminin gelişmiş ülkelerde sektörel bazda	16
Çizelge 3.3. Kirecin kullanım alanları	17
Çizelge 3.4. Söndürülmemiş kirecin özellikleri	22
Çizelge 3.5. Sönmüş kirecin özellikleri	23
Çizelge 3.6. Çeşitli kireç fırını tiplerinin karşılaştırılması	30
Çizelge 3.7. Kireç yakmada kullanılan yakıtlar	31
Çizelge 4.1. Ölçüm metodları ve cihazlar	45
Çizelge 4.2. Dairesel bacalar için minimum örnekleme noktası sayısı.....	48
Çizelge 4.3. Dairesel bacalarda genel kural (merkez dahil).....	48
Çizelge 4.4. Dairesel bacalarda tanjant kuralı (merkez hariç)	49
Çizelge 4.5. Kirletici kaynaklara ait emisyon ölçümleri.....	54
Çizelge 4.6. Kirletici kaynaktan alınan örneklerin PAH analiz sonuçları	55
Çizelge 4.7. Kütleli debiler	58
Çizelge 4.8. Kütleli debiler	61
Çizelge 4.9. Ölçüm sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırılması	65
Çizelge 4.10. Ölçülen toplam saatlik emisyonlar ve sınır değerler.....	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. 22 ülkedeki 2002 yılı toplam kireç satışlarının (56 milyon ton) sektörel bazda dağılımları.....	16
Şekil 3.2. Kalsinasyon süresinin kireçtaşı ısısına ve dönüşümüne etkisi.....	22
Şekil 3.3. Çalı tipi kireç ocağı.....	25
Şekil 3.4. Eski tip sürekli karışık beslemeli fırın kesiti (birimler mm'dir).....	26
Şekil 3.5. Maerz fırını şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.6. Yüksek kapasiteli dik fırın (150-250 t/gün).....	28
Şekil 3.7. Bir dik fırının şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.1. Ölçüm yapılan tesisin yerleşim planı.....	34
Şekil 4.2. Ölçüm yapılan fırının kesiti	36
Şekil 4.3. Tesiste uygulanan otomasyon sistemi ve elektronik kontrol üniteleri.....	42
Şekil 4.4. Anlık fırın verilerini gösteren bilgi sistemi.....	43
Şekil 4.5. Bacada numune alma hattı ve düzlemi	46
Şekil 4.6. Dairesel bacalarda ölçüm noktalarının düzeni	49
Şekil 4.7. Kirletici emisyonların zamana bağlı değişimleri ve hesaplanmaları	53
Şekil 4.8. Toz emisyon sınırları diyagramı	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
m	metre
MW	Megawatt
ppm	milyonda bir
mg/Nm ³	miligram/normal metreküp
m/s	metre/saniye
kg/h	kilogram/saat
GJ/saat	gigajoule/saat
kW	kilowatt
btu	İngiliz ısı birimi-1btu=252 kalori

Kısaltmalar	Açıklama
SEM	Taramalı elektron mikroskop
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
HKKD	Hava kirlenmesi katkı değeri
HKKY	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
UVS	Uzun vadeli sınır değeri
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
CEN	Avrupa Standartları Kurulu
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici

1. GİRİŞ

Kireç antik çağlardan beri bilinen ve çok yönlü kullanımı olan bir maddedir. Kireç üretiminin hammaddesi kireçtaşıdır. Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan tortul kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Bu kayacın mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunmaktadır. Kireçtaşı saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 ihtiva etmektedir. Ancak tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmamaktadır. İkinci derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeni ile orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kireçtaşının sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı $2,5-2,7\text{g/cm}^3$ arasındadır. Yer altı sularında travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal, organik veya mekanik çökme sonucunda kalker yatakları oluşmaktadır. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kireçtaşı iki ana grupta toplanabilmektedir. Organik ve kimyasal kireçtaşları otokton, klastik kireçtaşları ise allokton olarak kabul edilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, detritik ve kimyasal materyaller ihtiva etmektedir [1].

Yüksek kalsiyumlu kireçtaşları %97-99 CaCO_3 içermektedir. Dolomitik kireçtaşlarında MgCO_3 oranı %43'e kadar yükselebilmektedir. Oluştığı yere, içerdiği safsızlıkların cinsi ve miktarına, kullanım alanlarına göre 40 kadar kireçtaşı cinsi bulunmaktadır [2].

Bunların bazıları; bitümlü kireçtaşı, tebeşir, kimyasal kireçtaşı, demirli kireçtaşı, litografik kireçtaşı, flux kireçtaşı, fosilli kireçtaşı, camtaşı, hidrolik kireçtaşı, mermer, marn, oolitik kireçtaşı, silikatlı kireçtaşı, traverten, silikatlı kireçtaşı olarak sayılabilmektedir [1].

Kirecin kullanımı, çok eski zamanlardan beri öncelikli olarak inşaat sektöründe; ardından ise kimya sektöründe (dezenfektan olarak) olmuştur. 20. yüzyılın başında hızla gelişen kimya ve demir çelik endüstrisi ile çok büyük miktarlarda kireç kullanılmaya başlanmıştır. Kirecin endüstri, tarım ve çevre sektörlerindeki gün

geçtikçe artan kullanımı, kireç üretim yerlerinin yaygınlığının, kullanım yerlerine yakınlığının, üretim teknolojisinin geliştirilmesinin ve bu sayede fiyatının diğer rakip kimyasallara oranla oldukça ucuz olmasının bir sonucudur. Bu nedenle, üretim yöntemlerinde modernleşme ve pazar payı kapma yarışları hızlanmıştır [2].

Açık işletme yöntemi ile üretilen kireçtaşı, çeneli kırıcılarda 20 cm boyutuna kadar indirilmekte ve elekler yardımı ile kum, mıcır (-4 cm) ve fırın taşı olarak tasnif edilmektedir. Dikey şaftlı ve Eberhart tipi kireç fırınlarında daha çok 4-20 cm boyutundaki kireçtaşı fırın taşı olarak alınmak sureti ile tasnif edilmekte; fırında meydana gelebilecek tıkanıklıklar minimuma indirilmekte ve kireçtaşının homojen kalsinasyonu sağlanmaktadır. Ancak yatay (rotary) fırınlarda daha küçük boyutlu kireçtaşları (-4 cm) da kalsine edilebilmektedir [1].

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında yarı eberhart türü kireç fırını kullanan, sönmüş ve sönmemiş kireç üretimi yapan bir kireç fabrikası ele alınmıştır. Kullanılan kireç fırını incelenmiş bu fırının hem yakıt ekonomisi açısından daha verimli olması, hem de çevreye dost üretim yapılabilmesi için gerekli modifikasyonlar ele alınmıştır.

Tezin 2. bölümünde yapılan literatür çalışması yer almaktadır. Kireç fırınlarıyla ilgili ülkemizde ve dünyada yapılan çeşitli araştırmalara bu bölümde değinilmiştir. Bölüm 3'te kireç ve kireçtaşının özellikleri, kirecin kullanım alanları, sönmemiş ve sönmüş kireç üretim teknikleri ve fırın çeşitleri yer almaktadır.

Çalışmaya esas oluşturan fırınlarda yapılan iyileştirme çalışmaları ile kapasitenin artırılması, yakıt ekonomisinin sağlanması ve minimize edilmesi, çevre açısından yanma sırasında oluşan emisyon değerlerinin yönetmelikte belirtilen sınır değerlerde tutulması ve bunlar için yapılan otomasyon çalışmaları ile proses kontrolünün insan faktörü en düşük seviyede tutularak sağlanması amaçlanmıştır. Yapılan yeni düzenlemeler ile yanma kontrol altında tutulmuş olup, baca gazı eksik yanma emisyonları olabildiğince azaltılmıştır. Yapılan emisyon ölçümleri ile deneysel çalışma sonuçları Bölüm 4'de verilmiştir. Son bölümde ise bütün çalışmaların değerlendirilmesi ve önerilere yer verilerek çalışma tamamlanmıştır. Bu çalışmayla

birlikte kullanım sahası gün geçtikçe artan kirecin, çevreye dost ve daha ekonomik bir prosesle üretilmesi yönünde bir adım atılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ülkemizde ve dünyada kireç üretim şekilleri, kireç taşı ve özellikleri, kireç üretiminin sağlık üzerindeki etkileri ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır.

Ö.Kılıç, yapmış olduğu doktora tezinde, klasik Eberhart tipi kireç fırınları ile paralel akışlı Maerz fırınlarının kalsinasyon parametrelerini karşılaştırmış ve bunların Çukurova bölgesi kireçtaşları üzerinde uygulamalarına değinmiştir. Ceyhan yöresi kireçtaşları ve Karaisalı yöresi kireçtaşlarından patlatma sonrasında blok numuneler alınarak, bu numuneler üzerinde, kalitatif mineralojik analiz, porozite ölçümleri, yüzey alanı ölçümleri, kalsinasyon işlemleri, SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuar ölçeğinde farklı sıcaklık değerlerinde pişirilen kireçlerin porozite ve yüzey alanı ölçümleri yapılmış ve en iyi, en reaktif sonuçların 1000 °C’de pişirilen kireç örneklerinden elde edildiği; 1000 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda ise kirecin reaktivitesinin düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca Klasik Eberhart fırınında yapılan iyileştirme çalışmaları ile (fırın izolasyonu, kireçtaşı boyutunun küçültülmesi, hidrolik boşaltma, yakıt ilavesi, desülfürizasyon ünitesi ve bilgisayar kontrolü) fırının en optimum şekilde çalışabileceği belirlenmiştir [1].

M. Anıl ve Ö. Kılıç farklı kalsinasyon ortamlarının kireç üretimi üzerindeki etkilerini incelemiştirlerdir. Birinci aşamada, geleneksel Eberhart fırınlarına hammadde temin edilen Ceyhan kireçtaşlarının ve çift şaftlı Maerz Fırınlarına hammadde temin edilen Karaisalı kireçtaşlarının kimyasal, mekanik, termal özellikleri belirlenmiş ve bulunan değerler SEM incelemeleri ile desteklenmiştir. İkinci aşamada ise, her iki tip kireç fırınında üretilen kireçlerin özellikleri (ölgül yüzey alanı, toplam CaO, KK, T₆₀) belirlenmiş ve örnekler SEM ile de analiz edilmiştir. Ayrıca her iki yöre kireçtaşlarından alınan örnekler geleneksel Eberhart fırınında pişirilmiş ve oluşan kireçlerin özellikleri belirlenerek fırın tipinin kalsinasyon üzerindeki etkisi vurgulanmıştır [2].

M. Parlakyıldız yaptığı yüksek lisans tezinde hammadde bazında ele alınan kirecâsının ihtiyac duyulan sektörler için aranılan özelliklerini incelemiştir.

Kireçtaşı'nın kalitesi olarak değil de kullanım alanına göre fiziksel ve kimyasal içerikleri bakımından değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Yapı, oluşum, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile endüstriyel uygulama platformunda konu içeriğiyle ele alınmış her sektör için temel teşkil eden analiz yöntemleri farklı yönleri ile irdelenmiş sebep-sonuç ilişkisi benimsenerek sonuçlandırılmıştır. Bu çalışmada hammadde olarak kireçtaşı ve ürün olarak kirecin olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, endüstri ve sanayi alanında kullanımı için özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler kaliteli kirecin sanayi ve endüstriyel alanda kullanım kriterlerini belirlemiştir [3].

Yine M. Anıl ve Ö. Kılıç, kireç söndürme şartlarının söndürülmüş kireç kalitesi üzerine etkisini incelemiş olup, söndürme şartları ve farklı su yüzdelерinde söndürölerek üretilen kireçlerin özellikleri arasındaki ilişkiyi gözlemlemişlerdir. Laboratuvar şartlarında 1000 °C'de kalsine edilmiş söndürölmemiş kireçlerin (CaO) ve ağırlıkça farklı su yüzdelерine sahip söndürölmiş kireçlerin (Ca(OH)₂) özellikleri (porozite, özgül yüzey alanı, %aktif CaO, %Ca(OH)₂) belirlenmiştir. Deneyler sonucunda sönmemiş kireci söndürmek için kullanılan kirecin ağırlıkça %50 ve %60'ı kadar suyun çok yetersiz bir söndürme yaptığı ve ağırlıkça %70 suyun ise yeterli söndürme yaptığı görölmüştür. Bununla beraber ağırlıkça %70'lik su ilavesinin zaman zaman kalitesi yüksek kireçte yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Beyazlık deneyleri sonucunda gerek sönmemiş ve sönmüş kireç örneklerinin yüksek derecede beyazlık gösterdiği, bu özellikleri açısından da çok iyi bir kaliteye sahip oldukları tespit edilmiştir [6].

T. Çiçek kireç üretim teknolojisi Türkiye'de kireççilik ve kirecin kullanım alanlarına değinmiş ve Türkiye'de olmayan ancak ölkemizin kalkınması açısından üzerinde durulması gereken bazı teknolojilere örnek vermiştir. Üretim prosesinin basitliği ve tüketicisinin kalite bilincinin gelişmemiş olması neden ile kirecin ölkemizde pek çok kişi veya işletme tarafından denetimsiz bir şekilde üretildiği, bu durumun çevreye ve tüketiciye zarar verdiğini ve en kısa zamanda müdahale gerektiğini vurgulamıştır [9].

Meier v.d endüstriyel kireç üretimi için güneş enerjisiyle çalışan kimyasal bir reaktör geliştirmişlerdir. Dolaylı olarak ısıtılan 10 kW/h'lık çok tüplü döner fırın prototipi ile 1-5 mm arasındaki kireçtaşı partiküllerini işleme tabi tutmuş ve yanma yan ürünleri ile kirlenmemiş, yüksek saflıkta kireç üreteblmişlerdir. Güneş enerjisi ile üretilen kirecin, reaktivite ve kalsinasyon derecesi olarak en yüksek endüstriyel standartları sağladığı görülmüştür. Fosil yakıt yerine güneş enerjisi kullanılmasıyla, CO₂ emisyonlarının kireç üretim tesislerinde % 20, çimento üretiminde ise % 40 oranında azaltılabileceğini tespit etmişlerdir. Ancak bu üretim şekli günümüz üretim şekillerinden daha pahalıya mal olmaktadır [10].

Senegacnik vd. döner yataklı fırının yanma gazlarının yanma çemberinde yeniden dönüştürülerek geri kazanıldığı şekilde modellenerek hava fazlalık katsayısının optimal seviyeye düşürülmesi üzerine çalışmışlardır. Kireç yakmak için kullanılan bazı eski tip döner yataklı fırınların işletimi sırasında karşılaşılan güçlüklerden biri de fırının en uygun hava fazlalık katsayısında nasıl işletileceğidir. En uygun hava fazlalık katsayısında işletim durumunda yanma odasında oluşan aşırı yüksek sıcaklıklar nedeniyle alevlerin daha yüksek miktarlarda ikincil soğuk hava beslemesi kullanılarak soğutulması gerekmektedir. Bu durum fırından çıkan egzoz gazlarından (yığın kayıpları) daha yüksek miktarda ısı kaybına neden olmakta, dolayısıyla daha yüksek yakıt tüketimi ve düşük fırın verimine yol açmaktadır. Kireç yanması sırasında hava fazlalık katsayısının artırılmasının etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yanma odasındaki sıcaklıkların izin verilen sınırlar içinde kalması sağlanırken yığın kayıpları da azaltılmaktadır ki bu aynı zamanda kireç üretimi sırasındaki enerji tüketiminin düşürülmesi anlamına gelmektedir [12].

U. Topçu yüksek lisans tez çalışmasında, kireç fabrikası atıklarındaki yanmamış karbonun geri kazanımını flotasyon yöntemi kullanarak araştırmıştır. Kireç fabrikası atıklarının (petrokok) içerisinde bulunan yanmamış karbon tespiti için gerekli analizler yapılmıştır [14].

Kocabıyık v.d. kireç üretiminde petrokok kullanımı sonucu açığa çıkan SO₂ emisyonunu ıcelemişlerdir. Bu çalışmada modern kireç fırınlarında, yakıttaki

kükürdün atmosfere atılıp atılmadığını teorik ve deneysel olarak incelemiş olup, incelemeyi dört tip kireç fırınında yapmışlardır. İnceleme sonucunda, yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan SO₂'nin, üretilen kireç tarafından tutulabildiği, bu nedenle modern kireç fırınlarında yüksek kükürtlü yakıtlar kullanmanın hava kirliliği açısından bir sakıncası olmadığı görülmüştür [15].

Yine T. Çiçek, Özüre Kimtaş A.Ş.'ye ait kireç fırınlarının modernizasyonu üzerine A. Akıyar, V. Gülgü ve N. Öztüre ile çalışmıştır. Bu çalışmada, Öztüre şirketler gurubuna ait Urla/İzmir Kimtaş A.Ş. kireç fabrikasındaki iki eski tip kireç fırının modernizasyon çalışmalarını ve bu çalışmaların fırın kapasitesi, kireç kalitesi, üretim maliyeti ve fırın emisyon değerleri üzerine olan etkilerini ele almışlardır. Burada yapılan modernizasyon çalışmalarında temel olarak, fırın üretim kapasitesinin artırılması, fırınlarda her türlü mikronize katı yakıt kullanılmasının sağlanması ve özgül yakıt sarfiyatının düşürülmesi, kireç kalitesinin iyileştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması, fırınlarda proses otomasyonunun sağlanması ve proses kontrolünde insan faktörünün en az seviyeye indirgenmesi ve fırınlardan çıkan zararlı emisyonların en düşük seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak yakıt sarfiyatında % 25'lik bir düşüş sağlanırken, toz emisyon oranında % 75, karbonmonoksit oranında % 90, kükürt dioksit emisyonunda ise % 100'lük bir düşüş sağlanmıştır [17].

Godoi vd. Kireç üretiminden kaynaklanan emisyonların ve serpintilerin insanların solunum sistemi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Colombo şehrinde, kireç endüstrisinin etkilerine maruz kalan işçiler ve nüfus üzerinde sağlığa zararlı etkileri olduğunu ortaya koyan, kireç üretimi ile yerel hastanelerde solunum tedavisi gören hasta sayıları arasında karşılıklı bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Bu araştırma ilk olarak kireç endüstrisinden yayılan parçacıkların büyüklük dağılımı ve kimyasal bileşiminin karakterize edilmesi ve ardından solunan dolomit kireç aerosol parçacıklarının insan solunum sisteminde birikme oranını belirlemek için yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları dolomit kireç üretimi sırasında yayılan ince taneli ve iri taneli parçacıkların oluşturduğu tehdiye yönelik kanıtlar sunmakta böylece karar vericilerin bu tehdidin etkilerinin etkin bir şekilde azaltılmasına yönelik stratejilere

yönelmesine, aynı zamanda dolomit kireç üreticilerinin daha gelişmiş emisyon kontrollerini uygulamaya koymanlarına imkan vermektedir [18].

3. KİREÇ ÖZELLİKLERİ VE KİREÇ ÜRETİM PROSESİ

Kireç, kireçtaşının çeşitli derecelerde (850-1450 °C) pişirilmesi sonucu elde edilen, suyla karıştırıldığında, tipine göre havada veya suda katılaşma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı bağlayıcı madde türüdür. Dünya’da kireç ürünleri kadar çok çeşitli kullanım alanları olan bir ürün daha mevcut değildir. İnsanlığın kireçtaşını ne zaman fırınlarda yakıp sönmemiş kirece dönüştürdüğü ve daha sonra suyla söndürüp harç yapımında kullandığı tam olarak bilinmemekle beraber Türkiye’nin doğusunda bulunan kireç harçlı kalıntılar 14000 yıl öncesine dayanmaktadır [3].

Bu bölümde kireç ve kireçtaşının oluşum süreci, fiziksel ve kimyasal özellikleri yer almaktadır. Aynı zamanda ülkemizde ve dünyada kirecin kullanım alanlarına değinilmiştir. Bununla birlikte kirecin üretim teknikleri ve fırın türleri de incelenmiştir.

3.1. Kireç ve Kireçtaşı Özellikleri

Kireçtaşı kimyasal ve organik etkilerle akarsularda çöken maddelerin oluşturduğu bir kayadır. Bütün jeologlar kireçtaşının safsızlıklar hariç, kalsit, aragonit, dolomit ve manyezit gibi dört ana mineralden oluştuğunu belirtmektedir. Hidrotermal etki ile oluşan kireçtaşı genellikle kristal yapıdadır. Değişik granit türlerindeki kalsiyum karbonat hidrotermal etkilerle oluşmaktadır. Genel olarak pek çok maden yatağında sülfür içeren maden yataklarında kalsiyum karbonat kristallenmektedir. Maden yatağını oluşturan tüm mineraller kristallendikten sonra kalsiyum karbonat kristallenmektedir. Kireç tüfü içeren maden yatakları, bileşiminde ayrıca aragonit ve kalsiyum karbonat da bulundurmaktadır.

Karbonik ve diğer mineral asitleri içeren çözeltilerin ve aşınmanın etkisi ile yapısında kalsiyum bulunduran kayalar parçalanmaktadır. Bu şekilde serbest kalan kalsiyum akarsularla denize taşınmaktadır. Çözülmüş halde bulunan kalsiyum karbonatın bir kısmı deniz suyundaki düşük çözünürlük nedeni ile tortullaşmaktadır. Kireçtaşı içeren mağaralardaki dikitler, kireç içeren tuzlu çözeltilerden yapısında

karbondioksit bulunan kireçlerin çökmesi ile oluşmaktadır. Tuzlu çözelti oyuklara sızmakta ve su, ısı etkisi ile buharlaşmaktadır. Çözelti bu şekilde fazlası ile doymuş hale geldiğinden, çok iyi dağılmış olan tortular ayrılmakta, yavaş yavaş sertleşmekte ve süregelen dehidrasyon sonucunda da kristalleşmektedir [1].

İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz alarak yapılan klasifikasyona göre kireçtaşı cinsleri aşağıdaki gibi sıralanır [4].

- | | |
|---|---|
| 1- Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT) | : CaCO_3 : min. % 97 |
| 2- Yüksek kalsiyumlu KT | : CaCO_3 : min. % 95 |
| 3- Yüksek karbonatlı KT | : $(\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3)$: min. % 95 |
| 4- Kalsitik KT | : MgCO_3 . % 5 |
| 5- Magnezyumlu KT | : MgCO_3 . % 5 - 20 |
| 6- Dolomitik KT (Dolomit) | : MgCO_3 . % 20 - 40 |
| 7- Yüksek magnezyumlu dolomit | : MgCO_3 . % 40 - 46 |

Yurdumuzda da bol miktarda bulunan çökel kayalar, dünyamız üzerindeki kara parçalarının % 66'lık bölümünü örtmektedir. Bu örtü tabakasının dağılımı aşağıda verilmektedir:

- | | |
|----------------------------------|----------|
| Çamur taşları, killer ve şeyller | : %55-65 |
| Kumtaşları ve konglomeralar | : %20-25 |
| Karbonatlı kayalar | : %10-15 |
| Diğer çökeller | : % 5 |

Kireçtaşı (CaCO_3) ve dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ana karbonat çökelleri olup, bu çökellerin ancak küçük bir kısmı kireç endüstrisinde kullanılır (minimum %90 (CaCO_3) içermek koşuluyla) [4].

3.1.1. Kirecin fiziksel özellikleri

- **Tekstür ve kristal yapısı :** Tüm kireçtaşı çeşitleri kristal yapıda olup yapıdaki ebat, homojenlik ve düzen durumuna göre yoğunluk ve sertlik değerlerinde kendi aralarında farklılıklar gösterir. Kalsitik ve dolomitik kireçtaşları rhomhedral; aragonit ise ortorhombik yapıya sahiptir.
- **Porozite (gözeneklilik) ve su emme kabiliyeti (absorbsiyon) :** Kireçtaşı: % 0.1 - 30; Mermer %0.1 – 2; tebeşir % 15 – 40; dolomit % 1 – 10 arasında bir gözenekliliğe sahiptir. Gözenek ve organik madde oranına bağlı olan su emme kabiliyeti ise yoğunluğu yüksek bir kireçtaşı için % 0,4 mertebesindedir. (tebeşir % 20)
- **Özgül ağırlık :** Oda sıcaklığında kalsitin özgül ağırlığı $2,72 \text{ g/cm}^3$; aragonitin $2,94 \text{ g/cm}^3$; dolomitin $2,86 \text{ g/cm}^3$ 'tür.
- **Görünür yoğunluk :** Gözenek oranına ve gözeneklerdeki su miktarına bağlı olarak değişen görünür yoğunluk, 110°C 'de kurutulmuş tipik bir kireçtaşı için $2 - 2,3 \text{ g/cm}^3$; dolomit için $2,7 - 2,9 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir.
- **Dökme yoğunluk (yığın yoğunluğu) :** Öğütülüp elenen kireçtaşının birim hacmindeki ağırlığıdır. Dökme yoğunluk, görünür yoğunluğa, ebat dağılımına tanecik şekline ve nem oranına bağlıdır. Örneğin görünür yoğunluğu $1,40 - 1,45 \text{ g/cm}^3$ civarındadır. Genellikle $2 - 2,3 \text{ g/cm}^3$ arasında değişen dökme yoğunluk, ince taneli fraksiyon oranının büyümesiyle % 25'lere varan artışlar gösterir.
- **Sertlik :** Ticari kireçtaşının sertliği genellikle 2-4 mohs arasında değişir. Dolomit daha sert fakat kırılmandır.
- **Mukavemet :** Mermer ve traverten oluşumlarının çok yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasına karşın tebeşir ve marın mukavemet değerleri çok düşüktür.

Basınç veya kırılma mukavemeti : $80 - 2000 \text{ kg/cm}^2$

Kesme mukavemeti : $40 - 210 \text{ kg/cm}^2$

Çekme mukavemeti : $24 - 62 \text{ kg/cm}^2$

Aşınma mukavemeti : $4 - 10 \text{ kWh/t}$

- Isı iletkenliği : Gözenek durumuna ve yapıya bağlı ısı iletkenliği, sıcaklık arttıkça azalır. 130 °C’de ölçülen değerler aşağıdaki gibidir.

Kireçtaşı : 0,0039

Dolomit : 0,0034

Tebeşir : 0,0022

- Özgül ısı: Sıcaklık durumuna göre özgül ısı değişim göstermektedir. Çizelge 3.1’de sıcaklık farkına bağlı olarak özgül ısı değişimi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sıcaklık değişimi-özgül ısı arasındaki bağıntı

Sıcaklık	Özgül ısı (cal/g°C)
0	0,191
200	0,239
400	0,270
600	0,296
800	0,322

- Erime noktası : Tüm kireçtaşı türleri erimeden önce oksitlerine dönüşürler. CaO’ın erime noktası 2800 °C, MgO’ın erime noktası 2570 °C dir.
- Beyazlık : Beyazlık, kağıt ve boya endüstrisinde dolgu maddesi ve pigment olarak kullanılan doğal (NCC = Natural Calcium Carbonate) ve yapay (PCC = Precipitated Calcium Carbonate) mikronize kireçtaşı üretimi için önemlidir. NCC üretimi için istenen beyazlık aralığının 75 – 95 arası olmasına mukabil PCC için 95 üzerinde bir beyazlık gerekir (ölçüm: DIN 5033, Bölüm 9 ve DIN 53163) [4].

3.1.2. Kirecin kimyasal özellikleri

- Kimyasal stabilite : Kalsitik ve dolomitik kireçtaşları kimyasal olarak en kararlı maddeler arasındadır. 600 °C sıcaklığa kadar kesinlikle ayrışmazlar ve 2 CO ihtiva etmeyen sulardan etkilenmezler. Bununla beraber aragonit, kalsit ve dolomit gibi stabil değildir ve sulu ortamlarda ve ya 400 °C’nin üzerinde kristal yapısını değiştirmeden kalsite dönüşür. Kireçtaşı daha yüksek sıcaklıklarda ayrışarak kalsiyum okside dönüşür (kalsinasyon). Kuvvetli asitler kireçtaşına etki eder (karbonik asit hafifçe bir destabilizasyon etkisi yapar).

- Karbondioksit ile reaksiyon : Kireçtaşı'nın çözünme oranı karbondioksitli sularda artar. Kireçtaşı dönüşümlü bir reaksiyonla kalsiyum bikarbonata dönüşür.

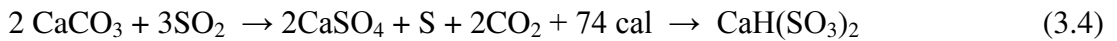


Bikarbonat iyonunun ısıtılmasıyla karbondioksit uçar ve reaksiyon geriye dönerek kalsiyum/magnezyum karbonat yeniden çöker (boru ve kazanlarda çökme mekanizması) CO₂ oranı arttıkça kireçtaşı'nın çözünürlüğü hafifçe yükselir. Örneğin 1 atm CO₂ basıncında 1g/l çözünen kireçtaşı, 30 atm CO₂ basıncında 28 g/l çözünür. Çözünürlük sıcaklıkla ters orantılıdır. Örneğin 1 atm CO₂ basıncında 9 °C'de 1,3 g/l çözünen kireçtaşı 35 °C sıcaklıkta 0.765 g/l; 50 °C de 0,6 g/l çözünür.

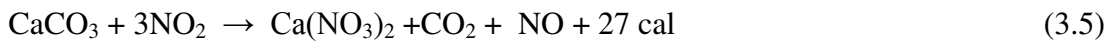
- pH değeri : Kalsitik kireçtaşı'nın sudaki pH değerinin 8 – 9 olmasına karşın dolomitin pH değeri 9 – 9,2 arasındadır.
- Asitlerle reaksiyon : Kireçtaşı genellikle tüm kuvvetli asitlerle CO₂ çıkarak reaksiyona girer ve bu nedenle asit nötralizasyonunda kullanılır.



Kalsitik kireçtaşı, seyreltik hidroklorik ve nitrik asitle oda sıcaklığında kolayca reaksiyona girer. Kireçtaşı'nın kükürtlü asitlerde 95 °C'nin üzerinde olan reaksiyonu baca gazı desülfürizasyon prosesinin temel taşıni teşkil eder :



Kireçtaşı azotdioksit ihtiva eden gazlarla da kireç kadar hızlı reaksiyona girer:



Buna mukabil azotmonoksitle reaksiyona girmez.

- Termal dekompozisyon : Kireçtaşı'nın en önemli özelliğidir. Bütün karbonatlı kayalar yüksek sıcaklıklarda (600 °C) CO₂ gazı vererek oksitlerine dönüşürler (kalsinasyon).



Kireçtaşı'nın ısıtılmasıyla içindeki CO₂ gazının taşa uyguladığı iç basıncı da dissosiasyonla (dekompozisyon) birlikte artar. Örneğin 600 °C de 0,03 atm basınç, 800 °C'de 0,24 atm, 900 °C'de ise 1 atm olur [5].

3.2. Kireç Kullanım Alanları

Kireç, portland çimento ve beton yapımında hammadde bileşeni, inşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı, demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı, gaz beton endüstrisinde bağlayıcı, çevre denetiminde arıtma kimyasalı, asitli toprakların rehabilitasyonunda pH dengeleyicisi, çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihai ürün bileşeni, yol zemin inşaatlarında ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır [6].

Kireçtaşı, temel bir endüstriyel hammadde olup, kullanımının % 84'ü kimyasal ve endüstriyel amaçlı, %12'si refrakter ve yol yapımında; %4'ü yapılarda ve tarımsal faaliyetlerdedir. Bunlara ek olarak, demir çelik üretiminde, yüksek fırınlarda kireç olarak önemli miktarlarda kullanıldığı da bilinmektedir [7].

Kullanıldığı alanların ve üretiminde katkısı olan ürünlerin son derece çok ve çeşitli olması nedeniyle kireçtaşı endüstrisi, dinamik ve gelişmelere açık bir endüstri dalıdır. Eski yüzyıllarda yalnızca inşaatlarda harç bağlayıcısı olarak kullanılan kireçtaşı, sanayinin gelişmesine paralel olarak son iki yüzyılda çelik endüstrisinden kağıt endüstrisine; kimya endüstrisinden karayolları stabilizasyonuna; cam ve otoklav endüstrisinden tarım topraklarının ıslahına kadar artık pek çok alanda kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri; kireçtaşı'nın kimyasal afinitesinin büyük

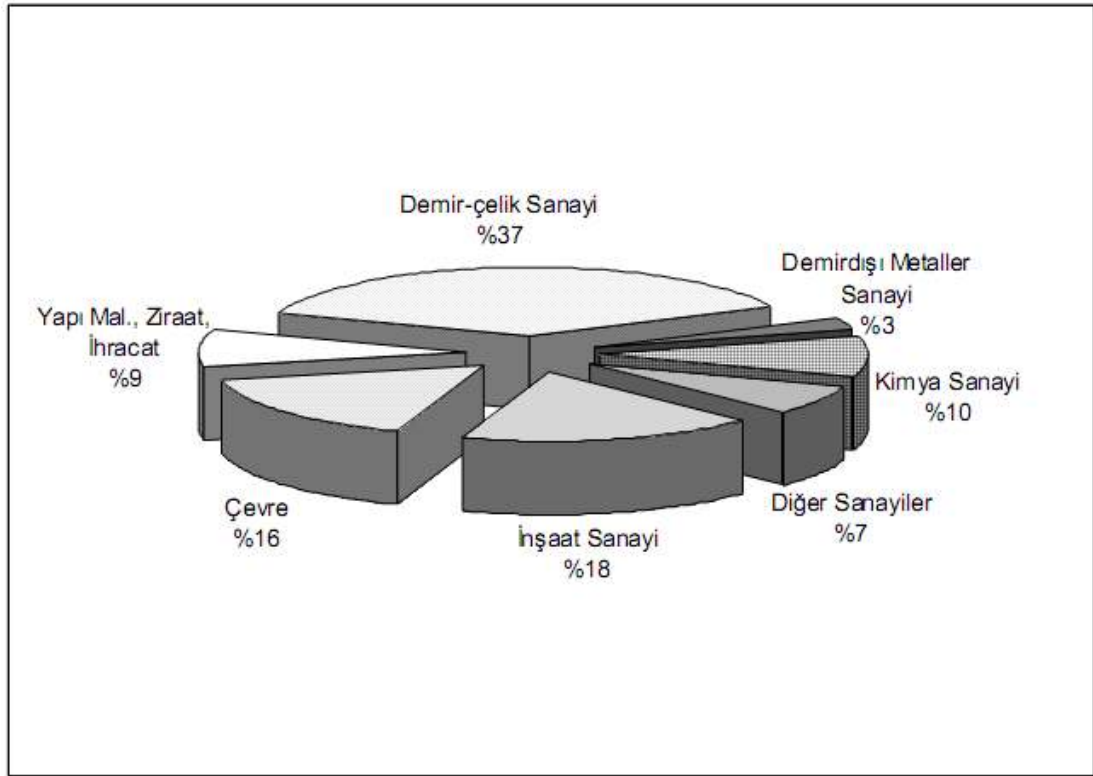
olması, ortamı nötrleştirici özelliği, doğada çok miktarda bulunması ve ucuz olmasıdır.

Son yıllarda kireçtaşının tüm dünyada en popüler ve gittikçe yaygınlaşan bir kullanım sahası da çevre kirlilikleriyle mücadelede olmuştur. Kireçtaşı bu amaçla, örneğin ham ve atık suların şartlandırılması, baca gazları ve belediye çöplerinin arıtılması, göl, ırmak ve kapalı deniz koylarının ıslahı gibi pek çok alanda bir rehabilitasyon kimyasalı olarak kullanım bulmaktadır [8].

ILA' nın 1998 yılı istatistiklerine göre endüstrisi gelişmiş bazı ülkelerde sanayi, çevre ve tarımda kullanılan kirecin toplam kireç üretimi içindeki payı aşağıdaki gibidir:

Japonya	: % 99
Belçika	: % 99
Fransa	: % 98
ABD	: % 98
İngiltere	: % 96
Avustralya	: % 96
Almanya	: % 92
Türkiye	: % 65 [4].

Batı Avrupa'da 25 yıl öncesine kadar harç ve sıva kirecinin toplam tüketimdeki payı oldukça yüksekti, ancak yeni yapı tekniklerinin geliştirilmesi, bina yapımının nüfus planlamasına paralel olarak sınırlandırılması ve kirecin yapı harcındaki rolünü kısmen üstlenen katkı maddeleri nedeniyle bu oran günümüzde %10 değerinin altına düşmüş bulunmaktadır [1]. Aşağıda Şekil 3.1.'de 22 ülkedeki 2002 yılı toplam kireç satışlarının sektörel bazda dağılımları ve Çizelge 3.2.'de de 2001-2002 yılları arasında kireç tüketiminin gelişmiş ülkelerde sektörel bazda dağılımı ve kireç tüketimindeki değişimi % olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. 22 ülkedeki 2002 yılı toplam kireç satışlarının (56 milyon ton) sektörel bazda dağılımları [1]

Çizelge 3.2. 2001-2002 Yılı kireç tüketiminin gelişmiş ülkelerde sektörel bazda dağılımı ve kireç tüketimindeki değişim [1]

Sektör	ABD		Almanya		Japonya	
	2002	2001	2002	2001	2002	2001
Sıva+Harç	426	443	182	182	77	80
Metalurji	5120	5000	2150	2150	5362	5125
Kimya/Sanayi	3258	3250	725	725	1868	2068
Yol stabilizasyonu	1720	1920	372	372	598	612
Yapı elemanı	-	-	1057	1071	134	143
Tarım	28	24	132	131	292	306
Çevre	4930	5101	1277	1277	972	979
Diğer	1018	1062	739	723	38	750
Toplam Tüketim (ton)	16500	16800	6634	6631	9341	10063
Değişim (%)	-1,8		0		-0,2	

Çizelge 3.3.'de kireç kullanım alanları ve Türkiye'deki durumu verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kirecin kullanım alanları [9]

Ana sektör	Kullanım alanı	Kireç cinsi	Kullanım amacı	Türkiye’de kullanımı
MADEN	Flotasyon	Sönmüş toz kireç	Bakır, kurşun, çinko gibi cevherlerin flotasyonunda pH ayarlayıcı ve pirit bastırıcısı olarak	Var
	Aglomerasyon	Sönmüş toz kireç	Demir cevheri konsantrelerinin peletlenmesinde bağlayıcı olarak ve kendinden cüruf lu (self-fluxed) pelet üretiminde	Yok
	Kömür briketleme	Sönmüş toz kireç	Melastın bağlayıcı olarak kullanıldığı kömür briketlerinde sertleştirici ve aynı zamanda kükürt sorbenti olarak	Var
METAL	Demir ve çelik	Parça, granül ve yüksek kalsiyumlu kireç	Bazık oksijen ve elektrik ark ocaklarında cüruf yapıcı ve kükürt, fosfor, silika giderici, ikincil rafinasyonda pota ocaklarında kükürt ve fosfor giderici	Var
		Sönmemiş toz kireç -150 mikron	Bazık oksijen çelik üretiminde kükürt giderici olarak (metalik magnezyum ile birlikte)	Yok
		Parça, granül veya toz dolomitik kireç	BOF, EAO ve Pota ocaklarında bazık refrakteri korumak için	Yok
	Çelik ürünleri	Sönmüş toz kireç	Haddehanelerde kayganlaştırıcı olarak ve korozyonu önlemek üzere nötralizasyon için	Var
	Demir dışı metaller	Sönmüş toz kireç	Altın ve gümüşün siyanürleme yöntemi ile kazanımında pH ayarlayıcısı olarak	Var
		Sönmemiş kireç	Alümina üretiminde boksitten silisin uzaklaştırılmasında (Bayer prosesi)	Var
		Dolomitik kireç	Metalik magnezyum üretiminde	Yok
		Sönmemiş kireç	Düşük karbonlu ferrokrom üretiminde cüruf yapıcı olarak	Var
SERAMİK	Refrakter	Sinter dolomit, sönmüş kireç	Dolomit tuğla üretiminde, silisli tuğla üretiminde	Var
	Cam	Dolomitik kireç	Cam üretiminde flux olarak	Var
	Diğer	Sönmüş ve sönmemiş kireç	Emaye, porselen eşya üretiminde	Var

Çizelge 3.3(Devam). Kirecin kullanım alanları [9]

Ana sektör	Kullanım alanı	Kireç cinsi	Kullanım amacı	Türkiye’de kullanımı
İNŞAAT	Yol	Kireç, sönmüş toz kireç, kireç sütü	Yol yapımında killi zeminlerin stabilizasyonunda	Yok
		Sönmüş toz kireç	Sıcak asfaltta “antistripping” kimyasalı olarak asfaltın dayanımını artırmada	Yok
	Yapı malzemeleri	Toz sönmemiş kireç	Gazbeton üretiminde	Var
		Sönmüş veya sönmemiş toz kireç	Kalsiyum silikat tuğla (sand lime brick) üretiminde	Yok
		Sönmüş toz kireç	Beton blok ve elemanlar üretiminde ürünün sağlamlığını arttırmada	Yok
		Sönmemiş toz kireç	Diatomit veya silisle birlikte yalıtım malzemeleri yapımında	Yok
		Sönmüş toz kireç, hamur kireç	Harç veya sıva yapımında bağlayıcı ve sıvaya işlenebilirlik vermek için, badana olarak	Var
KAĞIT	Sülfat prosesi	Sönmemiş kireç	Sülfat prosesinde sodyum hidroksitin rejenerasyonunda	Var
	Sülfite prosesi	Sönmemiş kireç	Sülfite prosesinde kalsiyum bisülfitin üretiminde	Var
	PCC	Sönmemiş kireç	Dolgu ve kaplama maddesi olarak çöktürülmüş kalsiyum karbonat üretiminde	Yok
	Beyazlatma	Kireç sütü	Kağıt beyazlatmada kullanılan kalsiyum hipokloritin üretiminde	Var
	Diğer	Sönmüş kireç	Kağıt endüstrisi atık sularındaki katıların çöktürülmesinde, filtrasyon yardımcısı olarak, alkol, kalsiyum lignosülfanatın geri kazanımında	?

Çizelge 3.3(Devam). Kirecin kullanım alanları [9]

Ana sektör	Kullanım alanı	Kireç cinsi	Kullanım amacı	Türkiye’de kullanımı
ŞEKER	Şeker kamışı	Sönmüş kireç	pH düzenleyici ve impürite giderici olarak	Yok
	Şeker pancarı	Sönmüş kireç	pH düzenleyici ve impürite giderici olarak	Var
KİMYA	Alkaliler (NaOH)	Kireç sütü	Tabi sodadan kostik soda üretiminde	Yok
	Karbit ve Cyanamide	Sönmemiş kireç	Kok ve kirecin yüksek sıcaklıkta reaksiyonu ile karbit (CaC_2) ve karbitin azot ile tepkimesinde azot gübresi Cyanamide üretimi (CaCN_2)	Var
	MgO	Dolomitik kireç	Deniz suyundan MgO üretiminde	Yok
	Kalsiyum hipoklorit	Sönmüş kireç	Sönmüş kireç ve klor gazının reaksiyonu ile kalsiyum hipoklorit üretiminde	Var
	CMA	Dolomitik kireç	Yollarda buzlanmayı önleyen kalsiyum magnezyum üretiminde	Yok
	Sitrik asit	Sönmüş kireç	Sitrik asitin rafinasyonunda	?
	Kalsiyum tuzları	Sönmüş veya sönmemiş kireç	Kirecin organik veya inorganik asitlerle reaksiyonu neticesinde çeşitli kimyasalların üretiminde. Kalsiyum fosfat (mono, di, tri), florit, bromit, ferrosiyanit ve nitrit. Kalsiyum asetat, stearate, oleate, tartrate, lactate, citrate, benzoate ve glukonate	Kısmen
	Diğer	Sönmüş veya sönmemiş kireç	Krom kimyasalların üretiminde nötürleştirici olarak, etilen veya propilen glikolün üretiminde, glikoz ve dekstrinin konsantrasyonunda, adsorbent ve desikkant olarak çeşitli kimyasal proseslerde	Kısmen
TARIM GIDA	Tarım	Sönmüş veya sönmemiş kireç	Tarım topraklarında pH ayarlamada	Var
	Gıda ve gıda yan ürünleri	Sönmüş kireç	Kemiklerden jelatin yapımında, tereyağ, sodyum kazeinat, laktik asit, kabartma tozu, meyve endüstrisinde meyve atıklarının yeme dönüştürülmesinde, tartarik asit üretiminde ve meyvelerin tazeliğini korumada	Var

Çizelge 3.3(Devam). Kirecin kullanım alanları [9]

Ana sektör	Kullanım alanı	Kireç cinsi	Kullanım amacı	Türkiye’de kullanımı
ÇEVRE	Baca gazı arıtma	Kireç sütü, sönmüş toz kireç, dolomitik kireç	Yaş veya kuru desülfürizasyon yöntemi ile baca gazındaki kükürt dioksitin temizlenmesinde	Yok
		Kireç sütü, sönmüş toz kireç	Evsel atıkların insinerasyonunda baca gazlarında bulunan HCl’in temizlenmesinde	Yok
		Sönmüş toz kireç	Aktif karbonla birlikte baca gazlarındaki cıvanın temizlenmesinde	Yok
	İçme suyu arıtma	Sönmüş kireç	Karbonat sertliğinin giderilmesinde, kireç/soda prosesinde karbonat sertliği dışındaki sertliğin giderilmesinde	Var
		Sönmüş kireç	Asidik suların nötrleştirilmesinde, alüminyum ve demir tuzları ile birlikte sudaki katı partiküllerinin çöktürülmesinde	Var
		Sönmüş kireç	Suyun PH değerini yükseltip sudaki bakteri ve bazı virüsleri yok etmekte “excess alkalinity treatment”	?
		Dolomitik sönmüş kireç	Sudaki silisin, manganın, floridlerin ve organik taninin giderilmesinde	Yok
	Atık su arıtma	Sönmüş kireç	Evsel atık suların arıtılmasında, alüminyum ve demir tuzları ile birlikte katı maddelerin çöktürülmesinde, fosfor ve azotun giderilmesinde	Var
		Sönmüş kireç	Endüstride, asit ihtiva eden suların nötrleştirilmesinde, demir, krom gibi metal iyonlarının çöktürülmesinde, pancar şekeri fabrikalarında proses suyunun berraklaştırılmasında;	Var
	Atık çamur hazırlama	Sönmüş veya sönmemiş kireç	Evsel atık su arıtma tesislerinden çıkan çamurun stabilizasyonunda ve gübreye dönüştürülmesinde, hayvansal atıkların stabilizasyonunda	Yok
		Sönmüş veya sönmemiş kireç	Sülfür/sülfat çamurları, petrol atıkları gibi endüstriyel atıkların stabilizasyonunda	Yok
	Zararlı atıklar	Sönmüş kireç	Bakır, kurşun, çinko, arsenik gibi metalleri ihtiva eden atıkların stabilizasyonunda	Yok

3.3. Kireç Üretim Teknikleri

Teknolojideki gelişmelerle birlikte kirecin kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla tüm dünyada kireç tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Artan ihtiyacın karşılanması için kireç üretimi son yıllarda artış göstermeye başlamıştır. Kireçtaşı üretimi sırasında takip edilen kademeler aşağıdaki gibidir:

- Ocak aynasının tespiti,
- Delik delme,
- Patlatma,
- Kırıcılara nakil,
- Kırma, eleme, yıkama,
- Klasifikasyon ve stoklama,

Kireçtaşı kırma ünitelerinde çeneli, konik, darbeli ve silindir kırıcılar kullanılır [3].

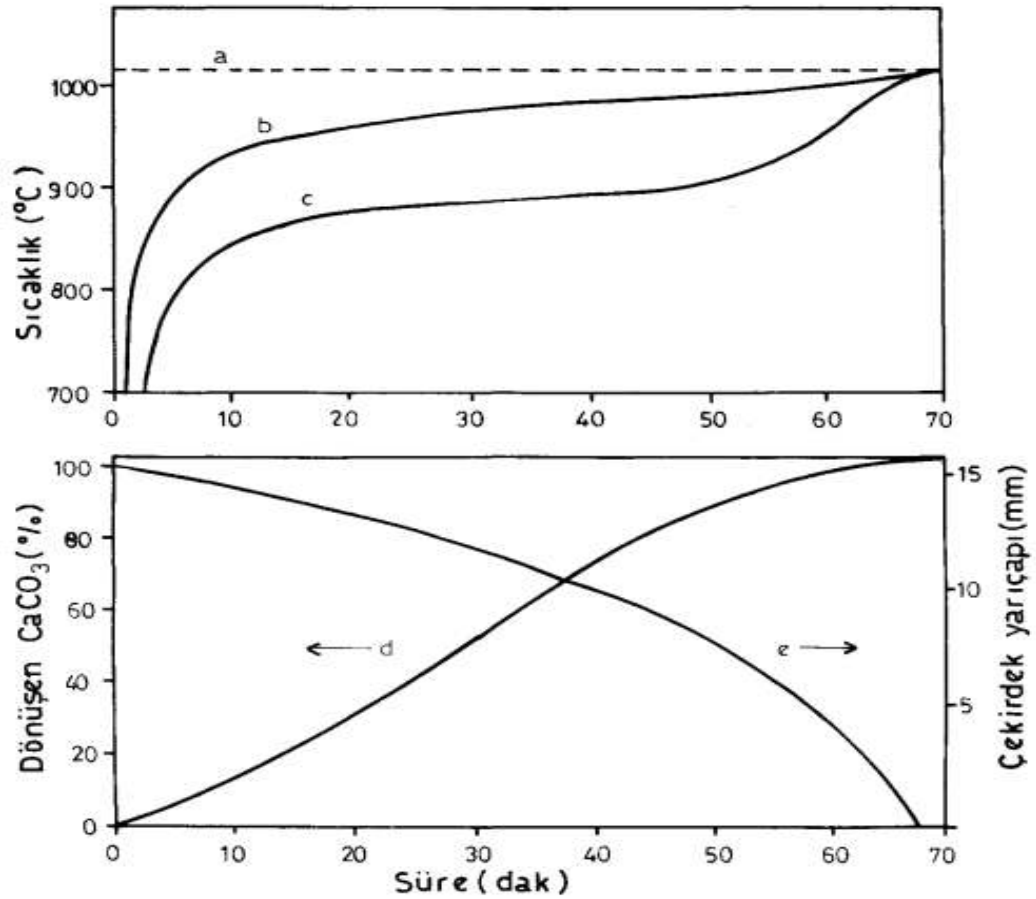
Kireç, kireçtaşının fırınlarda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir.



Kireç üretiminde, kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı, irice bloklar halinde özel fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta kızdırılarak (kalsine edilerek), sönmemiş kirece (CaO veya CaO+MgO) dönüştürülmektedir. Sönmemiş kireç suya karşı oldukça aktiftir ve özellikleri Çizelge 3.4’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Ticari olarak kireç olarak anılan ürün sönmemiş kireç (CaO) ve sönmüş kireç (Ca(OH)₂) şeklinde üretilmektedir. Şekil 3.2.’de kalsinasyon süresinin kireçtaşı ısisına ve dönüşümüne etkisi verilmiş olup, kalsine olan CaCO₃ oranı ve çekirdek yarıçapının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Söndürülmemiş kirecin özellikleri

Bileşim ve Oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci			Dolomit Kireci	
	KK 90	KK 80	KK70	DK 85	DK 80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	<5	<5	<5	>30	>5
CO ₂ , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO ₂ dahil, en çok	2	2	2	2	2
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , metal oksitleri, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SO ₃ , en çok	2	2	2	2	2



Şekil 3.2. Kalsinasyon süresinin kireçtaşı ısısına ve dönüşümüne etkisi [1]

- a) Fırın sıcaklığı b) Kireçtaşı yüzey sıcaklığı
- c) Kireçtaşı yüzeyinin 5 mm altındaki sıcaklık
- d) Kalsine olan CaCO₃ oranı e) CaCO₃ çekirdek yarıçapı

Reaksiyon ürünü kalsiyum oksit veya diğer ismi ile sönmemiş kireç (CaO) bu haliyle kullanıldığı gibi, suyla reaksiyona sokularak sönmüş toz kireç (Ca(OH)_2) şeklinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.



CaO veya $\text{CaO}+\text{MgO}$ suyla karıştırılarak söndürülünce Ca(OH)_2 veya CaMg(OH)_4 ortaya çıkmaktadır; bunlar sönmüş kireçtir ve kireç olarak kullanılmaktadır. Sönmüş kirecin özellikleri ise Çizelge 3.5’de verilmektedir.

Çizelge 3.5. Sönmüş kirecin özellikleri

Bileşim ve Oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci (S-KK)			Dolomit Kireci (S-DK)	
	S-KK 90	S-KK 80	S-KK 70	S-DK 85	S-DK 80
CaO , en az	90	80	70	85	80
MgO	<5	<5	<5	>30	>5
CO_2 , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO_2 dahil, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , metal oksitleri, en çok	1	1	1	1	1
SO_3 , en çok	2	2	2	2	2

Sönmemiş kireç suyla reaksiyona girdiğinde ısı açığa çıkmakta ve önceleri çok hızlı yükselen sıcaklık sönmenin sonlarına doğru sabitleşmektedir. Bu ısı, kireç taneciklerinde büyük termal iç gerilimlere neden olarak sönmemiş kirecin tozlaşınca kadar parçalanmasına yol açmaktadır. Sönme işlemi devam ederken su buharı oluşmakta ve hafif bir ses meydana gelmektedir. Sönme olayı CaO ’in pişme biçimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sönmemiş kireç fırın üretim şartlarına, fırın sıcaklığına ve fırında kalma süresine bağlı olarak yumuşak pişmiş, sert pişmiş ve çok sert pişmiş olarak isimler almaktadır. Kirecin aktivitesini belirlemede kullanılan T_{60} deneyinde yumuşak pişmiş, gözenek sayısı fazla ve

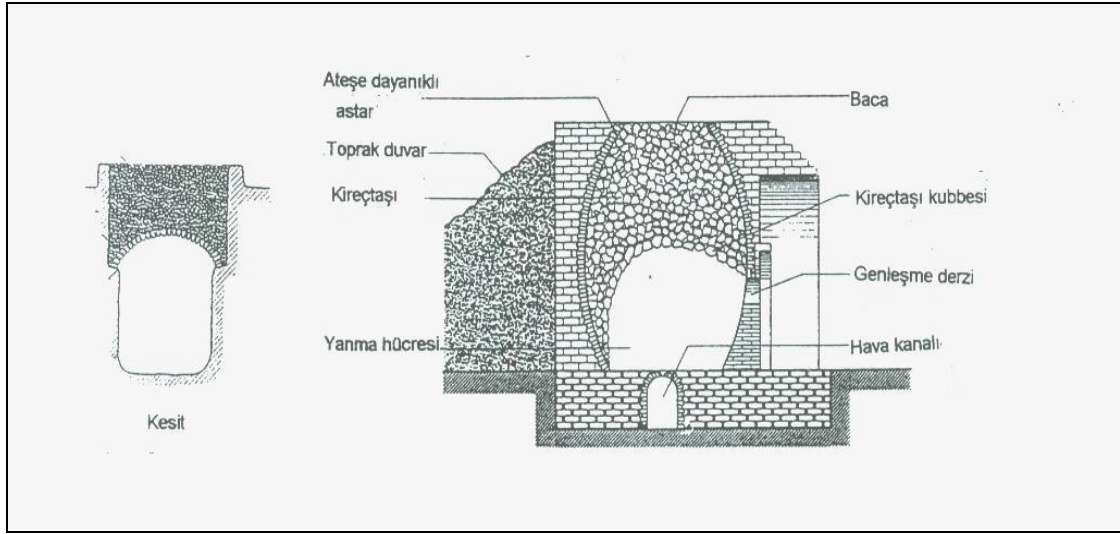
aktivitesi yüksek kireçlerin 3-4 dakika içinde çok şiddetli reaksiyon göstererek 60-80 °C sıcaklığa çıktığı; sert pişmiş gözenek sayısı az, aktivitesi düşük kireçlerin ise daha uzun sürede bu sıcaklığa çıkabildiği belirlenmiştir. Çok sert pişmiş kireçlerin ise 60 - 80 °C sıcaklığa hiçbir zaman çıkamadığı gözlenmiştir [6].

Kalsinasyon sıcaklığı CO₂ gazının kısmi basıncına bağlı olarak değişir. CaCO₃, % 100 CO₂ atmosferinde ve 760 mm Hg basıncında 898 °C de bozunur. Bozunma daima dış kabuktan içeri doğru oluşur. Kireçtaşının boyutu büyüdükçe kalsinasyon sıcaklığı arttırılmalıdır. Dış kabuğun kalsinasyon sıcaklığı ile çekirdeğin kalsinasyon sıcaklığı arasında 150-350 °C fark oluşabilir. Pratikte kalsinasyon 1050-1200 °C arasında yapılır. Kireçtaşının gerekli olan minimum sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda kalsine edilmesinin ana nedeni kalsinasyon hızının sıcaklık ile artması ve dolayısıyla fırın kapasitesinin de artmasıdır. Ancak kalsinasyonda elde edilecek kirecin reaktivitesi azalacağından 1200 °C den yüksek sıcaklıklar, özel durumlar hariç tercih edilmez. % 100 saflıkta 1 kg kireç elde etmek için teorik olarak 733 kcal/kg CaO ısı enerjisine ihtiyaç vardır [9].

Teorik olarak karbonat dışı minerallerin oranının % 1'in altında kaldığı kalkerin 1 kg'ından 0,56 kg sönmemiş kireç elde edilebilir. Bu miktar ise 0,74 kg söndürülmüş kirece eşdeğerdir. Kalkerin kalsinasyonu yüksek oranda endotermik bir olay olup, 1792 kJ/kg kalorilik enerji tüketimine ihtiyaç vardır. Bu denklemdeki kalsinasyon ısısı CO₂ kısmi basıncına da bağlı olarak değişmekte ve CaCO₃ (% 100) CO₂ atmosferinde ve 1 atmosfer basınçta 898°C'de bozunmaktadır. Bu bozunma sonucunda 1 kg CaO elde edilebilmesi için 3029 kJ'lük enerjine ihtiyaç vardır [10].

3.3.1. Fırın türleri

Kireç, ülkemizde ilkel çalı ve yamaç ocaklarından başlayıp bilgisayar kontrollü modern fırınlara kadar uzanan bir teknoloji çeşitliliğinde üretilmektedir. Bu fırınlarda hemen her tür yanıcı maddeler kullanılmakta, ucuz ve çevresel etkileri olan hatta yakılması yasaklı bazı yakıt kaynaklarının kullanımı ile çok değişken kalitelere kireç üretilmekte ve pazara sürülmektedir.

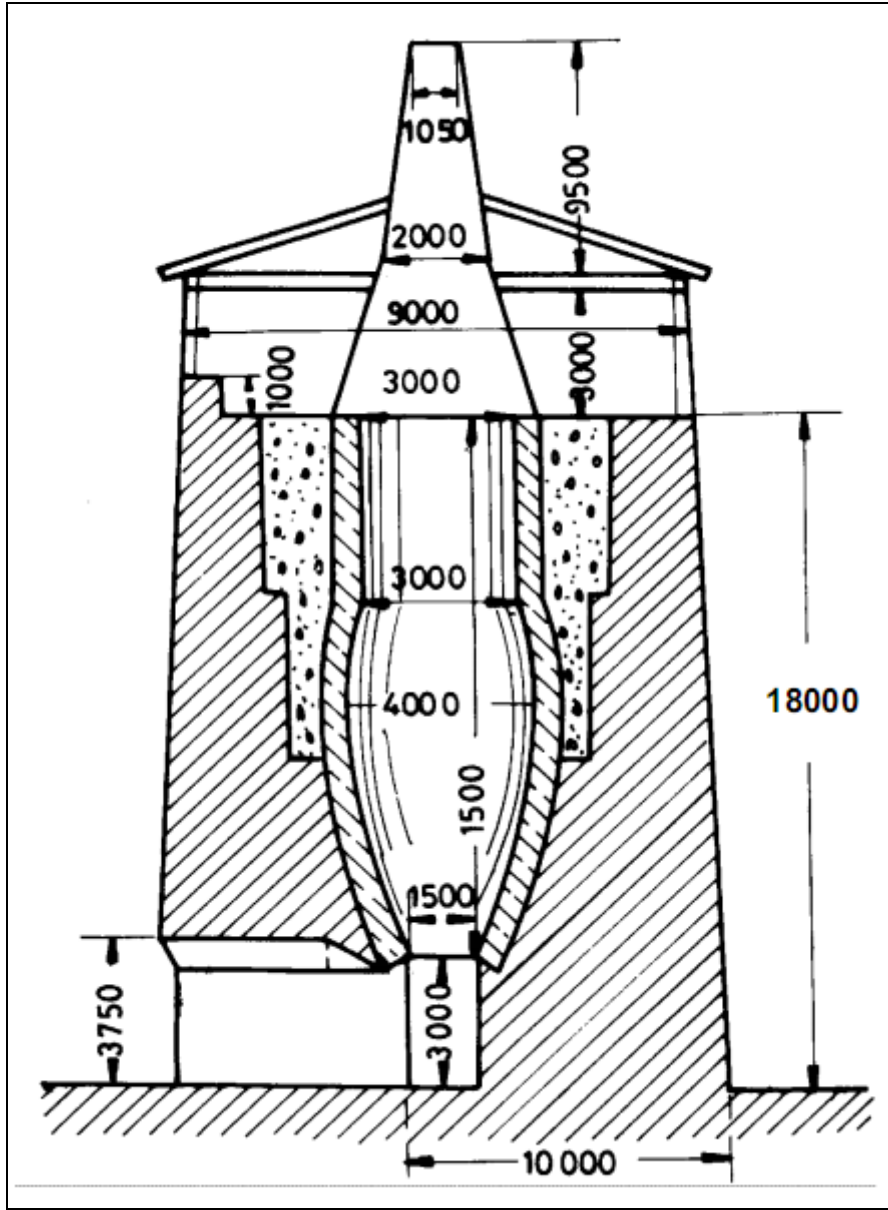


Şekil 3.3. Çalı tipi kireç ocağı

Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere çalı tipi kireç ocaklarındaki gibi, ilkel teknolojilerle kireç üretimi, Türkiye'nin de aralarında yer aldığı çok az sayıda ülke dışında yapılmamaktadır ve Avrupa Birliği ülkelerinde kesinlikle yasaktır [11].

Günümüzde ülkemizde yılda yaklaşık 4 milyon ton dolayında tüketim alanına sahip kireç; büyük oranlarda Maerz düşey paralel akışlı fırınlar ve Eberhart tipi klasik fırınlar kullanılarak üretilmektedir [7].

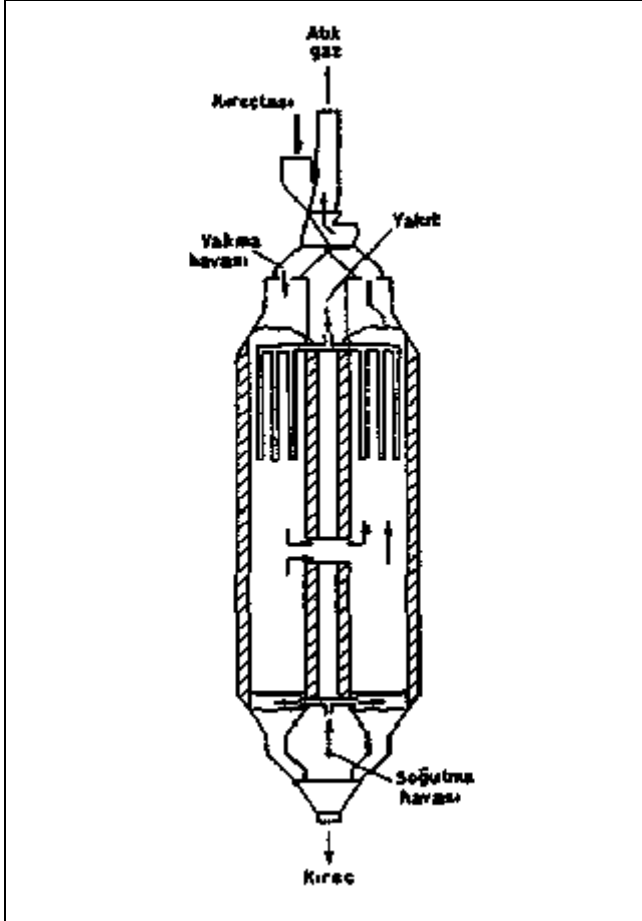
İlk fırınlarda ağaç ve kireçtaşı istifleri üst üste konmakta ve ağaçlar ateşlenmekteydi. Ateş kontrolsüz bir biçimde 1-2 gün yanmakta ve yüksek enerji kayıpları olmasına rağmen çok küçük miktarlarda kireç elde edilmekteydi. Eski tip sürekli karışık beslemeli fırın kesiti Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Kireç üretim tesislerinde en verimli çalışma silindirik gövde ve konik soğutma bölgesi olan fırınlarda sağlanmaktadır. Silindirik şekilde, malzemelerin yüklemesi sırasında homojen dağılım ve fırın içindeki kütle hareket en iyi biçimde sağlanmaktadır. Ayrıca boşluk ve ısı kaybı azdır [1].



Şekil 3.4. Eski tip sürekli karışık beslemeli fırın kesiti (birimler mm'dir) [5]

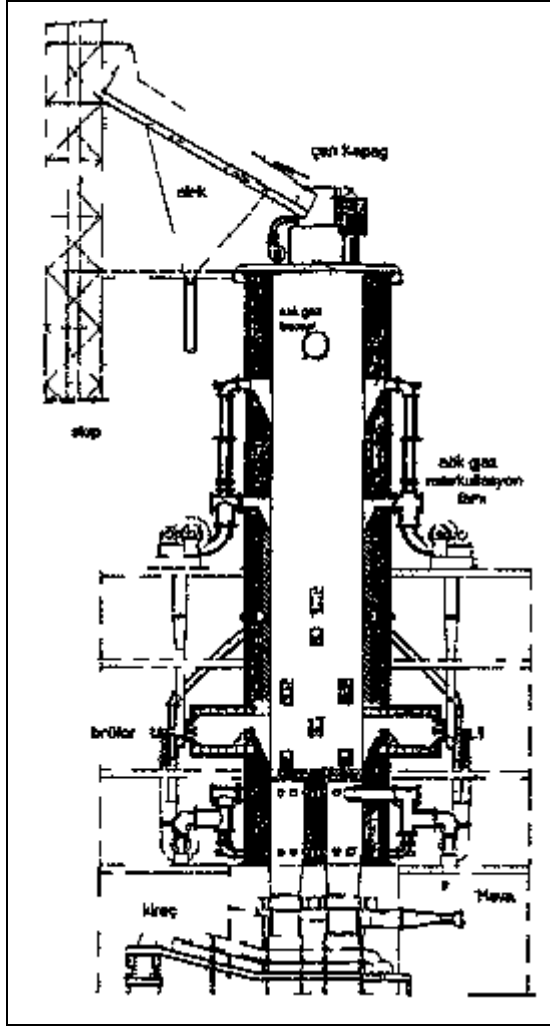
Paralel akımlı fırınların en tanınmışları Maerz fırınları olup bu fırınlar birbirine bağlı 2 veya 3 fırın gövdesinden oluşur. Maerz fırınlarında yakıt bir fırına 12-15 dakika süre ile verilir. Bu fırından çıkan sıcak gazlar ile diğer fırındaki kireç taşı ön ısıtmaya tabi tutulur, yakma süresi tamamlandığında diğer fırına yakıt verilir. Kalsinasyon bu şekilde münavebeli olarak gerçekleştirilir. Maerz fırınlarının ısı verimi çok iyi olup yakıt sarfıyatı 850-950 kcal/kg kireç mertebesindedir. Maerz fırınlarına diğer dik fırınlara beslenen taş ebadından daha küçük ebatta taşlar da beslenebilmektedir.

Maerz fırınları 100-600 t/gün kireç üretimi yapabilecek kapasitededirler. Şekil 3.5.'te Maerz fırınının şematik gösterimi yer almaktadır.

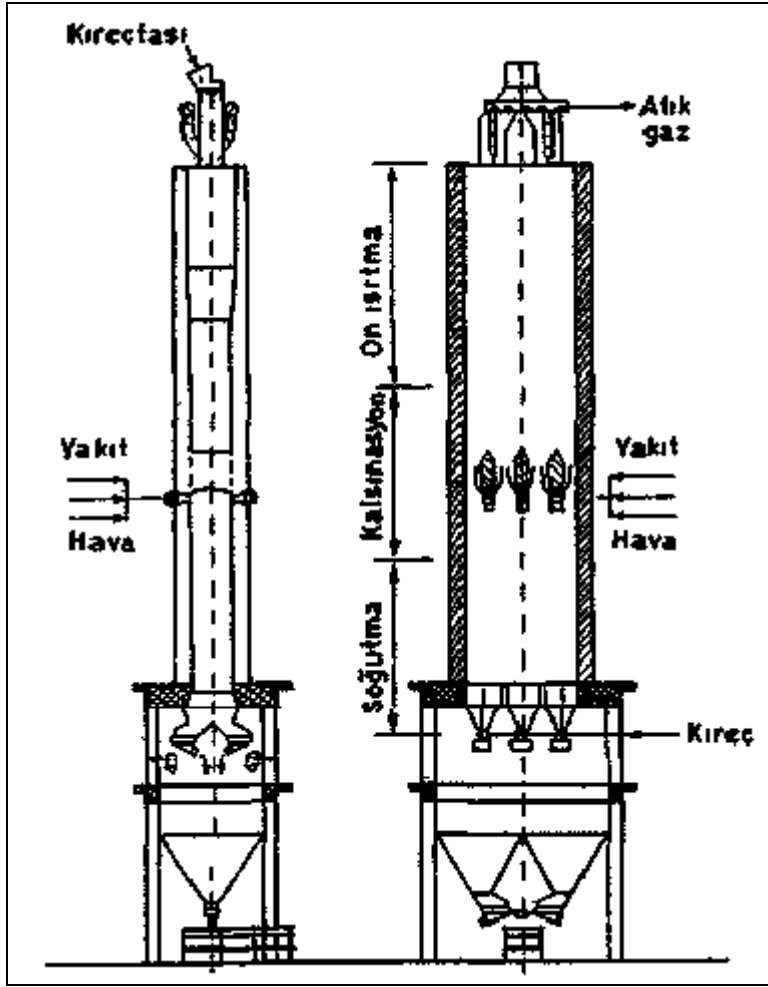


Şekil 3.5. Maerz fırını şematik gösterimi [9]

Dik fırın tiplerinin çoğunda sıcak gazlar ve kireçtaşının akış yönleri terstir (ters akımlı fırın). Bu fırınlardaki enerji tüketimi 950-1700 kcal/kg kireç civarındadır. Dik fırınlara beslenen kireçtaşı ebadı 250 mm kadar büyük olabilmektedir. Dik fırınların kapasiteleri 60-300 t/gün civarındadır. Şekil 3.6.'da yüksek kapasiteli bir dik fırın örneği görülmektedir.



Şekil 3.6. Yüksek kapasiteli dik fırın (150-250 t/gün) [9]



Şekil 3.7. Bir dik fırının şematik gösterimi [9]

Kireç üretiminde kullanılan modern döner fırınlar maksimum 5 m çapında 45-60 m uzunluğunda olup çeşitli tipte ön ısıtma ekipmanları ile donatılmışlardır. Ön ısıtmanın döner fırının içinde yapıldığı eski tip 100 m boyunda döner fırınlar da hala kullanılmaktadır. Döner fırınlarda gaz, sıvı ve katı yakıtlar kullanılabilir. Döner fırınlara beslenen taş boyutu genellikle 10-60 mm dir. ABD' de hemen hemen bütün kireç fırınları döner fırınlardır. Döner fırınların yakıt tüketimi 1250-2000 kcal/kg ile oldukça yüksektir ve toz tutma sistemleri büyük ve masraflıdır. Döner fırınların kapasitesi 150-1500 t/gün civarındadır. Maerz ve döner fırınlarda yumuşak pişmiş yüksek reaktiviteli kireç üretilebilirken, ters akımlı dikey fırın tipleri ile yüksek reaktiviteli kireç pişirmek oldukça zordur. Bu fırınlarda genellikle orta sertlikte ve sert pişmiş kireç üretilebilmektedir. 0.2-3 mm boyutundaki kireçtaşlarının

kalsine edilebildiği fırınlara akışkan yataklı Dorco Fluosolids fırını örnek olarak verilebilir. Çizelge 3.6’da çeşitli kireç fırını tiplerinin kapasitesi, yakıt ve elektrik enerjisi sarfiyatları verilmiştir [9].

Eski döner yataklı fırınların sürekli olarak aşırı yüksek hava fazlalık katsayısıyla çalışmaları söz konusudur. Bu problem nedeniyle yığın kayıpları artar, fırın verimi azalır ve yakıt tüketimi artar. Artan hava fazlalık katsayılarıyla çalışılmasının sebebi, yanma için daha uygun olması, düşük hava fazlalık katsayılarıyla çalışılması durumunda, yanma odasında aşırı yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasıdır [12].

Çizelge 3.6. Çeşitli kireç fırını tiplerinin karşılaştırılması

Fırın Tipi	Kapasite (t/gün kireç)	Fırın Taşı Ebadı (mm)	Yakıt Sarfiyatı (kcal/kg kireç)	Elektrik Sarfiyatı (kWh/t kireç)
Dik fırın				
Basit	40-120	50-250	1100-1700	4-15
Karışık beslemeli	10-300	90-200	-950-1050	4-15
Çift eğimli	10-150	25-55	1000-1150	22-29
Halka kesitli	80-600	20-150	950-1150	25-30
Paralel akımlı rejeneratif (Maerz)	100-600	20-200	850-950	15-34
Döner fırın				
Uzun, ısıtmasız	150-1500	10-65	1500-2000	14-24
Kısa, ızgara ısıtma	150-1500	10-50	1200-1450	20-25
Kısa, şaft ısıtma	150-1500	10-60	1150-1450	17-45
Kısa, siklon ısıtma	-	0-2	1100-1300	23-37
Döner yataklı fırın	-	8-75	1400-1500	29-36
Akışkan yataklı fırın	30-150	0-2	1100-1300	20-25

Kirecin yakılmasında yakıt, kirecin kalsinasyonu için gerekli enerjiyi sağlar. Ayrıca proses ile etkileşim gösterir ve yanma ürünleri sönmemiş kireç ile tepkimeye girer. Kireç fırınlarında çok farklı yakıtlar kullanılır. AB’de en yaygın olan yakıt doğal gazdır, ancak kömür, kok kömürü ve fuel oil de yaygın biçimde kullanılır. Çizelge 3.7’de kireç yakmada kullanılan yakıtlar yer almaktadır. Fırınların çoğu birden fazla yakıt ile çalışabilir ancak bazı fırınlarda belli bazı yakıtlar kullanılamaz. Yakıt ısı kullanımını, çıktı ve ürün kalitesini belirgin biçimde etkiler. Bazı yakıtlar için özel ateşe dayanıklı fırın kaplaması gereklidir.

Çizelge 3.7. Kireç yakmada kullanılan yakıtlar

Yakıt Tipi	Yaygın Olarak Kullanılan	Kimi Zaman Kullanılan	Nadiren Kullanılan
Katı	Bitümlü kömür	Antrasit	Tezek
	Kok kömürü	Linyit	Yağ şisti
		Petrokok	
Sıvı	Ağır fuel oil	Orta fuel oil	Hafif fuel oil
Gaz	Doğalgaz	Bütan/propan üreten gaz	Şehir gazı
Geleneksel olmayan		Ağaç, talaş, kullanılmış lastik, kağıt, plastik	Biyokütle, atık sıvı ve katı yakıtlar

Kireç yakma işlemi için seçilen yakıt (lar) aşağıda belirtilen nedenlerle önem taşır:

- Bir ton kireç başına yakıt maliyeti üretim maliyetinin %40 ila 50'sini oluşturabilir,
- Uygun olmayan bir yakıt büyük işletme maliyetleri doğurabilir ve
- Yakıt kirecin kalitesini, özellikle de kalan CO₂ seviyesini, reaktiviteyi ve sülfür içeriğini etkiler. Buna ek olarak, yakıt seçimi karbon dioksit, karbon monoksit, duman, toz, sülfür dioksit ve nitrojen oksitleri emisyonlarının seviyelerini etkiler, ki tüm bunlar çevresel etkiye sahiptir. Yakıt enjeksiyon sistemine göre hazırlanmalıdır, sistem doğrudan ya da dolaylı yanan tipte olabilir. Katı yakıtlarda, kurulu taşıma sistemine uygun partikül ebadını da içerir. Sıvı ve gaz yakıtlarda gerekli basınç ve (gerektiğinde) ısı korunmalıdır [13].

Kireç fırınlarında uygun refrakter seçimi fırının ekonomik çalışması açısından oldukça önemlidir. Kireçtaşının döküldüğü ön ısıtma bölgesinde çarpma aşınmasına ve ufalanmaya direnci fazla tuğla, yüksek sıcaklıkların olduğu kalsinasyon zonunda ise kimyasal aşınma direnci yüksek ısı iletkenliği az tuğla seçmek gerekmektedir.

Kireç fırınlarında kullanılan refrakter tuğlalar ise iki kısımda incelenebilmektedir.

- Yüksek ısı refrakterleri

- İzolasyon refrakterleri

Yüksek ısı refrakterleri: Yüksek ısı refrakterlerinin aşınma, mekanik, termal şok, kimyasal direnç vb. teknik özelliklerinin yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle modern şaft fırınlarında ön ısıtma soğutma zonlarında genellikle %35-40, kalsinasyon zonunda ve bazan soğutma zonunda %70 Al_2O_3 içerikli alümina refrakter tuğlalar kullanılmaktadır.

İzolasyon refrakterleri: İzolasyon refrakterleri fırının ısı kayıplarını ve çelik fırın iskeletinin aşırı ısınmasını önlemektedir. Özellikle ısının yüksek olduğu kalsinasyon zonunda (tipik duvar kalınlığı 700-800 mm) izolasyon tuğlaları 4-5 kat örülmektedir. İzolasyon tuğlaları ile yüksek ısı tuğlaları arasına ısı tuğlalarının zarar görmesi durumunda belli bir süre devreye girebilecek kalitede şamot tuğlalar konulmaktadır.

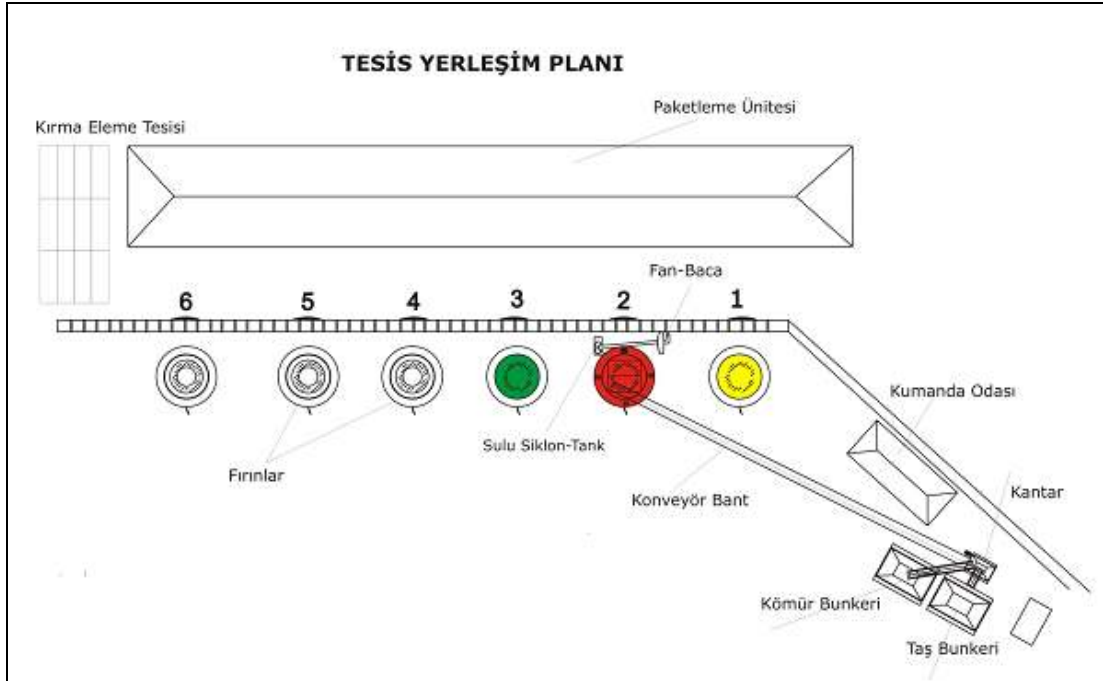
Kireç üretim prosesinde, yanma sonucunda oluşan ve önlem alınmazsa hava kalitesini olumsuz yönden etkileyebilen bazı emisyonlar oluşmaktadır. Bunlar; toz, SO_x , NO_x ve CO_2 'dir. Kok kullanan dikey kalsinasyon fırınlarında baca gazında bulunan teorik CO_2 'in hacimsel oranı %44 olup, bunun %14,6'sı yakıttan, %29,4'ü ise kireç taşından kaynaklanmaktadır [1].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında ülkemizde kireç üretiminde karşılaşılan teknik güçlükler nedeni ile yaşanan yoğun hava kirliliği ve pahalı kireç üretim süreci ele alınmıştır. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda kireç üretim sektöründe yaşanan sorunlar ve sektörel gelişim incelenmiştir. Yapılan literatür araştırmaları ışığında bir kireç fabrikasında mevcut yapı ele alınmış ve teorik hesaplar da dikkate alınarak kullanılan fırınlarda rehabilitasyonlar önerilmiş ve bu rehabilitasyon uygulamalarının gerçekleştirilmesi takip edilmiştir.

Yapılması planlanan yakıt ekonomisi ve hava kirliliği azaltıcı yapısal önlemler yerinde takip edilmiş ve sonucunda baca gazı ölçümleri ve yakıt tüketimleri yerinde yapılmıştır.

Sönmemiş ve sönmüş kireç üretimi yapılan tesiste iyileştirme yapıldıktan sonra, emisyon ölçümleri yapılmış ve Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre (SKHKKY) değerlendirilmiştir. Aşağıda Şekil 4.1'de ölçüm yapılan tesise ait yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 4.1. Ölçüm yapılan tesisin yerleşim planı

4.1. Tesis ve Seçilen Fırın Özellikleri

Yılankale Mevkii Ceyhan/Adana adresinde bulunan tesiste, modernize edilmiş yarı Eberhart tipi, otomasyon uygulanmış kireç fırınlarında rekuperasyonlu ve baca gazı feedbackli, 24 saat bilgisayar kontrollü, ZrO_2 (zirkonyumlu) oksijen sensörlü, baca gazı ve cehennemlik bölgesinde aynı kesitte 2 yönde termokupülle derece kayıtlı, sönmemiş kireç üretimi yapılmaktadır. Üretimde ters akım prensibi uygulanarak sönmemiş kireç elde edilmektedir. Ters akım prensibinde;

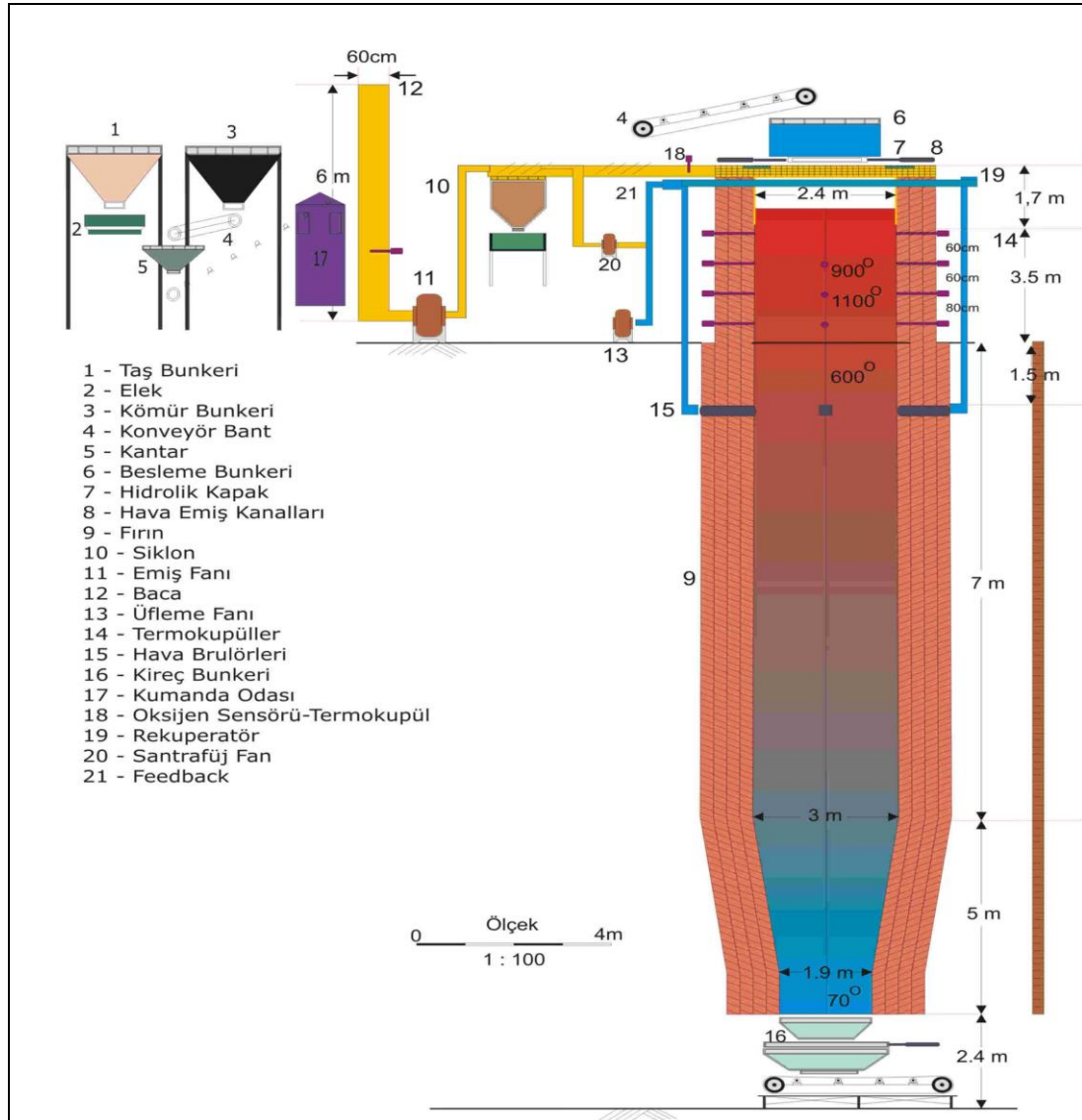
- 1- Havanın aşağıdan girişi ve yanma olayından sonra (hava ve gazların) yukarı çıkışı
- 2- Kireçtaşı ve kömür karışımının havanın gelişine ters yönde aşağı doğru hareket etmesi
- 3- Üretim (yukarıdan) karbondioksit (CO_2) gazı
- 4- Üretim (aşağıdan) kireç şeklindedir.

Kömür; stok sahasından yükleme bunkerine aktarılır. Fırın şarz zamanı geldiğinde konveyör bantla load-cell'li kantara aktarılarak tartılır, vibratörlü boşaltımla konveyör banta aktarılarak fırın üzeri bunkere sevk edilir. Bunker altı hidrolik kapakların eşit zamanlı olarak 15 saniye içinde açılmasıyla fırın kömür şarzu yapılır ve kapaklar kapatılır. Kübikserde homojen olarak 40 - 80 mm ebatlarda kırılan ve sivri noktaları alınıp tek tip taş ebatına sokulan CaCO_3 , ocağa beslenmeden önce 4 x 4 cm delik aralığı bulunan vibratör eleklerle de elenerek %3 oranında temizlenir ve ara firelerin çıkarılması ile load-cell'li kantarda tartılarak vibratörle, konveyör bantla, fırın üzeri bunkerine aktarılır. Kömür şarzu ile aynı uygulama takip edilerek fırın taş şarzu tamamlanır.

Fırının üst kapakları kapalı olarak baca gazı, yukarıdan emiş sistemi uygulanmakta olup 60.000 m³/saat debili fanla 4 adet diagonal 40 x 40 cm pervazlı çerçeveli havalandırma ağzından, ocağı 360 derece çeperli, iç 270 dış 360 üstü kapalı hava kanalından tek merkezden emiş yapılmaktadır. Bu esnada fırın içinde üst çıkış çevresinde yerleştirilmiş olan rekuperasyon boruları içerisinden 5 kW'lık fanla üflenen taze hava aynı zamanda baca gazı sıcaklığını da düşürerek, hava kanallarından rekupare edilerek ısıtılmış olarak cehennemlik bölgesinin alt seviyesine deşarj edilmektedir. Hava kanallarına, ayrıca baca gazlarında bulunan yanma gazlarını da tekrar hava besleme girişine iletecek baca gazı feedback işlemi uygulanmakta ve hem enerji tasarrufu hem de yanma gazları verimliliği ile hava kalitesi sağlanmaktadır. Baca çıkışında son aşama, jetpulse filtreyle filtrelenmekte fan çıkışının tahliyesi de taş bunkerini içinden geçirilerek taşta küçük bir ön ısınma sağlanmakta, bundan sonra baca eksoz gazı çıkışı olmaktadır. Verimli yanmayı sağlamak için fırın üst seviyesinde cehennemlik bölgesinde tuğlaların arasından 2 adet eşit yönlü 24 saat yazıcılı ve fırın otomasyonu PLC ve Scada kontrollü termokupuller ve baca gazı sıcaklığı ile zirkonyumlu oksijen sensörü ile sürekli kayıt yapılmakla kalsinasyon sağlanmaktadır.

Fırın altında Eberhart masa boşaltım sistemi uygulanmaktadır. Konik sac döküş boğazının 20 cm altında, ray üzerinde tekerlekli şasesi bulunan masa, elektrikli switchlerle 30 cm aralıkta hidrolik pistonla ileri geri hareket ile taşıma yöntemiyle

boşaltılmakta ve ocak altında bulunan bantla alınan tam yakma sağlanmış olduğundan T_{60} değeri 8 dakika olan CaO, sanayi kireci olarak bunkere veya söndürülmek üzere torbalama fabrikası bunkerine konveyör bantla sevk edilmektedir.



Şekil 4.2. Ölçüm yapılan fırının kesiti

Tesiste gerçekleştirilen söndürülmüş kireç üretimi aşağıdaki gibidir:

Paketleme tesisi, kireç fırınlarının hemen önünde yer almaktadır. 45 m x 25 m ebatında, 15 m yüksekliğinde çatı ile kapalı alana sahip söndürülmüş torbalanmış

kireç paketleme tesisinde, 20 ton kapasiteli üzeri 8 m yüksekliğinde çinko çatı ile kapatılmış paketleme bunkerine aktarılan kireç; hız sürücü kontrollü, üzeri sac koruma ile örtülü 2 m x 65 cm ebadında konveyör bantla 75 cm çalışma enindeki 10 mm delik çapına sahip primer kırıcıdan geçirilerek boyutları maksimum 9 mm'ye düşürülür.

Bu aşamadan itibaren kapalı devre entegre sistemin içerisine dahil olan kirecin paketleme bunkerine kadar olan ortalama 20 dakikalık yolculuğunda dış ortamla ilişkisi yoktur. Kırıcının yanında bulunan 20.000 m³ kapasitedeki emiş fanı ve 1m x 2 m ebadında 5 m boyunda 15 bez torbalı filtre ile kırılma esnasında besleme çevresindeki oluşabilecek sönmemiş kireç tozları, emilerek filtre edilmekte ve filtrenin alt kısmında kapalı devre klepe ağzıyla çuvallanıp sönmemiş kireç (CaO) tozu olarak ürün haline gelmektedir. Primer kırıcıda ebatları söndürmeye uygun boyuta indirilen sönmemiş kireç, 5 m uzunluğunda 35 cm çapında kapalı U tipi, 3 mm kalınlığında sac helezonla 9 m yüksekliğinde 160 cm x 70 cm ebadında zincirli, kovalı elevatörle söndürme öncesi 2 tonluk bunkere taşınır. Bunkerin altında bulunan 4 m uzunluğunda 35 cm çapında kapalı U tipi, 3 mm kalınlığında sac helezonla, hız sürücü kontrolünde, deviri beslemeye göre belirlenerek, Pfyfer tipi 4 aşamalı söndürücü üniteye aktarılır. Birinci aşamada 50 cm çapında 5 m uzunluğunda U tipi 6 mm kalınlığında sac helezon içerisine gelen sönmemiş kirece, helezonun besleme noktasına en yakın noktada, sulu siklondan geri dönen su tatbik edilir. Sönmemiş kireç su ile reaksiyona girerek 90 °C ısı ile kireç sütü haline gelerek sönmeye başlar (CaOH₂) ve su buharı (H₂O) açığa çıkar. Kalsiyum hidroksit haline gelerek sönen kireç ısı ile kendi bünyesindeki rutubeti bir yandan kaybederek Pfyfer tipi söndürme ünitesinin 4. metresinde, beslendiği 1. aşama karıştırıcının sonuna gelir. 2. aşama karıştırıcı, söndürme ünitesinin yapısı gereği 3. ve 4. karıştırıcılar ile aynı motor ile şanzıman ve zincirli dişli sistemi sayesinde hareket sağlayan üst üste helezon yapısıyla enerji ve yer tasarrufu sağlayan yapıdadır (pfyfer tipi kireç söndürücüleri).

Sistemde; katlara göre helezon içindeki süresiz karıştırıcıların sayısı ve yönleri farklılıklar göstererek homojen ve tam sönme sağlanır. Karışım sırasında sönmeye devam eden ve bu süreçte su buharı oluşumu ve çözülme sayesinde kendi bünyesinde

küçülerek tozlaşmaya başlayan kirecin %70'i 120 mikron altına inerek esasen başka işleme gerek kalmadan torbalanacak hale gelmekteyse de safsızlık için separatörden geçirilecektir.

Sistemin üzerinde 70 cm çapıyla 2 m yükseklikte akuple durumda bulunan 45.000 btu su sütunlu yatay sulu fan ile reaksiyon sırasında ortaya çıkan su buharı emilmeye başlanır. Bu sırada hem soğutmaya katkıda bulunulmakta hem de sistemi ileriki aşamada tıkayacak durumdaki fazla su buharı siklona doğru yönlendirilmektedir. Kurumakta olan ve ebatları küçülerek tozlaşmaya başlayan kireç de bu aşamada fan ile emileceğinden, yatay durumda ve içine 3 noktadan fıskiye şeklinde su püskürtülen fan çıkışında nisbeten tekrar yoğunlaşarak siklon içerisine geri düşen kireç ile beraber su, besleme noktasına yakın durumdaki girişe 40 cm çapında boru ile yönlendirilerek sistemde tutulur. Böylelikle su, hem reaksiyonun başlatılmasında hem de kaçak kireçlerin sisteme dahil edilmesinde kullanılmış olur. Siklon üzerindeki 45 cm çaplı 14 m uzunluğundaki buhar tahliye bacasına ulaşan su buharı, fabrika çatısı üzerinden tahliye edilir. Gelecekte sıcak buhar olarak tekrar alternatif kullanımı üzerinde muhtelif çalışmalar sürdürülmektedir.

İkinci, üçüncü ve dördüncü aşamaları tamamlayan sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) pfiyer sistemli söndürmeyi terk ederken 45 cm çapında 3 m uzunluğundaki sürekli formlu 5 mm kalınlığındaki sac helezon ile seperatör besleme elevatörüne aktarılır. 13 m yüksekliğinde, 150 x 50 cm genişliğindeki zincirli kovalı besleme elevatöründen separatöre aktarılır.

Çift tahrikli hız sürücü kontrollü 270 cm çapında 6 m yüksekliğindeki separatörde hava emişi prensibiyle 120 mikron üzeri toz kireçler torbalama bunkerine aktarılmak üzere hava kesici hücre tekerine gelir. Hemen 250 cm uzunluğundaki 35 cm çaplı sürekli formlu U tipi helezonla önceki ile aynı ebatlardaki torbalama elevatörüne aktarılan sönmüş kireçler torbalanmak üzere paketleme bunkerine taşınır. 120 mikron üzerindeki taneler separatörde reddolarak, separatörün iri mal tahliye kısmından helezonla alınarak elevatör ile değirmen bunkerine aktarılır.

Değirmen bunkerinin altında klepe ayarıyla besleme hızı ayarlanan taneler 3 m uzunluğunda 25 cm çapındaki U tipi kapalı helezonla bilyalı değirmene aktarılır. 300 x 140 cm ebadındaki soft starterlı bilyalı değirmen içerisinde öğütülen kireç, 6 m uzunluğunda 35 cm çaplı U tipi kapalı 4 mm kalınlığında sac helezonla söndürme çıkışındaki helezona tekrar boşaltılarak yeniden separatörden geçirilmek üzere sisteme dahil edilir.

Paketleme bunkerinin altında 4 adet torbalama memesi bulunur. 2 personel ikişer memeye kağıt torbaları takar. Elektrik kumandalı başlatma ile kraft kağıtlı kireç torbaları dolmaya başlar. Tartımdaki switchlerin dolma tartısını otomatik ayarlaması ve kesmesiyle havalı pistonlar dolumu durdurur. Dolu torbalar paketleme bunkerini altından zincir tipli bant ile alınarak yüklenecek kamyonu doğru sevk edilir. Kamyon üzerinde 2 personel torba düzenlemesini yapar ve sevke hazır hale getirir.

Genel itibariyle torbalama sırasında oluşabilecek tozuşma ve kaçaklar ile ortam için, 65.000 btu su sütunlu fanlı kapalı devre jet-plus filitre ve 2 adet hava kompresörü ile toz muhtelif noktalarda davlumbazlar yardımıyla emiş yapılarak tutulur ve toz ürün olarak kullanımı için torbalama bunkerini besleme elevatörüne helezon ile aktarılır.

Söndürme ve torbalama tesisi gündüz tek vardiya, pazar koşullarına ve mevsimsel olarak çalışma yapmaktadır.

4.2. Yapısal İyileştirmeler

Tesiste açıkta depolanan yığma malzemenin hava kalitesi standartlarını sağlaması amacıyla Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1.d. gereğince, toz yapan yanma ve üretim artıklarının taşınmasında taşınan malzemenin tozunu önleyecek derecede nemli olmaması halinde kapalı taşıma sistemleri kullanılır, denilmektedir. Bu doğrultuda önlemler alınmıştır. Tesiste 1 mm ve altındaki dökme malzemeler sadece kapalı alanlarda işlenmektedir. Ayrıca tesis içi yollar tozlamaya karşı seyyar sulama ile sulanmaktadır. Araziye rüzgarı kesici yönde

beton perde ve taş duvarlar yapılmıştır. Açıkta depolanan malzemenin üzeri kapatılmıştır.

Tesiste bulunan bacalarda radikal değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bacalar doğrudan atmosfere açılmamaktadır. Fırın dışından 800 mm/su sütunu basıncına sahip bir hız kontrollü fanla üretilen basınçlı hava önce 22 cm çaplı boruyla Y yollu dirseklerle eşit şekilde 4 adet 27 cm çaplı boruya dağılmakta ve fırın tepesinden dolaşarak yaklaşık 100 °C ısıdıktan sonra fırın tepesinden 6 m aşağıda aralarında 90 derece mesafe oluşturacak şekilde çeperlerden fırına verilmektedir. Fırın tepesinden aşağıya inerek cehennemliğe doğru ilerleyen kalker+petrol koku ön ısıtmaya tabi olarak aşağıya ilerlerken yanma olayı için gerekli oksijen yaklaşık 100 °C ısıya sahip 4 adet borudan verilmekte ve yanma olayı gerçekleşmektedir. Kalker+petrol kokunun otomatik tartılarak şarj edildiği fırın tepesinde 20 mm kalınlığında yanal kaymalı iki parçalı klepe bulunmaktadır. Hidrolik olarak kumanda odasından açılıp kapanabilen bu klepenin hemen altında (fırın tepesinde) 8 adet 16 cm çapında emiş boruları aralarında 45 derecelik mesafe bırakacak şekilde tüm yanma gazlarını emerek bir sonraki fırının tepe noktasından 6 m aşağıdan 4 adet 27 cm çaplı boruyla ısınmış olarak verilmektedir. Birleşmelerden ve dirençlerden azalan hava basınçları hız sürücülü fanlarla ayarlanarak istenen debiler yakalanmakta ve sabitlenebilmektedir. Aynı mantıkla tüm fırınlar dolaştırıldıktan sonra sonuncu fırının tepesinden emilen yanma gazları toplanarak 60 cm çaplı bir bacadan atmosfere deşarj edilmektedir.

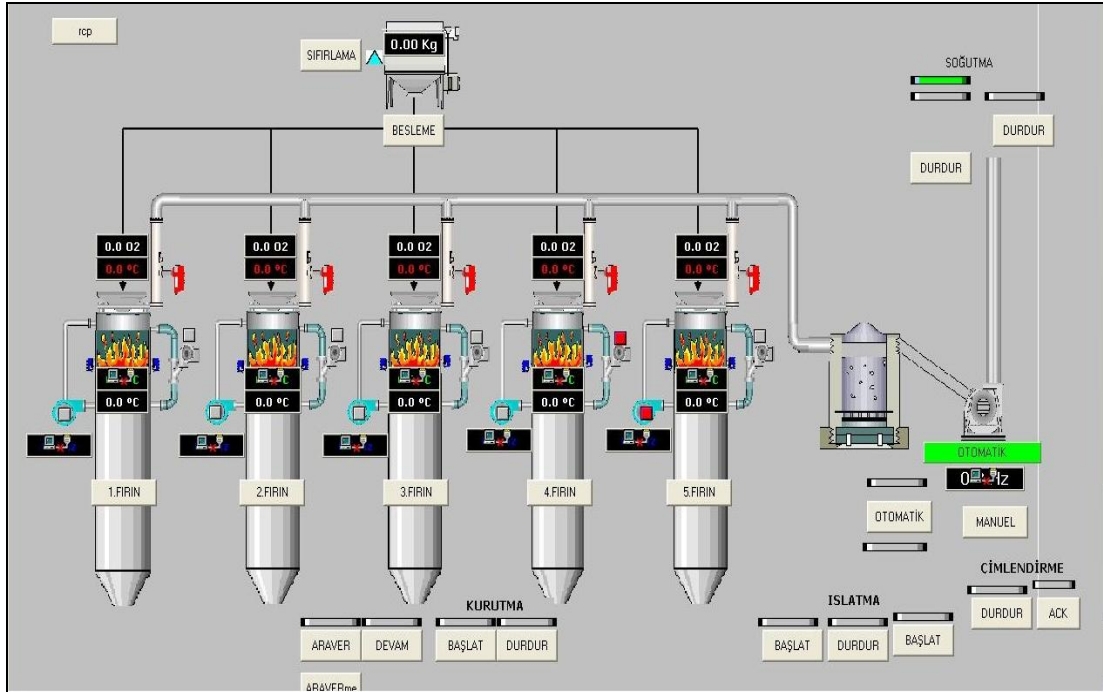
Yakıt tüketiminde birim enerji kullanımında ise yaklaşık % 25 lik bir yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Kontrollü yakma sisteminde baca gazında yeterli hava fazlalığı oluşacak biçimde bir yakma havası kontrolü uygulanmıştır. Bu baca gazı kontrolü ile yanmamış gazlar aynı zamanda bir reküpatarif ön ısıtma sistemi kullanılarak hava ön ısıtması sağlanmış aynı zamanda fırında kömürün yanma zamanında açığa çıkan aşırı CO ve hidrokarbonların baca gazı oksijen seviyesinin kontrolü ile geri yanma odasına beslenmektedir.

Eberhart tipi fırınlarda yanma kontrolü baca gazı oksijen ölçümleri ve yanma odası sıcaklık ölçümleri ile gerçekleştirilmektedir. Üç adet kurulu fırında kirletici baca gazı oluşumları bir adet yaş ve bir adet kuru filtreden geçirilerek aynı bacadan atılmaktadır. Her bir fırından oluşan yoğun emisyon içeren gazlar ilk çıkış sırasında yanma odasına geri verilmektedir. Bu sayede petrol kokunun tutuşması sürecinde yoğun hidrokarbon içerikli gazlar 900 °C ve üzerindeki yanma bölgesine sevk edilerek yakılmaktadır. Bu sayede ölçüm sonuçlarından ve tesis resimlerinden de anlaşılacağı üzere baca gazı emisyonu çok büyük oranda azaltılmıştır.

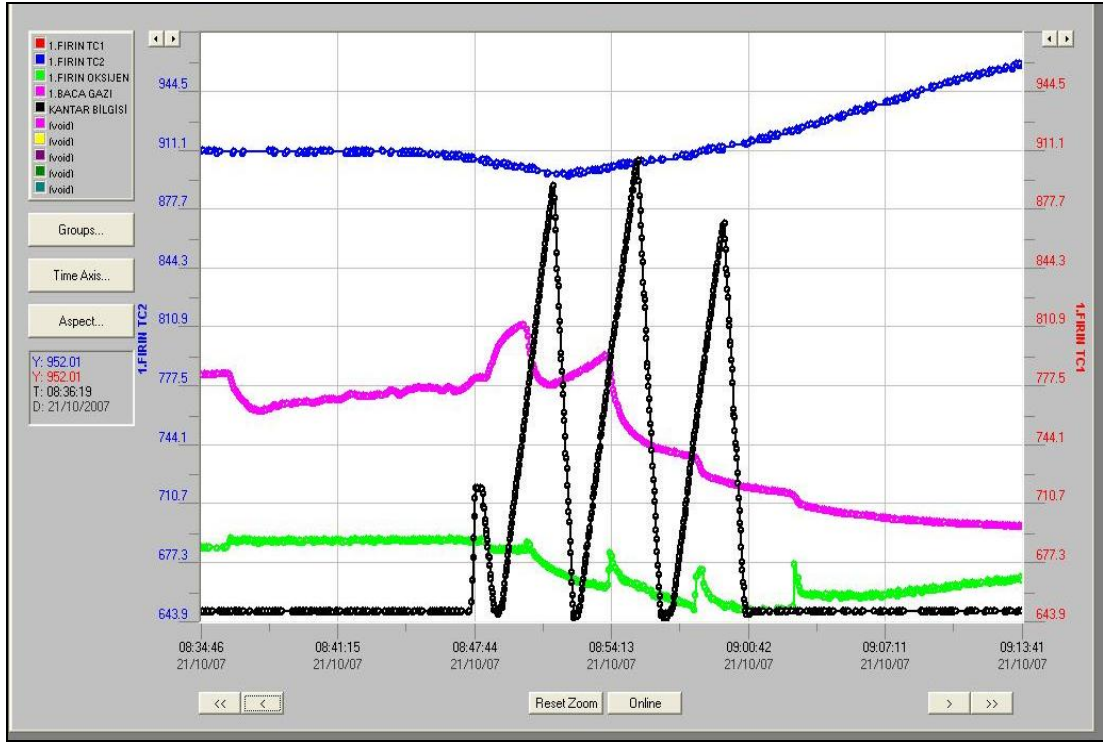
Yakıt olarak petrol koku kullanılan tesislerde aranan özellikler yönetmelikteki ilgili maddede (SKHKK Yönetmeliği Ek-5.C 5.3.4.), petrol kokunun pulverize edildiği veya yüklendiği bölgede baca gazında petrol kokunun veya atık yağın yanması sonucu oluşan yanmış gaz yanma bölgesinde 900 °C ve en az 0,3 s kalmalıdır, olarak verilmektedir. Baca gazı geri dönüşüm sistemi uygulaması ve otomatik kontrol ile prosesin gerçekleştirilmesi sonucu sistemde üç adet fırın bacası tek bir filtre grubundan atmosfere atılmaktadır. Filtre öncesi yanma gazları fırın içerisine yerleştirilen çift kademeli reküperatör düzeneği kullanılarak reküperatif olarak ısısını bırakmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu sayede kullanılan petrol kokunun miktarı birirm ürün başına azaltılmakta ve oluşacak tüm emisyon parametreleri kütleli bazda azaltılmış olmaktadır. Bu sırada sürekli olarak bacada oksijen analizleri ve yanma odası sıcaklık ölçümleri yapılmış ve kaydedilmiştir.

Tesisteki en önemli yenilik ilk fırından çıkan ve deneme ölçümlerinde yüksek kükürt ve CO içerikli kirli baca gazının atmosfere deşarj edilmeden bir sonraki fırının CaO'ce zengin ve henüz soğumamış aktif CaO oranı yüksek bir bölgeden geçirilmesi ve 900 °C'nin üstünde bir sıcaklığa sahip olduğu saptanan cehennemlik (esas kalsinasyon) bölgesinden zorunlu olarak geçirilmesi CO emisyonunu azaltmakta, petrol kokundan kaynaklanan yüksek kükürdün kalkerin reaksiyonu sırasında küle ve sönmemiş kirece geçmesi, ayrıca kanserojen özellikli PAH'ların da 900 °C'lik sıcaklıkta 0,3 sn'den fazla bir zaman kalarak parçalanması, beklenen sakıncaları

gidermektedir. Fırın çeperlerine yerleştirilen ısı termokupulları, O₂ sensörleri yanma olayının seyrini takip eden operatörü sürekli uyarmakta ve hız sürücülü fanlarla gerekli O₂ hız artırılarak verilebilmektedir. Şarjları takip eden kısa süre sonra ısı yükseldiğinde de fan hız ayarlarıyla otomatik olarak yanma olayı kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.3. Tesiste uygulanan otomasyon sistemi ve elektronik kontrol üniteleri



Şekil 4.4. Anlık fırın verilerini gösteren bilgi sistemi

4.3. Test Metodları ve Analiz Cihazları

Ölçümde bacada toz ve gaz ölçüm cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlara ait teknik özellikler ve standartları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.3.1. Ölçümde kullanılan cihazlar ve özellikleri

Baca gazı termodinamik özellikleri, sıcaklık, gaz hızları, hacimsel debi, gaz nem içeriği uluslararası kabul görmüş metotlara uygun olarak ve sertifikalı cihazlar kullanılarak ölçülmüştür. Baca gazı toz konsantrasyonu ve saatlik toz emisyon miktarı izokinetik örnek alma metodu ile ANDERSEN 90-800-1 Model bir cihaz kullanılarak ölçülmüştür.

Baca gazı hızı standart bir pitot tübü veya türbinli hız ölçer kullanılarak belirlenmektedir. Baca gazı sıcaklık ölçümlerinde farklı çalışma sınırlarına sahip ısı çiftler kullanılmaktadır. Baca gazı O_2 , CO , SO_2 , NO_x emisyonları kalibrasyonu yapılmış

MADUR 40 T Plus baca gazı analizörü kullanılarak yerinde en az üç ölçüm yapılarak belirlenmiştir.

Ölçümlerde kullanılan cihazlara ait tanımlamalar ve çalışma prensipleri aşağıda kısaca verilmiştir.

1- ANDERSEN Universal Stack Sampler : Andersen Universal Stack Sampler Model 90-800-1, BS 6069 ve BS 3405 ile ISO 9096 standartlarına uygun olarak üretilmiş bir cihaz olup izokinetik örnek alma metodu kullanılarak baca gazı içerisindeki partikül madde konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılır. Örnek alma sisteminde, ısıtılmış hatlar ve bir yoğunlaştırıcılığı nem alma ünitesi, standart keskin ağızlı farklı çaplarda nozul takımları, standart ve kalibre edilmiş gaz akış ölçer ve gaz sayacı, sıcaklık ve basınç ölçerler bulunmaktadır. Baca gazı içerisinden alınan gaz numunesi içerisindeki partikül maddeler, nozul başlığı içerisine yerleştirilen camyünü elyafından üretilmiş standartlara uygun filtreler içerisinde toplanmaktadır. Örnek alma noktaları kanal kesitine ve bağlantı biçimine göre belirlenir ve hatanın minimize edilebilmesi amacıyla mümkün olduğu kadar çok sayıda noktada örnekleme yapılır.

İzokinetik biçimde emilen baca gazı içerisindeki partiküller filtre içerisinde toplandıktan sonra kurutularak tekrar tartılır. Partikül konsantrasyonu partikül kütlesi ve emilen gaz numunesi hacmi üzerinden hesaplanır.

2- MADUR 40 T Plus : Kimyasal sensörler kullanarak baca gazında belli gazların mevcudiyetini ve konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla üretilmiş bir cihazdır. Baca gazı içerisindeki O₂, CO, SO₂, NO_x gazlarının konsantrasyonları bu cihaz kullanılarak yapılmaktadır. Sistemde gaz numunesi alınırken subuharının uzaklaştırıldığı bir peltier kurutucu mevcuttur. Herbir sensör ayrı ayrı standart kalibrasyon gazları kullanılarak kalibre edilmektedirler. Kullanılan sensörlerin kullanım ve raf ömürleri oldukça kısa olduğundan çok sık biçimde kalibrasyon kontrollerinin yapılması gerekmektedir.

Cihazın uygun kanalları kullanılarak basınç ölçümleri, sıcaklık ölçümleri ve pitot tübü ile hız ölçümleri eş zamanlı olarak yapılabilir, kayıt altında tutulabilir. Cihazın mikroişlemcisi kullanılarak istendiği kadar sıklıkta ölçüm sonuçları hafızasında kaydedilebilir. İstendiğinde bilgisayara taşınarak ölçüm hataları minimum seviyeye indirilebilir.

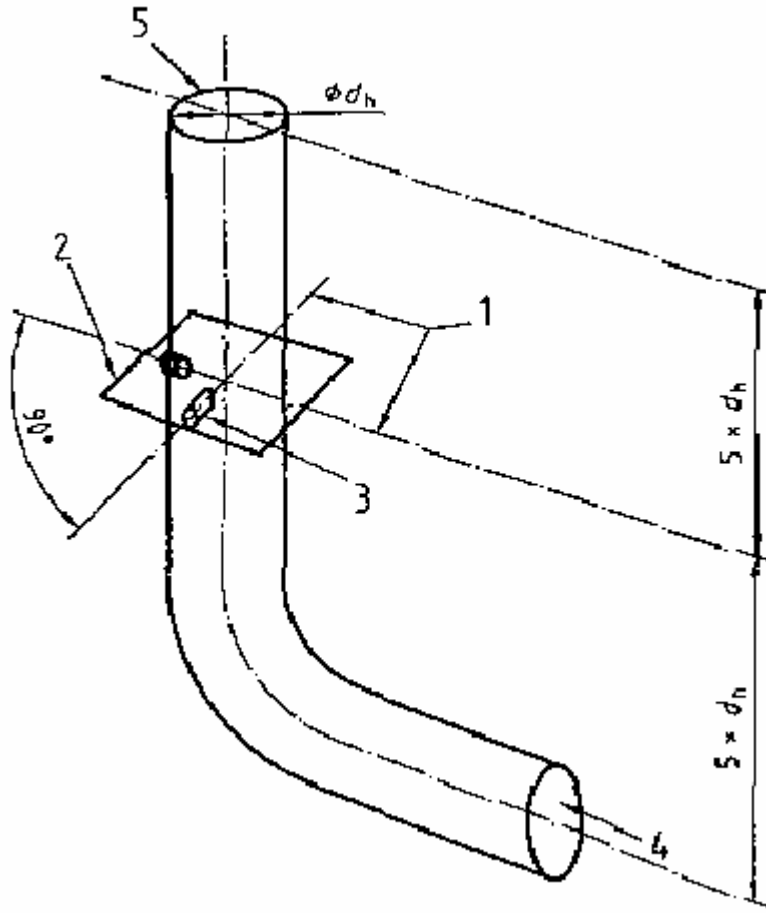
4.3.2. Ölçüm standartları ve metodları

Tesiste yapılan ölçümler ve kullanılan cihazlar Çizelge 4.1.'de açıklanmıştır. Ölçüm yöntemleri, TSE ve Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından onaylanmış yöntemlerdir.

Çizelge 4.1. Ölçüm metodları ve cihazlar

Ölçüm Parametresi	Ölçüm Yöntemi	Kullanılan Cihaz	Metodlar
Yanma gazları	Elektrokimyasal hücre metodu	Madur 40 T Plus	CO – ISO 12039:2001 NO/NO ₂ /NO _x –EPA CTM 022 SO ₂ – TS ISO 7935
Baca gazı hızı	Pitot tüpü	Madur 40 T Plus	EPA Metod 2
Toz	Gravimetrik metod	Andersen 90-800-1	VDI 2066:1975 ISO 9096:2003 EPA Metot 17:2000
İslilik	Renk karşılaştırma	Madur 40 T Plus	TS 9503

Deneye başlamadan önce, numune alma noktası tespit edilerek gerekli incelemeler yapılır. Numune alma noktaları ilgili standartlara (örneğin, TS ISO 9096 “Sabit Kaynak Emisyonları-Tanecikli Maddenin Kütle Derişiminin Elle Tayini”) uygun olarak tespit edilir. Numune alma noktası, düz bir baca veya kanal üzerinde bulunmalıdır. Numune alma noktası, atık gazın akımın karakterini bozan etkilerden (atık gazın akım hattı üzerinde bulunan fan, vanalar, dirsek (dönüm), daralma veya genişleme yerleri başka bir akımla birleşme veya ayrılma yerlerinden) yeterli uzaklıkta olmalıdır. Gaz akışını engelleyecek veya yönünü değiştirecek herhangi bir etken bulunmamalıdır.Şekil 4.5.'de bacada numune alma hattı ve düzlemi görülmektedir.



Şekil 4.5. Bacada numune alma hattı ve düzlemi

- 1) Numune alma hatları 2) Numune alma düzlemi
- 3) Giriş deliği 4) Akış 5) Baca tepesi

Düz baca veya kanalın uzunluğu 7 hidrolik çap kadar olmalı, numune alma düzlemi 5 hidrolik çap mesafede tayin edilmelidir. Eğer, baca veya kanal söz konusu düz hat sonunda açık havaya açılıyorsa, baca çıkışına olan mesafenin 5 hidrolik çap kadar olması gerekmektedir.

CO (karbonmonoksit), CO₂ (karbondioksit) ve O₂ (oksijen) ölçümlerinde TS ISO 12039 standardı kapsamında elektrokimyasal sensör prensibi ve yakıt tipine göre hesaplama yöntemleri, NO (azotmonoksit), NO₂ (azotdioksit) ve NO_x (azotoksitler) ölçümlerinde EPA CTM 022 standardı kapsamında elektrokimyasal sensör prensibi ve hesaplama yöntemleri, SO₂ (kükürtdioksit) ölçümlerinde TS ISO 7935 standardı kapsamında elektrokimyasal sensör prensibi kullanılmaktadır.

Ölçümler sırasında emisyon kaynağı içindeki ortalama derişimin temsil edilmesine dikkat edilir. Ölçüm yeri, emisyon kaynağında, gazın akışını ciddi olarak bozan bir düzenden uzak bir yerde olmalıdır. Kirletici, kesitte farklılık gösterebilir. Kesit alanının çeşitli noktalarındaki derişim, akışın homojenliğini ve hava sızmasının veya gaz tabakalaşmasının olup olmadığını belirlemek için kontrol edilmelidir. Gerekirse birden fazla noktadan ölçüm alınarak tüm sonuçların ortalaması dikkate alınmalıdır.

Gerekli olduğunda ölçümler yasal mevzuatların istediğı şekilde (emisyon kaynağı işletme şartları rejime girdikten sonra ve tesis tam yükte çalışırken veya tesis işletme şartlarına göre maksimum kapasitede çalışırken) yapılır, elde edilen ölçüm sonucunun kararlı hale gelmesi ile tamamlanır ve ölçüm değeri kayıt altına alınır. Aksi belirtilmedikçe, bacada 3 ayrı ölçüm yapılır.

Toz (partikül madde) ölçümlerinde TS ISO 9096, VDI 2066 ve EPA Metod 17 standardı kapsamında gravimetrik ölçüm prensibi kullanılmaktadır.

Numune alma noktalarının sayısı ölçüm düzleminin boyutlarıyla belirlenir. Çizelge 4.2.'de dairesel bacalar için kullanılan numune alma noktaları için en az sayı verilmektedir. Kullanılan numune alma noktaları numune alma düzlemindeki eşit alanların merkezinde yer almalıdır. Numune alma noktaları iç kanal duvarından numune alma çizgisi uzunluğunun % 3'ü içerisinde veya 3 cm mesafede yer almamalıdır. Hesaplamalar bu saha içindeki numune alma noktası pozisyonları ile sonuçlandırıldığı zaman, bu alanın iç kenarı tercih edilir.

Çizelge 4.2. Dairesel bacalar için minimum örnekleme noktası sayısı

Örnekleme yüzey alanı	Baca çapı	Minimum örnekleme çizgi (çap) sayısı	Çap başına düşen minimum örnekleme noktası sayısı: merkez nokta		Yüzey başına düşen minimum örnekleme nokta sayısı merkez nokta	
M ²	m		Dahil	Hariç	Dahil	Hariç
<0.09	<0.35	-	1*	-	1*	-
0.009-0.38	0.35-0.70	2	3	2	5	4
0.38-0.79	0.70-1.00	2	5	4	9	8
0.79-3.14	1.00-2.00	2	7	6	13	12
>3.14	>2.00	2	9	8	17	16
* Sadece tek bir örnekleme noktası kullanmak standartlarda belirlenenden daha fazla hataya yol açabilir.						

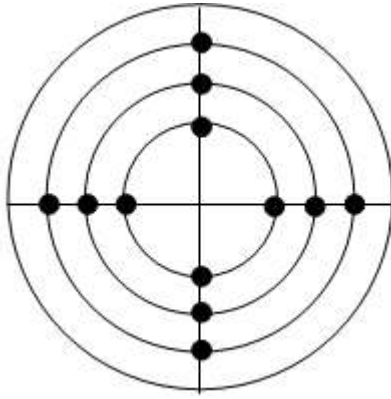
Numune alma noktaları dairesel kanallar için, numune alma düzleminin dairesel olarak eşit alanlara bölünmesiyle bulunur. Herbiri, her alanın merkezinde olan numune alma noktaları, iki veya daha fazla çap üzerinde, bir noktada kanal merkezinde yer alacak şekilde bulunmalıdır. Kanal merkezine ulaşılamayan durumlarda merkezden numune alınmamasına göre tasarlanmış noktalardan (tanjant kuralı) numune alınır (n_d : Numune alma hattı başına numune alma noktası sayısı).

Çizelge 4.3. Dairesel bacalarda genel kural (merkez dahil)

i	n_d	3	5	7	9
1		11,3	5,9	4,0	3,0
2		50,0	21,1	13,3	9,8
3		88,7	50,0	26,0	17,8
4			78,9	50,0	29,0
5			94,1	74,0	50,0
6				86,7	71,0
7				96,0	82,2
8					90,2
9					97,0

Çizelge 4.4. Dairesel bacalarda tanjant kuralı (merkez hariç)

i	n _d	2	4	6	8
1		11,6	6,7	4,4	3,3
2		85,4	25,0	14,6	10,5
3			75,0	29,6	19,4
4			93,0	70,4	32,3
5				85,4	67,7
6				95,6	80,6
7					89,5
8					96,7



Şekil 4.6. Dairesel bacalarda ölçüm noktalarının düzeni

Filtre ya tek başına yada filtre desteği ile birlikte etüvde 160 °C’ de en az 1 saat kurutulur. Desikatör içinde en az 8 saat soğutulur, hassas terazide tartılır. Tartım sonuçları, ortam nem, atmosferik basınç, sıcaklık verileri ile kurutma ve soğutma sürelerini içerecek şekilde kaydedilir. Değişen sıcaklık ve nem oranı koşulları için düzeltmeyi sağlamak amacıyla koşullandırma ve tartım işlemlerinde tanık filtreler kullanılır. Tüm tartılan maddeler temiz taşıma kaplarında çalışma platformuna götürülür. Her tartım işlemi öncesinde referans ağırlık seti vesilesiyle terazinin ara kontrolü yapılır.

Numune almadan önce, numune alma hattında sıcaklık ve hız değerleri ölçülür. Bu işlemler ile numune alma pozisyonunun uygunluğuna karar verilir.

Her bir numune noktasındaki numune alma süresi mümkün olduğunca 3 dakikadan az olmamalıdır. Fakat numune alma toplam süresinin belirlenmesinde şunlarada dikkat etmek ve uygulamak gerekir; tartım için yeterli miktardaki maddenin toplandığından emin olmak, ayırma verimini veya numune alma cihazının çalışmasını etkileyebilecek aşırı miktarda maddenin birikmesini önlemek, numune alma noktalarının sayısı, tesisin çalışma şekli (sürekli veya kesikli) ve çalışma döneminin süresi, yerleşim ve çevre şartları.

Prob, emisyon kaynağı içerisine yerleştirildiğinde veya çıkartıldığında, hiçbir partikül nozzle' dan içeri girmemeli veya düşmemelidir. Partiküllerin tamamının kazanılması veya kaybının önlenmesi için; numune alma hattı boyunca hiçbir gaz akışına izin verilmemeli, nozul gaz akış yönüne doğru dik olarak tutulmalı ve prob herhangi bir toz birikimi ile temastan kaçınılması için büyük bir dikkatle kullanılmalıdır.

Prob, numune alma noktaları arasında hızlı bir şekilde hareket ettirilir. Bu işlem sırasında, nozzle' un gaz akışına dik durumda olmasına dikkat edilir.

Tartım işlemleri sona erdikten sonra tartımı yapılan parçalar alkol veya aseton ile dikkatli bir şekilde temizlenir, fırçalanır ve bu şekilde yapışkan partiküllerin uzaklaştırılması sağlanmış olur.

Etüvde 160 °C' de en az 1 saat kurutulan ve desikatörde en az 8 saat bekletilen filtre veya filtre ve filtre desteği tartılır. Filtrelerin etüvde kurutma ve desikatörde bekletme sürelerinin, ilk tartımda kayıt altına alınan sürelerle aynı olmasına dikkat edilir. Yapılan işlemler, tanık filtre için de aynen uygulanır. Tartım sırasında ortam sıcaklık, nem ve atmosferik basınç değerleri kayıt altına alınır. Her tartım işlemleri öncesinde referans ağırlık seti ile terazinin ara kontrolü yapılır.

Referans ağırlığın tartım işlemleri sonrasında tartım farkının veya tanık filtrenin ilk ve son tartım farkının ± 0.2 mg'ın üzerinde olması durumunda, ilk ve son tartım

tariflerindeki ortam sıcaklık, nem ve atmosferik basınç durumları kontrol edilerek gerekli düzeltmeler yapılır.

İslilik ölçümlerinde TS 9503 standardı kapsamında renk karşılaştırma metodu (bacharach ve ringelman skalaları gibi) kullanılmaktadır.

Ölçümler sırasında emisyon kaynağı içindeki ortalama isliliğin temsil edilmesine dikkat edilir. Ölçüm yeri, emisyon kaynağında, gazın akışını ciddi olarak bozan bir düzenden uzak bir yerde olmalıdır. islilik, kesitte farklılık gösterebilir. Kesit alanının çeşitli noktalarındaki islilik, akışın homojenliğini ve hava sızmasının veya gaz tabakalaşmasının olup olmadığını belirlemek için kontrol edilmelidir. Gerekirse birden fazla noktadan ölçüm alınarak tüm sonuçların ortalaması dikkate alınmalıdır.

Deney lekelerine en yakın olan standart skaladaki (bacharach ve ringelman gibi) duman leke numarası esas alınarak islilik tayin edilir.

Gerekirse, tayin işlemi, emisyon kaynağı işletme şartları rejime girdikten sonra ve tesis tam yükte çalışırken veya tesis tam yükte çalıştırılmıyorsa tesisin çalışabileceği maksimum kapasitede yapılır ve ölçüm değeri kayıt altına alınır. Aksi belirtilmedikçe, bacada 3 ayrı ölçüm yapılır.

4.4. Üretimde Kullanılan Yakıt Cinsi ve Isıl Değerleri, Yakıt Özellikleri, Yıllık Tüketim Miktarları Hakkında Bilgiler

Tesiste yakıt olarak petrokok kullanılmaktadır. Kullanılan bu petrokokun yakıt ısıl gücü 7,844 kcal/h olup, yıllık 600 ton civarında tüketim miktarına sahiptir.

Petrokok'un en önemli avantajları, ısı değerinin bütün katı yakıtlar arasında en yüksek olması ve diğeri ise kül oranının düşük olmasıdır. İyi yıkanmış bir taşkömürünün bile yüzdesi daha fazladır. 0–90 mm tane büyüklüğünde petrokok, kömür gibi kullanılır. Normal kamyonlar, nehir mavnaları, silepler vasıtasıyla nakledilebilir ve açık havada problemsiz olarak bırakılabilir. Kömürlerde olduğu gibi oksidasyon ve kendi kendine tutuşma tehlikesi yoktur. Böylece uzun zaman enerji

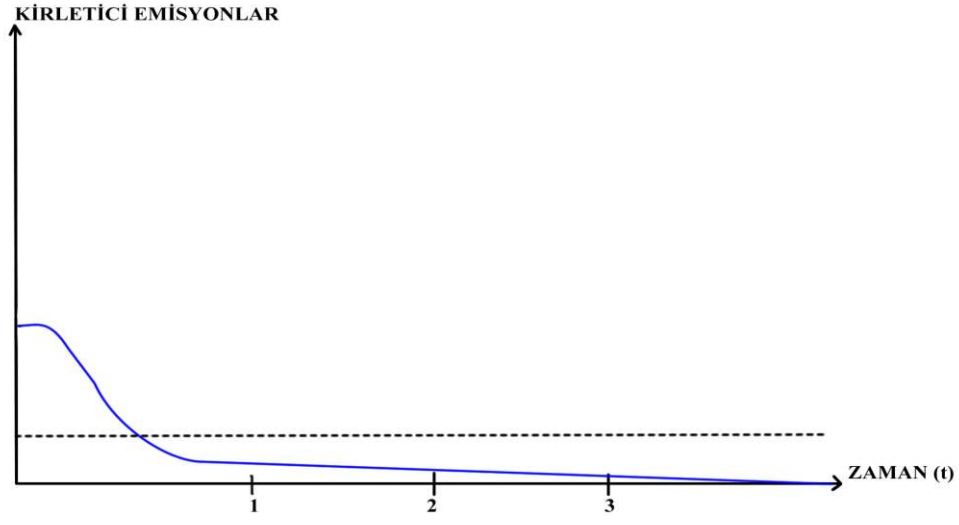
kaybı olmaksızın açık havada kalabilir. Kükürdün yüksek olması ise bir dezavantaj yaratır [14].

Yanma ürünlerinin, üretilen kireçle temas halinde bulunduğu modern kireç fırınlarında SO₂'nin önemli bir bölümü kireç tarafından tutulur. Kireç fırınından atmosfere atılan SO₂ emisyonu genel olarak yakma tesislerinde verilenin çok altındadır. Ayrıca yakıttaki kükürdün %97-100 arası üründe (kireçte) tutulduğu görülmektedir [15].

4.5. Ölçümler

Tesiste iyileştirme yapılmadan önce ölçümler yapılmıştır. Ancak bu ölçümlerde parametrelerin tamamının sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle iyileştirme öncesi ölçüm sonuçlarına yer verilmemiş olup, yönetmelikte yer alan sınır değerlerle ayrıntılı karşılaştırması yapılmamıştır. Tesiste yapılan iyileştirmelerden sonra 29.09.2008 tarihinde ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.5.'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu ölçümler Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca tesiste 21.05.2008 tarihinde de PAH ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan baca gazı emisyon ölçümleri herbir ölçüm periyodunda, zamana bağlı aritmetik ortalama alınarak belirlenmiştir. Ölçme ve değerlendirmeye ait bir şematik gösterim aşağıda Şekil 4.7.'de verilmiştir. Bu şekilde 1. evre yakıt tutuşma evresini, 2. evre taş pişme süresini ve 3. evre de soğuma evresini temsil etmektedir.



Şekil 4.7. Kirlotici emisyonların zamana bağılı değışimleri ve hesaplanmaları

Emisyon ölçümlerinde kullanılan cihazlara ve hesap yöntemine ait belirsizlik analizi Ek-3’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kirlетici kaynaklara ait emisyon ölçümleri

Kaynak No : 1	Kireç Fırın Bacası				
Max. Tüketilen Yakıt Miktarı (kg/h)	1200				
Yakıt Türü, Yakıt Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Petrokok-7844				
Isıl Güç (MW)	4,550				
Baca Kesit Alanı (m ²)	0,28				
Yerden Yüksekliği (m)	24				
Çatıdan Yüksekliği (m)	6				
Çatı Tipi	Tesis zemine oturmaktadır.				
Ölçülen Parametre	Ölçümler			Ortalama	Sınır Değer
	1	2	3		
Baca Sıcaklığı (°C)	175	178	182	178,3	Yok
O ₂ (%)	17,22	15,4	16,89	16,50	Yok
Baca Gazı Hızı (m/s)	7,440	7,500	7,230	7,390	4,00
Baca Gazı Normal Kuru Gaz (Nm ³ /h)	4194,522	4200,222	4013,418	4135,562	Yok
CO Kons (mg/Nm ³)	222,500	263,750	150,000	212,083	Yok
CO Kons (mg/Nm ³) %O ₂ 7	692,735	821,164	467,013	660,304	Yok
CO Emisyonu (kg/h)	0,933	1,108	0,602	0,881	500
SO ₂ Kons (mg/Nm ³)	45,714	34,286	51,429	43,810	Yok
SO ₂ Kons (mg/Nm ³) %O ₂ 7	142,328	106,746	160,119	136,397	400
SO ₂ Emisyonu (kg/h)	0,192	0,144	0,206	0,181	60
NO _x Kons (mg/Nm ³)	40,353	34,973	28,696	34,674	Yok
NO _x Kons (mg/Nm ³) %O ₂ 7	125,637	108,885	89,342	107,954	Yok
NO _x Emisyonu (kg/h)	0,169	0,147	0,115	0,144	40
Toz Kons (mg/Nm ³)	0,736	0,836	1,104	0,892	Yok
Toz Kons (mg/Nm ³) %O ₂ 7	2,291	2,603	3,436	2,777	100
Toz Emisyonu (kg/h)	0,003	0,004	0,004	0,004	15
İslilik (Bacharach)	1	1	1	1	2
CmHn (mg/Nm ³) %O ₂ 11	43,000	40,000	38,000	40,333	50
CmHn (kg/h)	0,180	0,168	0,153	0,167	10

Çizelge 4.6. Kirlетici kaynaktan alınan örneklerin PAH analiz sonuçları

Kaynak no:1			Kireç fırın bacası		
Baca çapı (m)		0,60	Baca kesit alanı (m ²)		0,28
Gaz Hızı (m/sn)		-	Gaz Debisi (Nm ³ /h)		-
Gaz Sıcaklığı (° C)		-	Gaz basıncı (m bar)		-
O ₂ %	-				
PAH üyesi	Derişim, µg/Nm ³ (3 ölçüm ortalaması)	Kütlesel debi (g/saat)	PAH üyesi	Derişim, µg/Nm ³ (3 ölçüm ortalaması)	Kütlesel debi (g/saat)
Naphtalane	12,424	-	Benz(a)anthracene	1,414	-
Acenaphtalene	2,403	-	Chrycene	0,000	-
Acenaphtene	0,001	-	Benzo(b)fluoranthene	0,001	-
Fluorene	2,887	-	Benzo(k)fluoranthene	0,001	-
Phenanthrene	8,476	-	Benzo (a) pyrene*	0,001	-
Anthracene	1,178	-	Dibenzo(a,h)anthracene*	0,001	-
Fluoranthene	0,001	-	Benzo perylene(g,h,i)	0,683	-
Pyrene	0,000	-	Indeno pyrene(1,2,3-c,d)	1,103	-
Toplam PAH	31	-			-

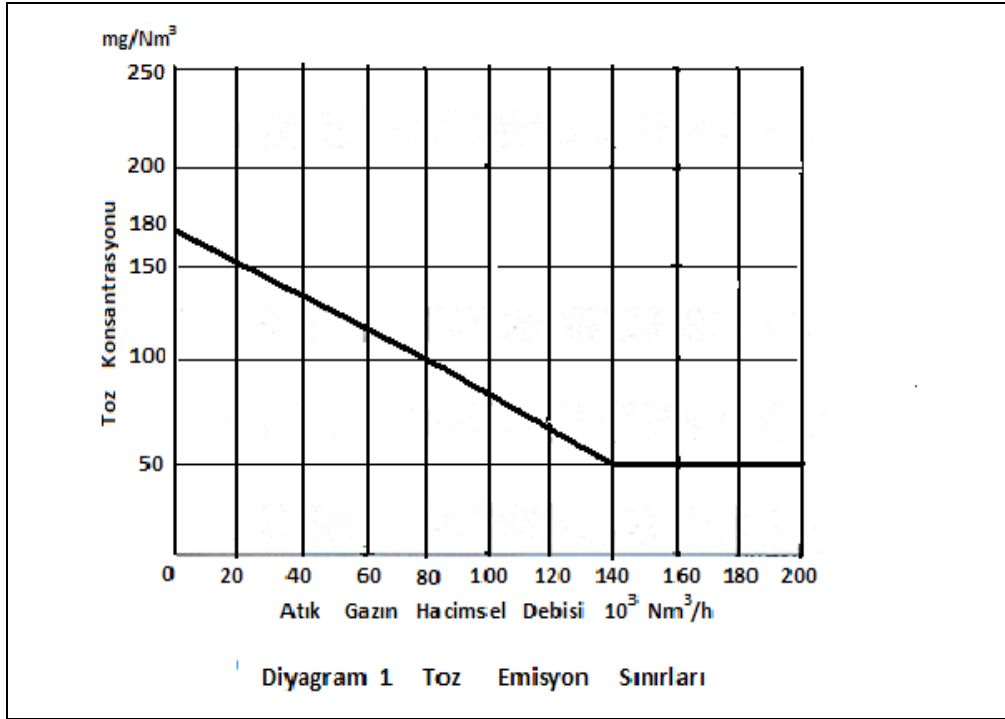
*S.K.H.K.K.Y. Kansер yapıcı maddeler arasında 1.ci sınıf olarak Benzo(a)pyrene ve Dibenzo(a,h)anthracene nin kütlesel toplamı 0,5 g/saat'i geçmez denilmektedir.

4.5.1. Tesisten kaynaklanan emisyonların yönetmelikteki durumları

03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre incelenen firma bünyesindeki sönmüş ve sönmemiş kireç üretim tesisi proses bakımından incelendiğinde; Ek-5 üçüncü grup tesisler 5'de (kireç fabrikaları), İzne Tabi Tesisler Listesi'nde Liste A Madde 2.4'de (yakıt olarak petrol koku kullanan ve günlük üretim kapasitesi 250 ton ve üzeri olan dolomit veya kireçtaşı veya magnezit pişirme tesisleri) yer almaktadır.

4.5.1.1. Tesisin sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği Ek-1 kapsamında irdelenmesi

Ek-8 Liste A ve B’de yer alan izne tabi bir tesis için Ek-5’de herhangi bir emisyon sınırlaması getirilmemişse Ek-1’de verilen emisyon sınırlarına ve Ek-4’de belirtilen esaslara uyulması mecburidir. Sanayi tesislerinde bulunan ve ısıt güçleri >1 MW olan ısınma amaçlı kullanılan yakma tesisleri emisyon iznine tabi olmamakla birlikte Bu Yönetmelikte yer alan emisyon sınır değerlerini sağlayacak şekilde faaliyet göstermek zorundadır. Isıt gücü ≤ 1 MW olan ısınma amaçlı kullanılan yakma tesisleri 13/01/2005 tarihli ve 25699 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği hüküm ve sınır değerlerine tabidir. İşletmelerde atık gazlardaki ısıliliğin derecesi, katı yakıtlı tesislerde Bacharach skalasında 3 (üç) veya daha küçük olmalıdır. Sıvı yakıt yakan tesislerdeki tesislerin atık gazlarındaki ısılilik derecesi Bacharach skalasına göre; motorin yakanlarda en fazla 2 (iki), fuel oil yakanlarda en fazla 3 (üç) olması gerekir. Atık gazlarda bulunan toz şeklindeki emisyon aşağıda ikinci fıkrasında sınırlandırılmamışsa, (g) bendindeki sınırlar ile Şekil 4.8’deki sınırları aşamaz.



Şekil 4.8. Toz emisyon sınırları diyagramı [16]

Tesis içi yollar hava kalitesini olumsuz yönde etkiliyorsa yolların bitümlü kaplama malzemeleri, beton veya benzeri malzemelerle kaplanması, düzenli olarak temizlenmesi veya toz bağlayan maddelerle muameleye tabi tutulması gereklidir [16].

4.5.1.2. Tesisin sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği Ek-2 kapsamında irdelenmesi

Mevcut ve yeni kurulacak tesislerin etki alanında Hava Kirlenmesine Katkı Değeri (HKKD)'nin dağılım modellemesi kullanılarak hesaplanması, tesis etki alanında hava kalitesinin ölçülmesi ve ölçüm metodları aşağıdaki esaslara göre yapılır:

Mevcut ve yeni kurulacak tesislerin bacalarından veya baca dışından atmosfere verilen emisyonların saatlik kütleli debileri, mevcut tesisler için bacalarda ölçülerek, baca dışından atmosfere verilen emisyonlar ile yeni kurulacak tesisler için emisyon faktörleri kullanılarak tespit edilir. Saatlik kütleli debi (kg/saat) değerleri aşağıdaki Çizelge 4.7'de verilen değerleri aşması halinde, tesis etki alanında

emisyolların Hava Kirlenmesi Katkı Değeri (HKKD) mümkünse saatlik, aksi takdirde, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplanır. Mevcut tesis için aylık olarak hesaplanmış Hava Kirlenmesine Katkı Değeri'nin en yüksek olduğu inceleme alanı içinde iki noktada bir ay süreyle, sürekli hava kalitesi ölçümü yapılır. Kirliliğin aylara bağlı olarak değiştiği ve arttığı bölgelerde yetkili merci ölçüm zamanını belirler. lm sonuçları Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde belirtilen Uzun Vadeli Sınır değer (UVS) değerinin % 60'ından yüksek olması durumunda hava kalitesi ölçümlerinin süresi uzatılır, ölçüm süresi yetkili mercii tarafından belirlenir. Tesis etki alanında bu yönetmelik Ek-2 Tablo 2.2 de yer alan hava kalitesi sınır değerlerinin sağlanması gerekir [16].

Çizelge 4.7. Kütlesel debiler

Emisyonlar	Normal işletme şartlarında ve haftalık iş günlerindeki işletme saatleri için kütlesel debiler (kg/saat)	
	Bacadan	Baca Dışındaki Yerlerden
Toz	10	1
Kurşun	0.5	0.05
Kadmiyum	0.01	0.001
Talyum	0.01	0.001
Klor	20	2
Hidrojen klorür ve Gaz Halde İnorganik Klorür Bileşikleri	20	2
Hidrojen florür ve Gaz Halde İnorganik Florür Bileşikleri	2	0.2
Hidrojen Sülfür	4	0.4
Karbon Monoksit	500	50
Kükürt Dioksit	60	6
Azot Dioksit [NO _x (NO ₂ cinsinden)]	40	4
Toplam Uçucu Organik Bileşikler	30	3
Not : Tablodaki emisyonlar tesisin tamamından (bacaların toplamı) yayılan saatlik kütlesel debilerdir.		

Tesiste yapılan ölçümlerden elde edilen kütlesel debiler, toz için 0.004 kg/h, CO için 0.881 kg/h, SO₂ için 0.181 kg/h ve NO_x için 0.144 kg/h olarak elde edilmiş olup, yukarıda izelge 4.7.'de verilen değerleri aşmamaktadır.

4.5.1.3. Tesisin sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği Ek-3 kapsamında irdelenmesi

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-3 gereğince, tesislerde emisyon ölçüm yerleri Türk Standartlarına, EPA, DIN veya CEN normlarına uygun, teknik yönden hatasız ve tehlike yaratmayacak biçimde ölçüm yapmaya uygun, kolayca ulaşılabilir ve ölçüm için gerekli bağlantıları yapmaya imkan verecek şekilde seçilmelidir.

Emisyon ölçümleri, ölçüm sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırılmasını mümkün kılacak şekilde yapılmalıdır. Ölçüm cihazları ve metodları Türk Standartlarına, DIN, EPA veya CEN normlarına uygun olarak belirlenir. Genelde sürekli rejimlerde çalışan tesislerde emisyon ölçümleri, izne esas olan en büyük yükte en az üç ardışık zamanda yapılmalıdır. Buna ilave olarak emisyon değerlendirilmesinde önemli olan temizleme, rejenarasyon, kurum atma, uzun işletmeye alma ve benzeri gibi şartlarda en az bir ölçme yapılmalıdır. İzokinetik şartların sağlandığı noktalarda ölçüm yapılmalıdır.

Rapor, emisyon ölçüm değerlerinin ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için gerekli ayrıntılı ölçüm verileri ile birlikte ölçüm metodlarını ve işletme şartlarını ihtiva etmelidir. Raporda ayrıca yakıt, ham madde ve yardımcı maddeler, ürün ve yardımcı ürünler ile atık gaz temizleme tesisinin işletme şartları hakkında bilgiler sunulmaktadır. Üç ardışık zamanda ölçülen emisyon değerlerinin hiç biri Yönetmelikte verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

Emisyonun sınır değerlerini aşıp aşmadığı, kaydedicili cihazlarla sürekli ölçülerek kontrol edilir. Bu ölçümler ayrıca toz tutucu, gaz yıkayıcı ve son yakıcı gibi atık gaz temizleme tesislerinin etkinliklerinin belirlenmesi ile hammadde ve proseslerden kaynaklanan emisyonların tespiti için de gereklidir.

Sürekli ölçümler çerçevesinde, sonuçların değerlendirilmesi, 1(bir) yıl içindeki işletim saatleri açısından, hiçbir takvim ayındaki emisyon ölçümlerinin ortalaması emisyon sınır değerlerini geçmiyorsa, kükürt dioksit ve toz için, 48 saatlik tüm ortalama değerlerin %97'si, emisyon sınır değerlerinin %110'unu geçmiyorsa, azot oksitler için, 48 saatlik tüm ortalama değerlerin %95'i, emisyon sınır değerlerinin %110'unu geçmiyorsa, azot oksitler için: 48 saatlik tüm ortalama değerlerin %95'i, emisyon sınır değerlerinin %110'unu geçmiyorsa, emisyon sınır değerlerine uyduğu kabul edilir.

Isıl kapasitesi 100 GJ/saat (27778 kW) ve üstünde olan katı yakıt ve fuel-oil ile çalışan yakma sistemleriyle 10 kg/h ve üstünde toz emisyon yayan (bu emisyonu yanıcı partiküller de dahildir) tesisler toz emisyonu konsantrasyonunu sürekli ölçen yazıcı bir ölçüm cihazı ile donatılmalıdır. Tesisten kaynaklanan kütleli debinin belirlenebilmesi için hacimsel debinin de sürekli ölçülmesi gereklidir.

Ek-1'in (g) bendinde belirtilen toz emisyonuna neden olan tesisler ve 1. sınıfa dahil olup da 2 kg/saat'in üzerinde, 2. sınıfa dahil olup da 5 kg/saat'in üzerinde toz emisyonu yayan tesislerde baca gazında toz emisyonu sürekli ölçüm cihazları ile ölçülmelidir.

Bir tesisin işletme şartlarının değişmesi, atık gaz temizleme tesislerindeki arızalar ve benzeri nedenlerden kaynaklanan emisyonun belirlenen sınır değerlerini kısa süreler için bile aşmamasını sağlamak amacıyla daha önce belirtilen yakma sistemi ısı kapasiteleri (100 GJ/saat) ve emisyon kütle debileri altında da sürekli toz emisyon ölçümleri yapılması yetkili mercii tarafından istenebilir. Ölçüm değerleri en az 5 (beş) yıl muhafaza edilir. Birden fazla yakma sisteminin bir bacaya bağlanması durumunda baca başına düşen toplam ısı kapasite kullanılacaktır.

Bir tesisten, Çizelge 4.8.'de verilen maddelerden herhangi biri karşısında belirtilen miktarın üzerinde emisyon yayılıyorsa, bu sınırları aşan maddeler, yazıcı ölçüm aletleriyle sürekli olarak ölçülmeli veya otomatik bilgisayar sistemi ile kontrol edilmeli ve ölçüm sonuçları kaydedilmelidir. Tesisten kaynaklanan kütleli debinin

belirlenebilmesi için hacimsel debinin de sürekli ölçülmesi gereklidir. Ölçüm değerleri en az 5 (beş) yıl muhafaza edilir [16].

Çizelge 4.8. Kütlesel debiler

Kükürt dioksit	60 kg/saat
Klor	1 kg/saat
Organik bileşikler (Karbon olarak verilmiştir.)	10 kg/saat
Azot oksit (NO olarak verilmiştir.)	20 kg/saat
İnorganik gaz biçimindeki klorür bileşikleri (Cl ⁻ olarak verilmiştir.)	2 kg/saat
Hidrojen sülfür	1 kg/saat
İnorganik gaz biçiminde florür bileşikleri (F ⁻ olarak verilmiştir.)	2 kg/saat
Karbon monoksit (Yakma Tesisleri İçin)	5 kg/saat
Karbon monoksit (Diğer Tesisler İçin)	50 kg/saat

Isıl kapasitesi 36 GJ/saat (10 MW) ve üstünde olan sıvı ve katı yakıtlı yakma sistemleri yanma kontrolü için yazıcı bir baca gazı analiz cihazı (CO₂ veya O₂ ve CO) ile donatılmalıdır. Birden fazla yakma sisteminin bir bacaya bağlanması durumunda baca başına düşen toplam ısı kapasite kullanılacaktır.

Bir tesisin kabulünde, tesisin işletmeye alınmasından en erken 3 ay, en geç 12 ay sonra Bakanlıkça belirlenecek bir kurum veya kuruluş tarafından öngörülen emisyon sınırlarının bu tesiste aşılmadığının tespit edilmesi yetkili mercii tarafından istenecektir.

Belirtilen ölçümler için uygun ölçüm cihazlarının özellikleri ile, bunların uygunluk testleri, bakım, montaj ve kalibrasyonları hakkındaki esaslar, Çevre ve Orman Bakanlığı'nca güvenilirliği kabul edilen, TSE tarafından standartlaştırılmış metotlara uygun olmalıdır. İlgili standartlar henüz TSE tarafından hazırlanmamış ise Bakanlık tarafından kabul edilen EPA ve DIN normlarına uygun metot standartları tatbik edilir.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-5'de yer alan tesislerde sürekli ölçüm cihazı takılmasının gerekmesi halinde tesisten kaynaklanan kütlesel debinin belirlenebilmesi için hacimsel debinin de sürekli ölçülmesi gereklidir [16].

Ölçüm yapılan tesisin ısıtım kapasitesi 4.550 MW'tır. Yukarıda Çizelge 4.8.'de verilen değerlerle ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında SO₂ (0.181 kg/h), NO (0.144 kg/h) ve CO (0.881 kg/h) değerleri verilen sınır değerlerin altında olup, yönetmelik şartlarını karşılamaktadır.

4.5.1.4. Tesisin sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği Ek-4 kapsamında irdelenmesi

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-4 gereğince, izne tabi tesislerde, yakma tesislerinden kaynaklanan baca gazı hızları, atık gazlar serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınabilecek biçimde dikey çıkışla atmosfere verilmelidir. Bu amaçla baca kullanılmalı ve anma ısıtım gücü 500 kW'ın üzerindeki tesisler için, gazların bacadan çıkış hızları en az 4 m/s olmalıdır. Tesisin üretimi ve dizaynı gereği baca çapının daraltılamadığı ve cebri çekişin uygulanamadığı hallerde baca gazı hızı en az 3 m/s olmalıdır. $300 \text{ kW} \leq \text{anma ısıtım gücü} \leq 500 \text{ kW}$ olan tesislerde ise baca gazı hızı en az 2 m/s olmalıdır. Anma ısıtım gücü 300 kW altında olan tesislerde baca gazı hızı 2 m/s'nin altında olabilir.

Prosesten kaynaklanan atık gazlar serbest hava akımı tarafından, engellenmeden taşınabilecek biçimde atmosfere verilmelidir. Bu amaçla baca kullanılmalı ve gazların bacadan çıkış hızları cebri çekişin uygulanabildiği tesislerde en az 4 m/s, uygulanamadığı hallerde 3 m/s olmalıdır. Tesisin üretim şekli ve prosesi gereği baca çapının daraltılamadığı ve cebri çekişin uygulanamadığı ve bu durumun bilim kuruluşundan alınacak bir raporla onaylandığı hallerde baca gazı hızı en az 2 m/s olmalıdır.

Küçük ölçekli tesislerde asgari baca yüksekliği, anma ısıtım gücü 500 kW'ın altında olan tesislerde bacanın çatı üzerinden itibaren asgari yüksekliği eğik çatılarda; baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından en az 0,5 m daha yüksek olmalıdır. Anma ısıtım gücü 500 kW altında olan tesislerde baca çatının tepe noktasına yakın değilse, çatı tabanında en az 1 m yüksekliğinde olmalıdır. Düz çatılarda; baca yüksekliği

çatının en yüksek noktasından itibaren en az 1,5 m olmalıdır. Ancak, tesisin anma ısı gücü 50 kW altında ise bu yükseklik 1 m olabilir.

Anma ısı gücü 500 kW ile 1,2 MW arasında bulunan orta ölçekli tesislerde bacanın çatı üzerinden itibaren asgari yüksekliği, düz veya eğim açısı 20° 'nin altında olan eğik çatılarda baca yüksekliği çatı eğimini 20° kabul ederek hesaplanan eğik çatının en yüksek noktasından itibaren en az 1,5 m'den daha fazla olarak tespit edilir. Düz çatılarda ise bacanın yüksekliği çatının en yüksek noktasından itibaren en az 2 m olmalıdır.

Anma ısı gücü 1,2 MW ve üzerinde olan büyük ölçekli tesislerde baca yüksekliği abak kullanılarak belirlenir. Bacanın tabandan yüksekliği en az 10 m ve çatı üzerinden yüksekliği en az 3 m olmalıdır.

Isıl gücü olmayan tesislerde asgari baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından itibaren dağılımı engellemeyecek şekilde en az 1,5 m olacaktır [16].

Tesisin anma ısı gücü 4,550 MW olup, çatı zemine oturmaktadır. Bacada ölçülen hız 7.39 m/s'dir. Çatı yüksekliği yerden 20 m, çatıdan ise 6 m olup, yönetmelikte verilen sınır değerleri karşılamaktadır.

4.5.1.5. Tesisin sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği Ek-5 kapsamında irdelenmesi

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-5.C.5 gereğince; Ek-8'de emisyon iznine tabi tesisler arasında bulunmasına karşın yukarıdaki gruplarda yer almayan tesisler aşağıdaki hüküm ve sınır değerlere tabidir;

- 1- Kireç fabrikalarında, katı, sıvı ve gaz yakıt kullanılması halinde fırın baca gazında toz emisyonu 100 mg/Nm^3 değerini aşmamalıdır. Taş ocağı ile ön kırma tesisi arasındaki yollara Ek-1'in (e) bendindeki verilen esaslar uygulanmaz. Ek-1'de verilen diğer esaslara uyulmalıdır.

- 2- Hacimsel oksijen miktarı % 7 alındığında atık gazdaki kükürtdioksit emisyon konsantrasyonu 400 mg/Nm^3 değerini aşmamalıdır.
- 3- Kireç fabrikalarında petrolkoku kullanılması halinde aşağıdaki esaslar geçerlidir:
 - Kireç fabrikası mevcut en iyi tekniklerin kullanıldığı fırınlara sahip olmalı,
 - Hacimsel oksijen miktarı % 7 alındığında atık gazdaki kükürt dioksit emisyon konsantrasyonu 400 mg/Nm^3 değerini aşmamalı,
 - Atık gaz is oranı Bacharach skalasına göre 2'i geçmemeli,
 - Petrol kokunun pülverize edildiği veya yüklendiği bölgede, baca gazında petrol kokunun veya atık yağın yanması sonucu oluşan yanmış gaz yanma bölgesinde 900°C en az 0,3 saniye kalmalı,
 - Bu tesislerde yukarıda belirtilen sıcaklık seviyesinin sürekli sağlandığının tespiti için sıcaklık yazıcı cihazla sürekli kaydedilerek kontrol edilmeli, (Söz konusu kayıt işlemi yukarıda belirtilen sıcaklık değerinin sağlandığını gösterecek şekilde iki noktada, destek brülörü ile donatılan sistemlerde aynı zamanda fırına petrol koku yüklenen kesitte, birden fazla fırın baca gazının toplanarak tek bir bacadan verilen sistemlerde ayrıca baca gazı debisi de ölçülmelidir. Yakıt ve kireç yükleme sisteminin bilgisayar kontrolünde yapılması durumunda zamana göre sıcaklık değişimlerinin bilgisayar ortamında kaydedilerek kontrol edilebildiği tesislerde ayrıca sabit yazıcı cihaz takılması istenmeyebilir).
 - Hacimsel oksijen miktarı % 11 alındığında atık gazdaki yanıcı organik maddelerin içerisindeki karbon emisyonu 50 mg/Nm^3 değerini aşmamalı,
 - Fırın baca gazındaki toz emisyonu 3 kg/saat 'in altında 100 mg/Nm^3 , 3 kg/saat 'in üzerinde ise 75 g/Nm^3 değerini aşmamalı,
 - Petrol koku depolama alanının tabanı, petrol kokunun yayılımını önleyecek şekilde kaplanmalı ve tozuma karşı tedbirler alınmalıdır.
 - Tesis içi yol ve kırma eleme üniteleri için Yönetmelikte belirtilen hususlar sağlanmalı, atık toz kireç açıkta depolanmamalı ve uygun bir şekilde değerlendirilmeli,
 - Ek-1'de verilen diğer esaslara uyulmalıdır.

- Kireç sanayinde Bakanlığın özelliğini belirleyerek kullanımına izin verdiği petrolkoku kısmen veya tamamen başkasına satılmaksızın, sadece kireç fırınlarında, parça halindeki kısımları da öğütülüp kullanıma uygun hale getirilmelidir
- 4- Kireç üretimi yapan tüm tesislerden kaynaklanan emisyonların baca marifetiyle toplanarak Ek-4 kapsamında atmosfere atılmalıdır.

Yukarıda belirtilenler doğrultusunda ölçüm yapılan tesisteki değerlere bakılacak olursa, toz miktarı 2.777 mg/Nm³, SO₂ konsantrasyonu 136.397 mg/Nm³, ısılık değeri 1, karbon emisyonu % 11 oksijene göre 40.333 mg/Nm³ olup yönetmelik şartlarını karşılamaktadır.

4.6. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Emisyon kaynaklarında yapılan ölçümlerin sonuçları ve yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırmaları yapılmış ve Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ölçüm sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırılması

Emisyon kaynağı adı		Konsantrasyon		Saatlik emisyon	
	Emisyon cinsi	Ölçülen (mg/Nm ³)	Sınır değer (mg/Nm ³)	Ölçülen (kg/h)	Sürekli ölçüm sınır değeri (kg/h) Ek-2
Kireç fırınları ortak bacası	Toz	2,777	200	0,004	10
	SO ₂	136,397	400	0,181	60
	NO _x	107,954	Yok	0,144	40
	CO	660,304	Yok	0,881	500

Tesiste, SKHKKY EK-1. g, h ve i'de verilen özel toz emisyonları, organik buhar ve gazlar ve kanserojen maddeye rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.10. Ölçülen toplam saatlik emisyonlar ve sınır değerler

Emisyonlar	Toplam saatlik emisyon (kg/h)		Ek-3'e göre sınır değerler (kg/h)
	Ölçülen değerler	Tesis için toplam sınır değerler (Ek-2)	
Toz	0,004	10	10
SO ₂	0,181	60	60
NO _x	0,144	40	20 (NO) olarak
CO	0,881	500	5

SKHKK Yönetmeliği Ek-2'de ve Ek-3'de verilen saatlik emisyon sınır değerleri alınmıştır. Çizelge 4.10.'da görüldüğü gibi tesisten kaynaklanan emisyon değerleri yönetmelik sınır değerlerinin altındadır. Tesiste kullanılan petrokokunun toprak ile karışması betonarme zemin ile engellenmiştir. Tesiste bulunan atık kireç dahil olmak üzere tüm üretim üzeri kapalı alanlarda stoklanmaktadır. Enerji kullanımı tesiste yer alan otomatik kontrol sistemi ile sağlanmaktadır.

Kireç ocakları, kireç üretiminden çevreye yayılan partikül madde (PM) ve gaz emisyonlarının en büyük kaynağıdır. Bununla birlikte baca gazlarının yeniden dönüştürülmediği kireç ocaklarındaki soğutucular da PM ve baca gazı emisyonlarına yol açmaktadır. Bu kaynaklara ek olarak PM ve bacagazı emisyonları birincil ve ikinci eziciler, öğütücüler, elekler, taşınma noktaları, stok yığınları ve yollarda da ortaya çıkabilir. Madenlerdeki delme ve patlatmalar da PM ve bacagazı emisyonlarını üretirler. Bunun yanında kükürt ve klor emisyonları kömür ve odun talaşı gibi yakıtların kireç ocaklarında yakılması sonucu meydana çıkabilirler. PM ve diğer gaz yapıda hava kirletici zehirli maddelere maruz kalmanın akciğerlerin, cilt ve mukoza zarlarının tahriş olması, merkezi sinir sistemi üzerinde etkileri, böbrek hasarı ve hatta kanser gibi olumsuz sağlık etkilerine yol açtığı görülmüştür [18].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz kireç sektörü artan rekabetin ve çevre baskısının etkisi altında çevre dostu modern kireç üretim teknolojisine yatırım yapmak veya mevcut fırınlarını modernize etmek durumundadır. Bu sebeple bu çalışmada bir yarı Eberhart tipi kireç fırını üzerinde ekonomik ve çevresel önlemler almak amacıyla yapısal modifikasyonlar yapılmıştır. Böylece deneysel olarak da rehabilitasyon çalışmalarının ekonomik ve çevresel iyileştirilmeleri belirlenmiştir.

Söz konusu tesisteki kireç fırını emisyon kaynaklarının; toz gaz emisyon konsantrasyonlarının “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”nde verilen sınır değerlerin altında olduğu ve hava kalitesi ölçümlerinin zorunlu olmadığı görülmüştür. Emisyonların sürekli olarak ölçülmesine gerek yoktur. Yıllık periyotlar ile emisyon ölçümü ve kontrolü yapılması yeterlidir. Ancak baca gazlarında tesiste petrol koku kullanılması nedeni ile bacada PAH ölçümlerinin yapılması gereklidir.

Tesis ülkemizde halen kullanılmakta olan yamaç türü (Eberhart tipi) kireç ocaklarına örnek olan ve bu tez çalışması sonrasında otomatik kontrol uygulaması da ilave edilen ender tesislerden olup, baca gazları konsantrasyonu ve yakıt kullanım ekonomisi bakımından oldukça verimli bir uygulamadır. Tesis bacalar ve emisyonlar yönünden yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

Uygulanan modifikasyonlar sonucunda üretim hızında % 33 lük bir artış elde edilmiştir. Bu artışın nedeni, sürekli ve kontrollü olarak bir yakma havası fanı kullanılması sonucu daha hızlı biçimde yakıtın yakılmasıdır. Yakıtın hızlı yanması doğal hava akışı ile olan yanmaya kıyasla üretimin birim zamanda daha fazla yapılabilmesi sonucunu doğurmuştur.

Yakıt tüketiminde birim enerji kullanımında ise yaklaşık % 25 lik bir yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Kontrollü yakma sisteminde, baca gazında yeterli hava fazlalığı oluşacak biçimde bir yakma havası kontrollü uygulanmıştır. Bu baca gazı kontrolü ile, yanmamış gazlar aynı zamanda bir reküpatarief ön ısıtma sistemi kullanılarak

hava ön ısıtması sağlanmış, aynı zamanda fırında kömürün yanmasıyla açığa çıkan aşırı CO ve hidrokarbonların baca gazı oksijen seviyesi kontrolü ile geri yanma odasına beslenmesi gerçekleştirilmiştir.

Baca gazları emisyonlarından partikül madde (P.M.), CO, SO₂ ve NO_x konsantrasyonları S.K.H.K.K.Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerleri aşmadığı ve saatlik kütleli debilerde de bir sorun yaşanmadığı anlaşılmaktadır. Birleştirilmiş baca sistemine geçildiğinden özellikle P.M. ve CO konsantrasyonlarında daha önceleri yaşanan anlık yüksek konsantrasyonlara ulaşılmamaktadır. Bunun en önemli sebebi, ilk fırından çıkan baca gazının fırınları dolaşması sırasında hava kirletici parametrelerin önemli bir kısmını fırınlarda ve sönmemiş kireç içinde kalan küle bırakmaları, yanmayan P.M (kömür tozu+taş tozu)'lerin ya yanarak ya da kirece dönüşerek baca gazı içindeki konsantrasyonlarını azaltmalarıdır. Burada oluşan kül ise eser miktarda olup, sönmemiş kirece yapışarak prosesten ayrılmaktadır.

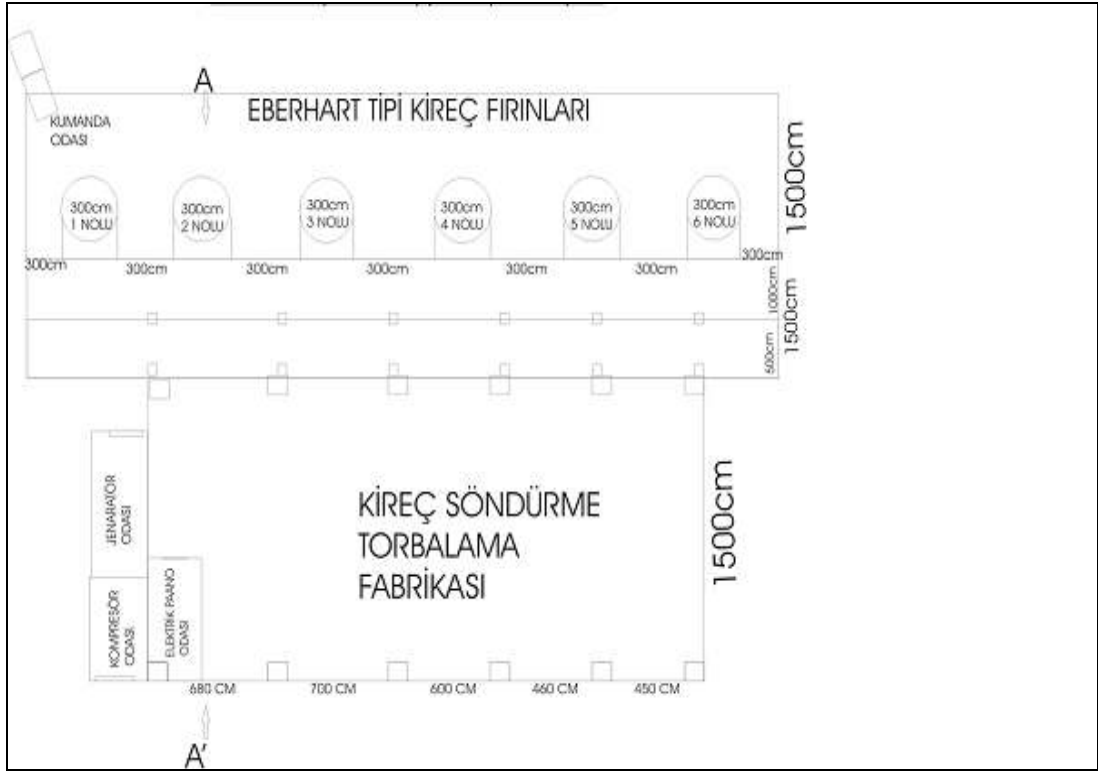
KAYNAKLAR

1. Kılıç, Ö., “Klasik eberhart tipi kireç fırınları ile paralel akışlı maerz fırınlarındaki kalsinasyon parametrelerinin karşılaştırılması ve çukurova bölgesi kireçtaşları üzerine uygulamalar”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 1-22 (2005).
2. Kılıç, Ö., Anıl, M., “Farklı kalsinasyon ortamlarının kireç üretimi üzerindeki etkilerinin araştırılması”, **Madencilik**, 44 (4) : 19-28 (2005).
3. Parlakyıldız, M., “Hammadde olarak kireçtaşı ve üretilen kirecin standartlara uygunluğunun araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 4-15 (2008).
4. İnternet: Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı” (<http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik626.pdf>) (2001).
5. Lokman, L., “Kireç”, **KÜB Yayınları**, İstanbul, 87-122 (2000).
6. Kılıç, Ö., Anıl, M., “Kireç söndürme şartlarının söndürülmüş kireç kalitesine etkisi”, **Madencilik**, 45 (1) : 15-22 (2006).
7. Yüce, A., Gürkan, V., Erdoğan, M., Tarkan, H., Girgin, Ş., Kangal, M., Oktay, F., “Demir çelik kullanım amaçlı kireçtaşları için yeni bir tanımlama önerisi”, **Madencilik**, 41 (4) : 21-36 (2002).
8. İnternet: İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, “Türkiye’de Doğal Taş Kullanım Kültürü Ve Kireçtaşının Önemi” (<http://www.immib.org.tr/userfiles/documents/pdf/sekt%C3%B6rler/Son%20hali.pdf>) (2009).
9. Çiçek, T., “Kireç ve kullanımı”, **3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, 184-194 (1999).
10. Meier, A., Bonaldi, E., Cella, G. M., Lipinski, W., Wullemmin, D., “Solar chemical reactor technology for industrial production of limes, solar energy 80”, **Solar Technology Laboratory, Paul Scherrer Institute, CH 5232 Villigen**, Switzerland, 1355-1356 (2006).
11. İnternet: Kireç Sanayicileri Derneği, “Uyum Sürecinin Sağlıklı Planlanması Bağlamında Avrupa Birliğinde Kireç Sektörü” ([http://www.kirec.org/images/file/KISAD%20%20CEVRE%20BAKANLIGI%201%2020_06_2009son%20hali%20\(SUNU\).ppt](http://www.kirec.org/images/file/KISAD%20%20CEVRE%20BAKANLIGI%201%2020_06_2009son%20hali%20(SUNU).ppt)) (2009).
12. Senegacnik, A., Oman, J., Sirok, B., “Applied thermal engineering: annular shaft kiln for lime burning with kiln gas recirculation.”, **University Of Ljubljana**, Slovenia, 785-792 (2008).

13. İnternet: Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, “Çevre Kirliliğinin Entegre Bir Biçimde Önlenmesi ve Kontrolü (IPPC) Çimento ve Kireç İmalat Sanayinde Mevcut En İyi Teknikler İle İlgili Referans Dokümanı ” ([http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/HYD/%C3%87imentoBREF\(Turkce\).pdf](http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/HYD/%C3%87imentoBREF(Turkce).pdf)) (2001).
14. Topçu, U., “Kireç fabrikası baca tozundan yanmamış karbonun flotasyon ile geri kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 3 (2007).
15. Kocabıyık, S., Gökmen, S., Dinçer, S., Kadırgan, N., “Kireç üretiminde, petrokok kullanımı sonucu açığa çıkan SO₂ emisyonunun incelenmesi”, **3. Yanma Sempozyumu**, Bursa, 274-279 (1993).
16. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 9-45, (Resmi Gazete Yayın Tarih ve Sayısı: 03.07.2009 / 27277).
17. Çiçek, T., Akyar, A., Gülgü, V., Öztüre, N., “Öztüre kimtaş A.Ş. kireç fırınlarının modernizasyonu”, **5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, 369-373 (2004).
18. Godoi, R., Braga, D., Makarovska, Y., Alföldy, B., Filho, M., Grieken, R., Godoi, L., “Atmospheric Environment: Inhale particulate matter from lime industries: chemical composition and deposition in human respiratory tract.” **Positivo University, University Of Antwerp, KFKI Atomic Energy Research Institute**, Brazil, 7027-7033 (2008).

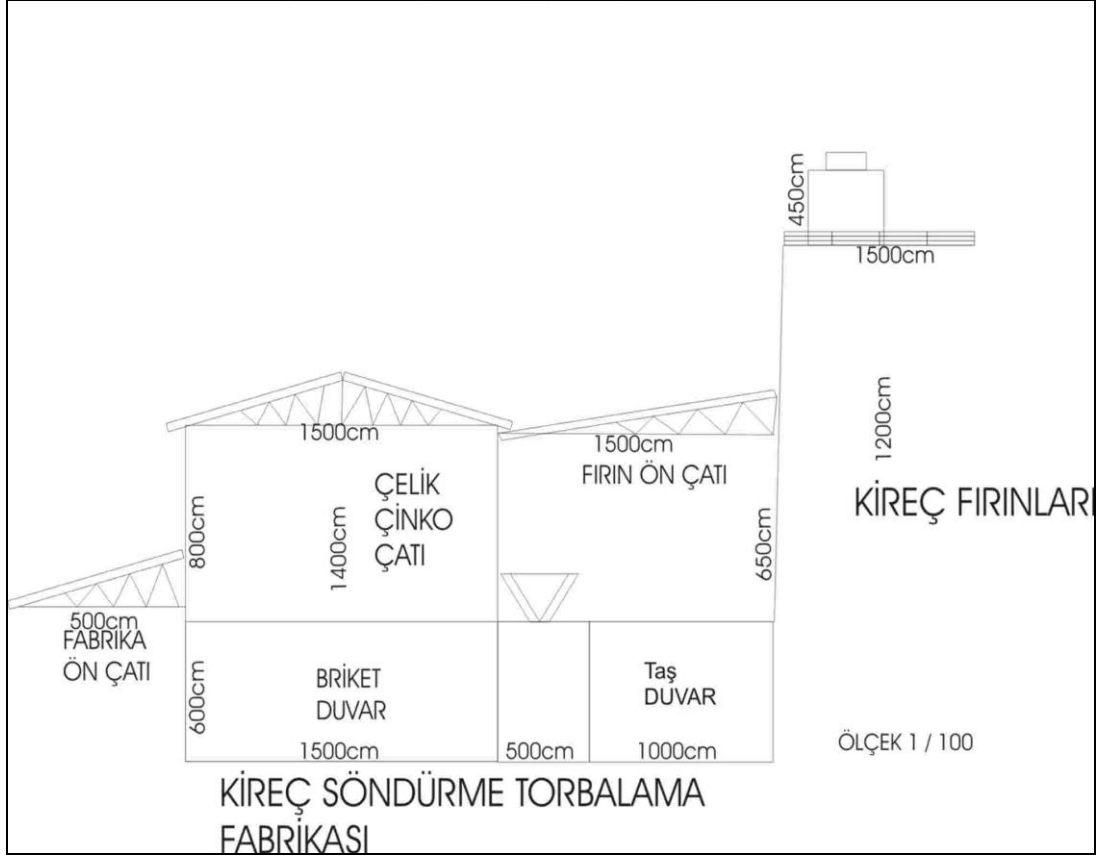
EKLER

EK-1 Tesis mimari projeleri



Şekil 1.1. Fabrika mimari projesi

EK-1 (Devam) Tesis mimari projeleri



Şekil 1.2. Fabrika kesiti

EK-2 Tesise ve emisyon kaynaklarına ait fotoğraflar



Resim 2.1. Ölçüm yapılan fabrika



Resim 2.2. Ölçüm yapılan fabrika

EK-2 (Devam) Tesise ve emisyon kaynaklarına ait fotoğraflar

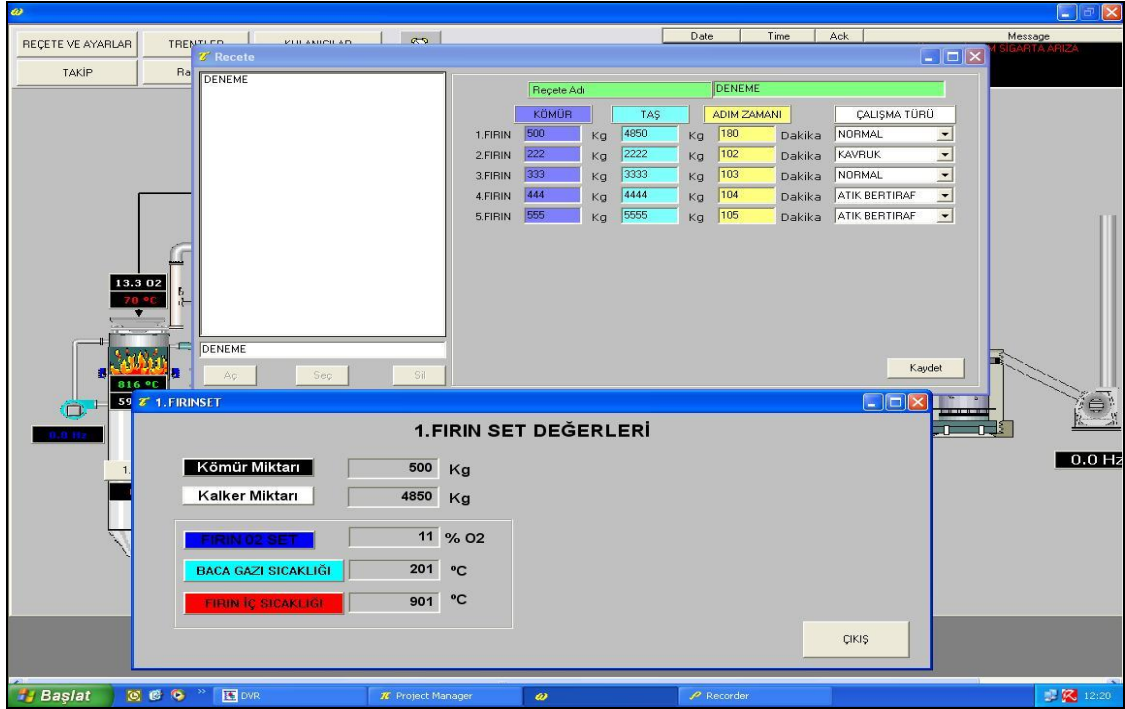


Resim 2.3. Ölçüm yapılan kireç ocağı



Resim 2.4. Ocak emiş fanı

EK-2 (Devam) Tesise ve emisyon kaynaklarına ait fotoğraflar



Resim 2.1. Kireç fırını kontrol programı

EK-3 Ölçümlerde kullanılan cihazlara ve hesap yöntemine ait belirsizlik analizi

- Tekrarlanabilirlikten gelen belirsizlik hesabı:

$$U_{\text{personel tekrarlanabilirliği}} = \text{Standart Sapma} / \sqrt{n}$$

n: Herbir personelin ölçüm sayısı (10)

Bileşenlerin bağımsız olması durumunda:

$$u_c(y(x_1, x_2, \dots)) = \sqrt{\sum_{i=1, n} c_i^2 u(x_i)^2} = \sqrt{\sum_{i=1, n} u(y, x_i)^2}$$

Bileşenlerin bağımlı olması durumunda:

$$u(y(x_{i,j}, \dots)) = \sqrt{\sum_{i=1, n} c_i^2 u(x_i)^2 + \sum_{\substack{i, k=1, n \\ i \neq k}} c_i c_k \cdot u(x_i, x_k)}$$

Yukarıda formüllerde;

u : belirsizlik

n: belirsizlik öge sayısı

x: bağımsız ya da bağımlı parametreler

y: sonuç değeri

- Genişletilmiş Belirsizlik = Birleşik Standart Belirsizlik x k

k=2 (%95 güvenilirlik sınırı için)

Ölçüm sonucunda belirsizlik değeri verilecekse ölçüm sonucu genişletilmiş belirsizlik değeri ile çarpılır. Ölçülmüş değer (y) ve genişletilmiş belirsizlik (U) ise deney raporlarında sonuç $y \pm U$ biçiminde verilir.

- Tekrarlanabilirlik dışındaki parametrelere dikdörtgen dağılım uygulanır. Dikdörtgen dağılım için çarpan 0.58'dir.
- Standart birleşik belirsizliğin ve genişletilmiş belirsizliğin hesaplanması:

EK-3 (Devam) Ölçümlerde kullanılan cihazlara ve hesap yöntemine ait belirsizlik analizi

- Örneğin SO₂ için;

Parametre	Değer (x)	U(x)	Dağılım	U(x)/x
Tekrarlanabilirlik (kullanılan kalibrasyon gazı değeri)	995	0.37	Normal	0.00037
Kalibrasyon sertifikası	213	3	Dikdörtgen	0.008
Kalibrasyon gazı	100	0.2	Dikdörtgen	0.0011
Sıfır kayması	100	2	Dikdörtgen	0.0116
Span kayması	100	2	Dikdörtgen	0.0116

Standart Birleşik Belirsizlik = $(0.00037^2 + 0.008^2 + 0.0011^2 + 0.0116^2 + 0.0116^2)^{1/2} = 0.02$

Genişletilmiş Belirsizlik = $0.02 \times 2 = 0.04$ (k=2 ve %95 güvenirlilik sınırı için)

Ölçüm sonucu = A ise Genişletilmiş Belirsizlik = $A \times 0.04$ ’ dür.

Analiz Sonuçlarının Düzeltilmesi

I. Fazla Hava Düzeltmesi (O₂ düzeltmesi)

$$\text{Düzeltilmiş değer} = \text{Ölçülen değer} \times \frac{21 - \text{Referans O}_2 \text{ Değeri (\%)}}{21 - \text{Ölçülen O}_2 \text{ Değeri (\%)}}$$

II. Kuru Bazda Düzeltme (Nem düzeltmesi)

$$\text{Düzeltilmiş değer} = \text{Ölçülen değer} \times \frac{100}{100 - \text{Ölçülen H}_2\text{O Değeri (\%)}}$$

III. Sıcaklık Düzeltmesi

$$\text{Düzeltilmiş değer} = \text{Ölçülen değer} \times \frac{\text{Ölçülen Sıcaklık Değeri (K)}}{273 \text{ (K)}}$$

IV. Basınç Düzeltmesi

$$\text{Düzeltilmiş değer} = \text{Ölçülen değer} \times \frac{101,3 \text{ (Kpa)}}{\text{Ölçülen Basınç Değeri (Kpa)}}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : YILDIRIM, Evin Uğur
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri : 11.02.1982 Adıyaman
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 446 97 04
e-mail : evinugur@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Uludağ Üniversitesi/ Çevre Mühendisliği Bölümü	2004
Lise	Kahta Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Çankaya İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi	Kalite Sorumlusu
2007-2009	Ekoteknik Çevre Laboratuvarı	Laboratuvar Müdürü
2009-Bugün	Yakupoğlu Deri San. A.Ş	Çevre Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (Akıcı)